

SCAD Soft

Программный комплекс Structure CAD  
для *Windows 95/98/NT*



**КУСТ**

Колебания, Устойчивость, Статика  
*Версия 1.3*

**Руководство  
пользователя**

УДК 539.3+624.014

Авторский коллектив

Гиренко С.В., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Фиалко С.Ю.

**КУСТ. Колебания Устойчивость Статика. РУКОВОДСТВО  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ. Версия 1.3.**

В руководстве приводятся описание функциональных возможностей программы КУСТ, технологии его использования и рекомендации по применению.

Программа предназначена для специалистов-проектировщиков, обладающих минимальными навыками работы с компьютером.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1.</b>	<b>ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММОЙ</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>ПАРАМЕТРЫ</b> .....	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСИЯ</b> .....	<b>10</b>
5. 1.	Однопролетные стержни постоянного сечения на жестких опорах .....	10
5. 2.	Однопролетные стержни на упруго смещающихся и упруго поворачивающихся опорах .....	11
5. 3.	Однопролетные стержни переменного сечения на жестких опорах .....	12
5. 4.	Однопролетные прямые стержни постоянного сечения на упругом основании .....	14
5. 5.	Многопролетные стержни постоянного сечения на упругих опорах .....	15
5. 6.	Круговое кольцо .....	16
5. 7.	Круговые арки (устойчивость в плоскости) .....	18
5. 8.	Параболические арки (устойчивость в плоскости) .....	20
5. 9.	Пологие двухшарнирные арки (устойчивость в плоскости) .....	21
5. 10.	Устойчивость плоской формы изгиба тонкостенных балок .....	22
5. 11.	Прямоугольная пластинка .....	23
5. 12.	Круглая пластинка .....	24
5. 13.	Косоугольная пластинка .....	26
5. 14.	Цилиндрическая панель .....	27
5. 15.	Коническая панель .....	28
5. 16.	Сферическая панель .....	29
5. 17.	Круговая цилиндрическая оболочка .....	30
5. 18.	Эллиптическая цилиндрическая оболочка .....	32
5. 19.	Усеченная коническая круговая оболочка .....	33
5. 20.	Сферическая оболочка .....	34
<b>6.</b>	<b>ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ</b> .....	<b>35</b>
6. 1.	Однопролетные стержни постоянного сечения на жестких опорах .....	35
6. 2.	Однопролетные стержни на упругом основании .....	36
6. 3.	Стержни переменного сечения .....	37
6. 4.	Круговые кольца .....	38
6. 5.	Струны .....	39
6. 6.	Прямоугольные плиты .....	40
6. 7.	Круговые плиты .....	41
6. 8.	Цилиндрическая оболочка .....	43
6. 9.	Коническая оболочка .....	44
<b>7.</b>	<b>ДРУГИЕ ЗАДАЧИ О КОЛЕБАНИЯХ</b> .....	<b>45</b>
7. 1.	Справочные данные о внутреннем трении .....	45
<b>8.</b>	<b>СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ</b> .....	<b>46</b>
8. 1.	Круглые пластинки .....	46
8. 2.	Прямоугольные пластинки .....	48

8. 3.	СФЕРИЧЕСКИЕ КУПОЛА .....	49
<b>9.</b>	<b>КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ.....</b>	<b>51</b>
<b>10.</b>	<b>ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ.....</b>	<b>56</b>
10. 1.	КОРНИ ПОЛИНОМОВ.....	56
10. 2.	МОМЕНТЫ ИНЕРЦИИ ПРОСТЫХ ТЕЛ .....	57
10. 3.	ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	59
10. 4.	ДЕТЕРМИНАНТ МАТРИЦЫ.....	62
10. 5.	ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ.....	63
10. 6.	СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	64

## 1. Предварительные сведения

Программа-справочник КУСТ разработана фирмой SCAD Soft и входит в систему SCAD Office. Она предназначена для решения определенного класса задач механики, для которых в литературе приведены аналитические или достаточно точные приближенные решения.

Несмотря на то, что большинство этих задач могут быть решены с помощью программы SCAD, использование программы КУСТ позволяет получить решение без построения расчетных схем. Кроме того, часть результатов может быть использована для задания данных при построении конечно-элементных моделей (например, коэффициенты расчетной длины, оценки собственных частот и т.п.).

Все решаемые программой задачи объединены в следующие группы:

- устойчивость равновесия;
- частоты собственных колебаний;
- другие задачи о колебаниях;
- статические расчеты;
- вспомогательные вычисления.

Постановка большинства рассматриваемых задач понятна и достаточно проста и поэтому в данном руководстве приводится лишь краткая ее формулировка, перечень необходимых исходных данных и результатов, которые будут получены при ее решении. Более подробную информацию можно получить из литературы, которая приведена в каждом разделе.

## 2. Управление программой

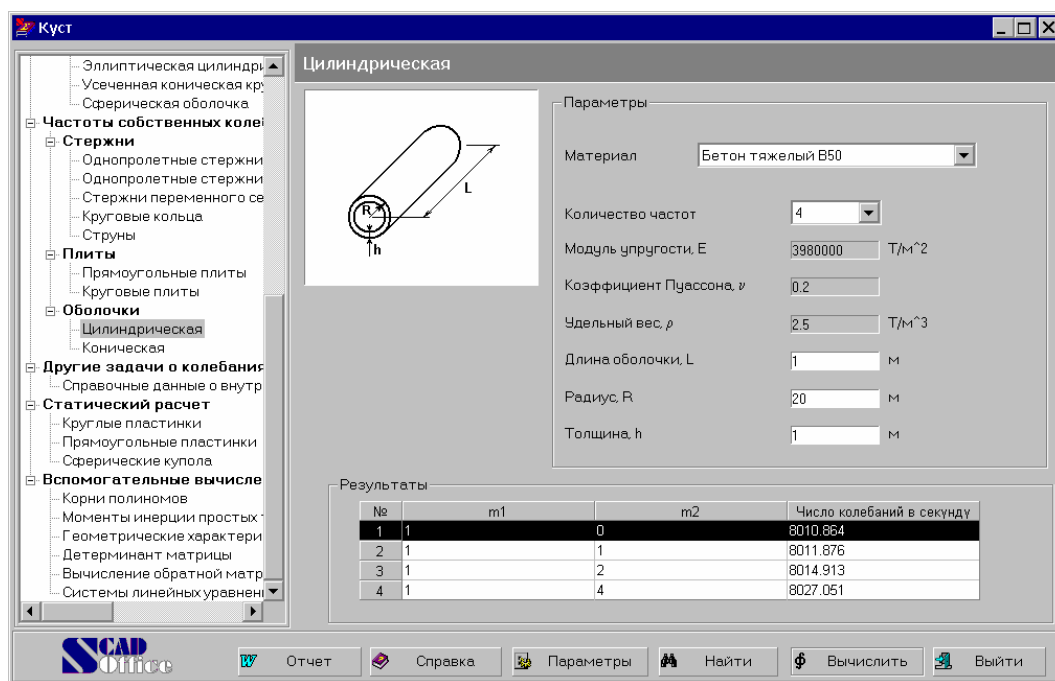


Рис. 1. Окно программы КУСТ

Окно программы КУСТ во всех режимах имеет одинаковый набор элементов управления, к которым

относятся:

- дерево задач, которое служит для выбора вида расчета;
- окна ввода, в которых задаются исходные данные;
- поля отображения результатов расчета;
- функциональные кнопки для активизации расчета и вызова различных операций управления (активизация расчета, формирование отчета, вызов справки, ...).

#### Дерево задач

Дерево задач построено по трехуровневой схеме. Первый уровень содержит наименование группы задач, например, УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСИЯ или ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ. На втором уровне находится наименование типа конструкции, например, Стержни, Пластины; на третьем уровне — наименование конкретной задачи. Для вызова задачи следует установить курсор на наименование задачи и нажать левую кнопку мыши.

#### Окна ввода

При задании данных в окнах ввода допускается представление чисел с плавающей запятой (например, 0.214) или в экспоненциальном виде (например, 1.23e5). В качестве разделителя между дробной и целой частью используется точка. Можно использовать и запятую, но это должно быть указано в настройках операционной среды Windows. Контроль корректности введенных данных выполняется в процессе расчета.

#### Функциональные кнопки

С помощью функциональных кнопок выполняются следующие операции управления программой:

**Вычислить** — активизация операций проверки корректности исходных данных и выполнения расчета;

**Отчет** — формирование отчета с результатами расчета;

**Параметры** — активирует режим настройки параметров (см. ниже);

**Справка** — справочная информация по программе КУСТ;

**Найти** — поиск в дереве задач по контексту в наименовании задачи. Поиск выполняется в диалоговом окне **Поиск по дереву задач** (рис. 2), в котором следует задать искомый текст и нажать кнопку **Найти**. После этого в списке **Результаты поиска** появляется перечень всех задач, в наименовании которых присутствует заданный текст.

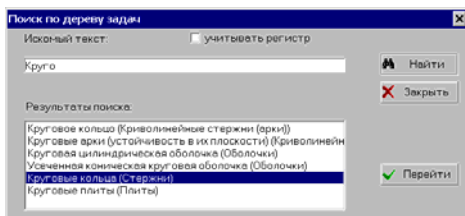


Рис. 2. Диалоговое окно Поиск по дереву задач

Если установить курсор на нужную задачу и нажать кнопку **Перейти**, то управление в дереве будет передано указанной задаче. Для выполнения расчета следует закрыть диалоговое окно поиска.

**Выйти** — конец работы с программой.

#### Расчет

Для выполнения расчета следует выбрать в дереве задачу, задать исходные данные в полях ввода и нажать кнопку **Вычислить**.

### 3. Элементы управления

Реализованные в программах принципы и элементы управления обеспечивают единообразие функций диалога. Программы используют известную технику работы с диалоговыми окнами. В качестве элементов управления и способов доступа к информации используются:

- функциональные кнопки, «нажатие» которых (оно реализуется установкой курсора на кнопку и щелчком левой кнопки мыши) приводит к активизации определенных функций или режимов;
- маркеры различного вида, которые позволяют осуществить выбор из набора предлагаемых вариантов;
- поля ввода информации, с помощью которых задаются исходные данные для расчета. Исходными данными всегда являются числа. Если вводится нецелое число, то целая часть отделяется от дробной части точкой или другим разделителем. Разделители назначаются пользователем при настройке опера-

ционной системы (см. **Settings (Установки) | Regional Settings (Языки и стандарты) | Number (Числа)**). Кроме того, предусмотрена возможность ввода чисел в экспоненциальной форме, например:  $1.56e-7$ ;

- выпадающие и развернутые списки для выбора данных;
- таблицы — для ввода и отображения табличных данных;
- динамическая оцифровка графика, с помощью которой для указанного курсором аргумента на экран монитора выводятся значения функции.

## Свойства материалов

Для многих задач, решаемых программой **КУСТ**, требуется задание физических свойств материала, из которых изготовлена конструкция. Задание этой информации в большинстве режимов унифицировано. Это делается с помощью выпадающего списка (см. рис. 3), в котором можно выбрать материал.

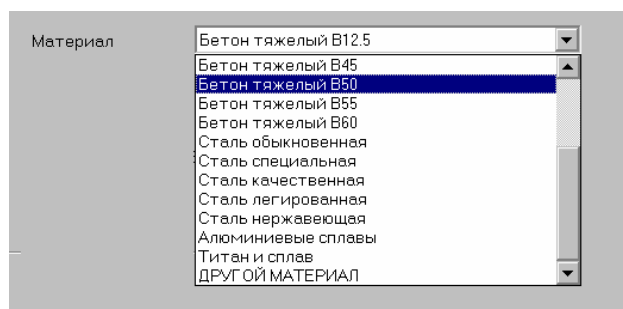



Рис. 3. Выпадающий список **Материалы**.

При этом все данные будут взяты из базы данных, поставляемой с программой. Для контроля программа показывает свойства выбранного материала (как правило, это модуль упругости, коэффициент Пуассона, ...). Если выбрать последний пункт в списке “ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ”, то в соответствующих окнах ввода появится возможность ввести данные о механических свойствах требуемого материала, который отсутствует в базе. Естественно, перед расчетом программа произведет контроль правильности введенной информации (например, нельзя задать коэффициент Пуассона больше 0.5, ...)

## Моменты инерции

Во многих случаях (если рассматриваются стержневые конструкции) в качестве исходных данных требуется задать момент инерции сечения. Если конструкция изготовлена из прокатного профиля, то чтобы упростить задание этих данных, в программе предусмотрена сервисная функция, которая активируется кнопкой .

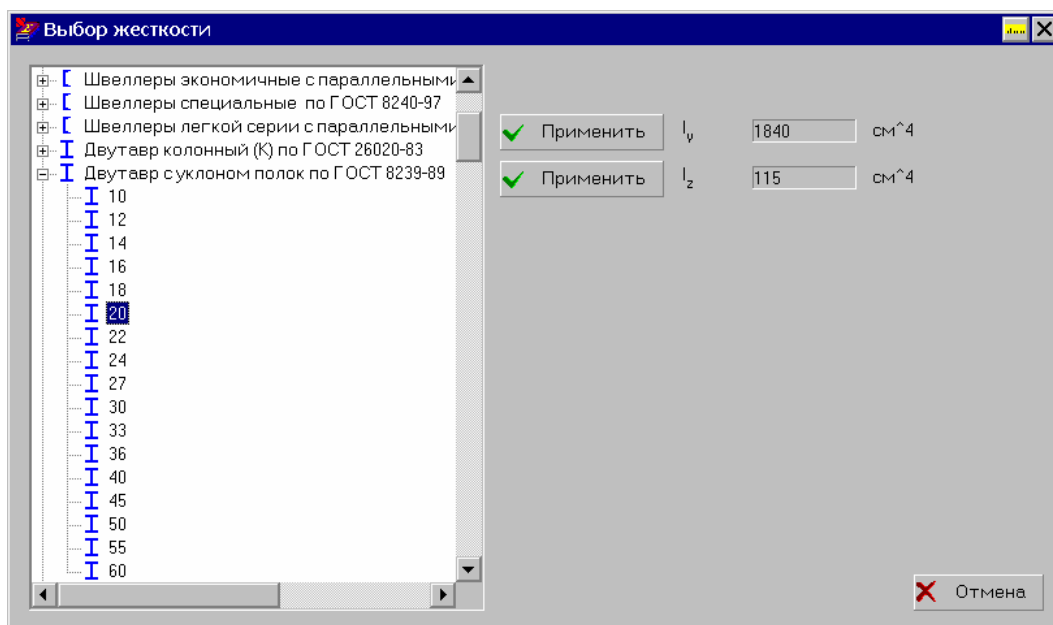



Рис. 4. Диалоговое окно **Выбор жесткости**

При этом появляется диалоговое окно (рис. 4), в котором расположено дерево со списком прокатных профилей. Выбрав нужный профиль, пользователь получает информацию о моментах инерции относительно осей Y и Z выбранного сечения (предполагается, что ось X направлена вдоль оси стержня). Нажатие одной из кнопок **Применить**, расположенных возле  $I_y$  и  $I_z$ , приводит к автоматическому переносу информации о моменте инерции в соответствующее окно ввода.

## 4. Параметры

Это окно может быть вызвано в любой момент работы **КУСТ**. С его помощью выполняется настройка общих параметров работы. Окно содержит закладки: **Единицы измерения**, **Отчет и языки** и **Визуализация**.

Каждой из закладок соответствует страница, которая обеспечивает выбор определенного вида параметров настройки.

Страница **Единицы измерения** (рис. 5) определяет используемые единицы измерения величин. Она имеет две группы данных. В первой задаются единицы измерения, применяемые для определения размеров конструкции, сил, моментов и т.д. Для составных единиц (таких, как давление) предусмотрена возможность (кнопка ) отдельного выбора единиц измерения составляющих (например, единиц измерения сил и единиц измерения линейных величин для давления). Вторая группа позволяет регулировать форму представления и точность задания данных. Специальные элементы управления используются для назначения форматов представления данных. Здесь задается количество значащих цифр при представлении данных в форме с десятичной точкой или в экспоненциальном представлении.

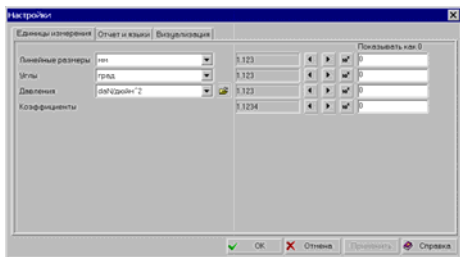


Рис. 5. Страница Единицы измерения

Для работы с отчетным документом может быть выбран режим **Просмотр/Редактирование** или режим **Печать**.

В режиме **Просмотр/Редактирование** нажатие на кнопку **Отчет** в любом рабочем окне позволяет просмотреть текст отчета на экране и отредактировать его. Для этого вызывается приложение, ассоциированное с форматом **RTF** (Rich Text Format) файла (например, **WORDPAD** или **WORD**). Естественно, что за исправления, внесенные в текст отчета (а могут быть исправлены и результаты расчета), ответственность несет пользователь. Существуют различия в формате **RTF** файлов, которые используются программами **MS Word v.7** и **WordPad** или программой **MS Word 97 (2000)**. В связи с этим программа предоставляет возможность выбора формата **RTF** в режиме **Тип отчета**.

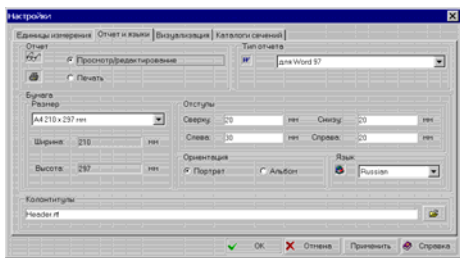


Рис. 6. Страница Отчет и языки

Нажатие кнопки **Печать** в группе **Отчет** вызывает печать отчета в той форме, в которой он сформирован программой.

В строке **Колонтитулы** рассматриваемой страницы можно указать имя **RTF**-файла, из которого берутся колонтитулы для оформления страниц отчетного документа, или нажатием кнопки выбрать в списке существующий файл.

**Замечание.** Если модификация поставляемого с программой **RTF**-файл колонтитулов выполняется в программе **MS Word**, то после ввода нового текста следует обязательно установить для него признак "*Русский язык*". Для этого используется меню **Tools|Language|Set Language (Сервис |Язык |Выбрать язык)**.

Опция **Размер бумаги** позволяет установить формат бумаги, на которой печатается отчет (размер выбирается из выпадающего списка).

Помимо этого, можно установить отступы и ориентацию листа при формировании отчетного документа.

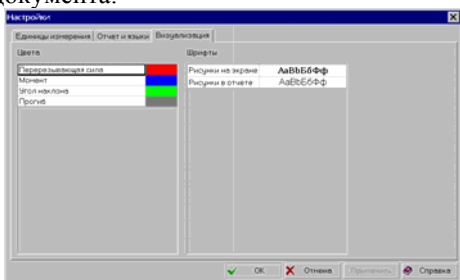


Рис. 7. Страница Визуализация

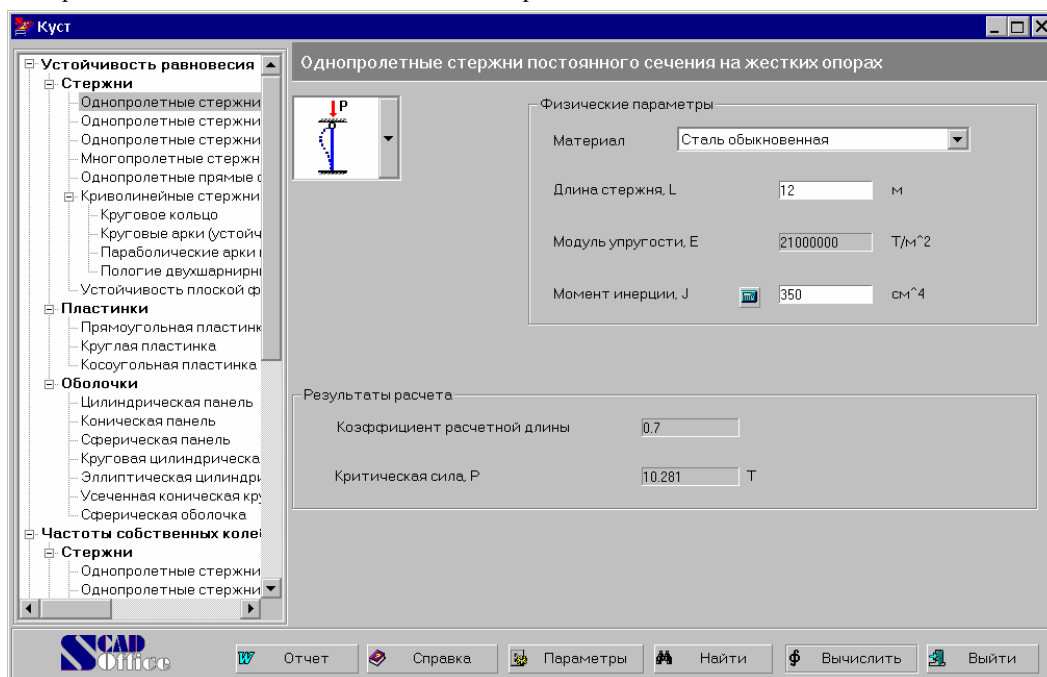
На странице **Визуализация** (рис. 7) имеются две группы элементов управления **Цвета** и **Шрифты**. В каждой группе находится список элементов управления и показаны соответствующие атрибуты (цвет, шрифт). Двойной щелчок правой кнопки мыши позволяет активировать стандартное окно Windows для настройки шрифта.

## 5. Устойчивость равновесия

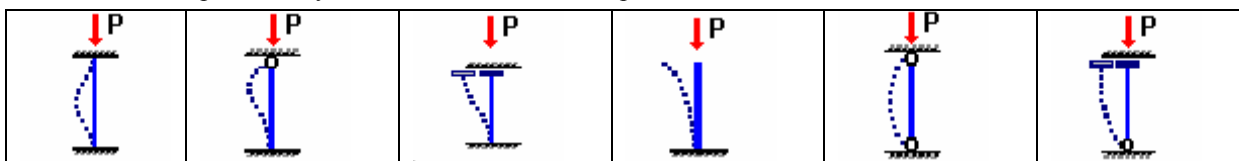
В данном разделе собраны задачи, связанные с устойчивостью равновесия различных конструкций (определение критических сил/напряжений и вычисление коэффициентов расчетной длины для стержневых элементов). Для оболочечных конструкций, как правило, определяются *верхние* критические нагрузки (то есть наибольшая нагрузка, до которой исходное состояние равновесия является устойчивым по отношению к малым возмущениям (устойчивость в малом)).

### 5.1. Однопролетные стержни постоянного сечения на жестких опорах


Рассматриваются однопролетные стержни постоянного сечения на жестких опорах при различных конечных закреплениях под действием сжимающей продольной силы  $P$ .



Рассмотрены следующие виды конечных закреплений



В качестве исходных данных следует задать информацию о длине стержня, моменте инерции поперечного сечения стержня в плоскости, в которой ожидается выпучивание, модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

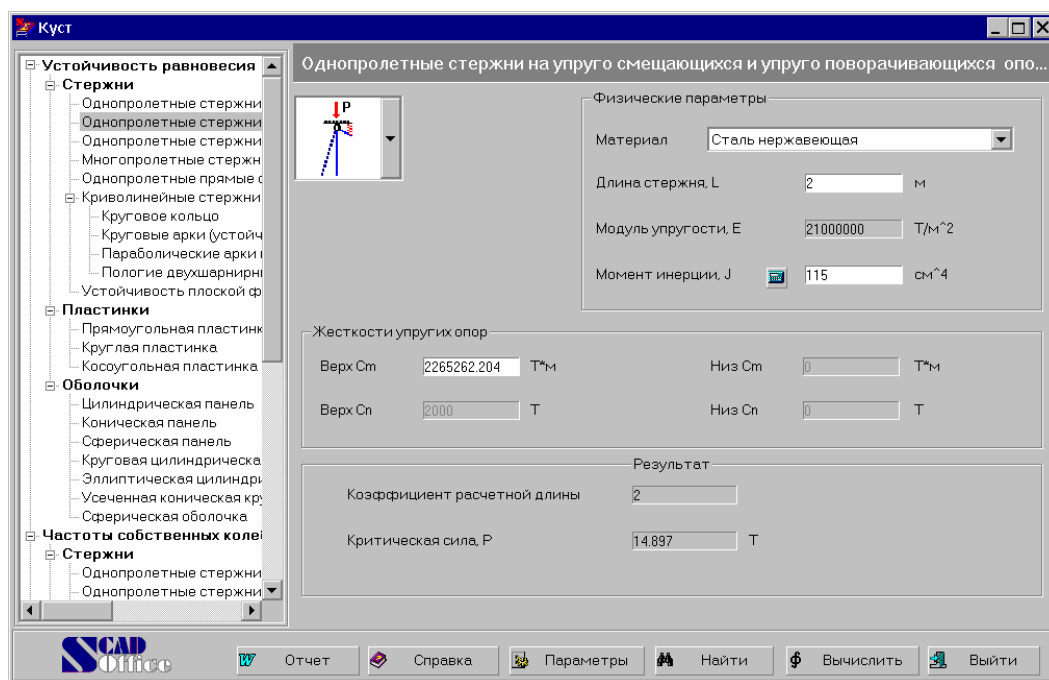
*Результатом расчета* является коэффициент расчетной длины (отношение эффективной длины к фактической длине стержня) и значение критической силы.

Литература

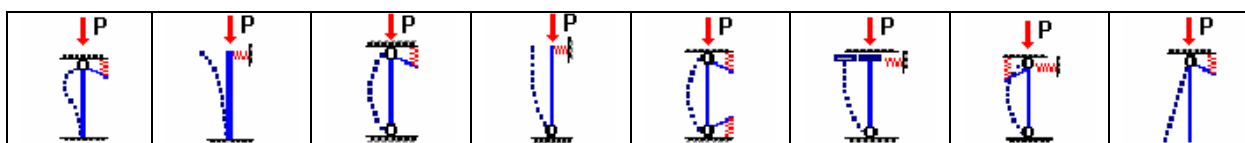
1. С.Тимошенко, Д.Гере *Механика материалов*, Санкт-Петербург—Москва, Изд-во «Лань», 2002 — 669 стр.

5. 2. Однопролетные стержни на упруго смещающихся и упруго поворачивающихся опорах


Рассматриваются однопролетные стержни постоянного сечения на упруго смещающихся и/или упруго поворачивающихся опорах при различных концевых закреплениях под действием сжимающей продольной силы  $P$ .



Рассмотрены следующие виды концевых закреплений:



В качестве исходных данных следует задать информацию о длине стержня, моменте инерции поперечного сечения стержня в плоскости, в которой ожидается выпучивание, модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). Кроме того, в зависимости от выбранной схемы нужно задать данные о жесткости опор.

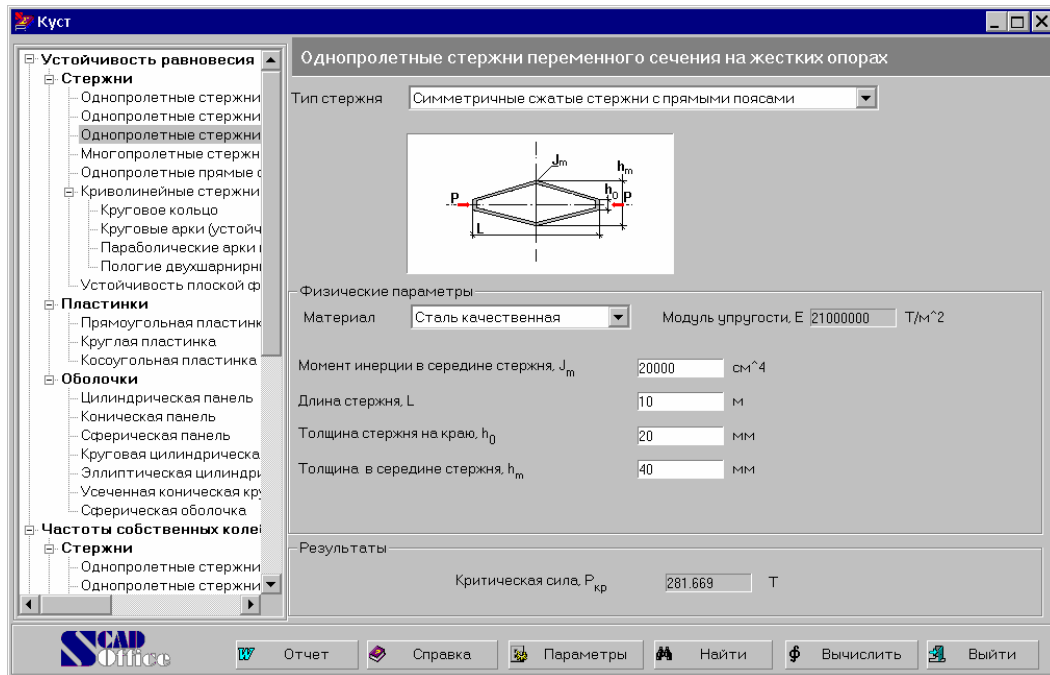
Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

Результатом расчета является коэффициент расчетной длины (отношение эффективной длины к фактической длине стержня) и значение критической силы.

Литература

1. И.И.Гольденблат, А.М.Сизов, *Справочник по расчету строительных конструкций на устойчивость и колебания*, Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, М.-Л., 1952. — 251 стр. (см. Главу 2)

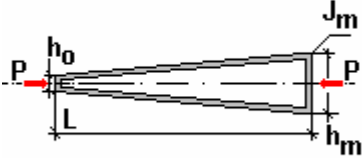
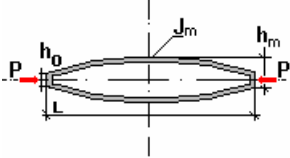
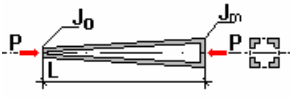
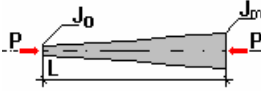
5. 3. Однопролетные стержни переменного сечения на жестких опорах



Изучается устойчивость равновесия однопролетных стержней переменного сечения на жестких опорах под действием сжимающей продольной силы **P**.

Рассмотрены следующие виды конструкций:

<p>Симметричные сжатые стержни с прямыми поясами</p>	
--	--

<p>Несимметричные сжатые стержни с прямыми поясами</p>	
<p>Симметричные сжатые стержни с параболическими поясами</p>	
<p>Колонна из четырех уголков</p>	
<p>Сплошной конический стержень</p>	

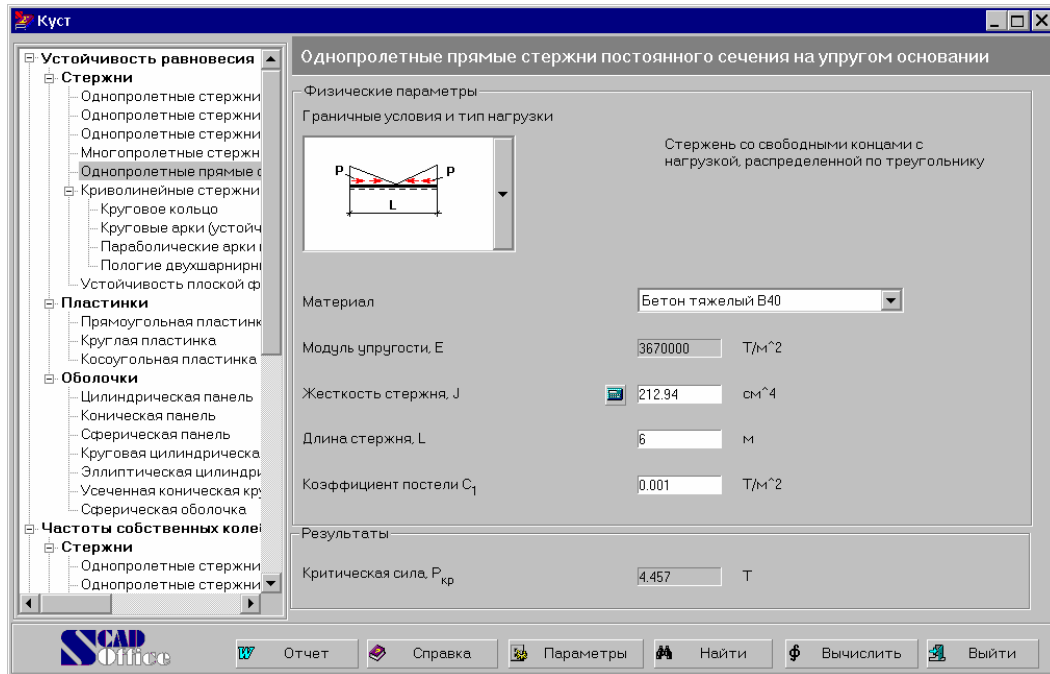
В качестве исходных данных следует задать информацию о длине стержня и, в зависимости от рассматриваемой конструкции, данные о моменте инерции поперечного сечения и толщине стержня на краю и в середине.

Результатом расчета является значение критической силы.

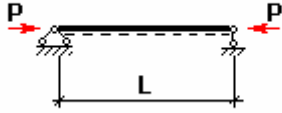
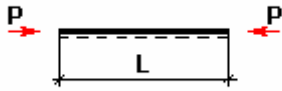
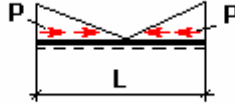
### Литература

1. Ф.Блейх, *Устойчивость металлических конструкций*, М., Физматгиз, 1959 — 544 стр. (см. стр. 214-219)
2. [С.П.Тимошенко, *Устойчивость упругих систем*, Государственное изд-во технико-теоретической литературы, М., 1955 — 567 стр. (см. стр. 148-151)

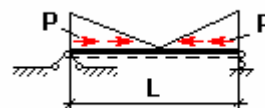
### 5. 4. Однопролетные прямые стержни постоянного сечения на упругом основании




Рассматривается устойчивость равновесия однопролетных стержней постоянного сечения на упругом основании при следующих вариантах закрепления и нагрузок:

Шарнирно опертый стержень на упругом основании	
Стержень со свободными концами на упругом основании	
Стержень со свободными концами с нагрузкой, распределенной по треугольнику	

Шарнирно опертый стержень с нагрузкой, распределенной по треугольнику



В качестве исходных данных следует задать информацию о длине стержня, моменте инерции поперечного сечения (жесткости) стержня, модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ) и коэффициенте постели (винклеровском)  $C_1$ .

Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

Результатом расчета является значение критической силы.

### Литература

1. И.И.Гольденблат, А.М.Сизов, *Справочник по расчету строительных конструкций на устойчивость и колебания*, Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, М.-Л., 1952. — 251 стр. (см. стр. 57 § 12)
2. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический* (под редакцией А.А. Уманского) — М., Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, М.-Л., 1960. — 1040 стр. (см. стр. 779, § 16.1.3)


## 5. 5. Многопролетные стержни постоянного сечения на упругих опорах

Параметр	Значение	Единица
Материал	Бетон тяжелый В45	
Модуль упругости, E	3820000	T/m <sup>2</sup>
Момент инерции, J	55961.998	см <sup>4</sup>
Длина стержня, L	6	м
Расстояние между опорами, a	3	м
Коэффициент упругости отдельных опор, α	1	T/m
Критическая сила, P <sub>кр</sub>	587.292	T

Рассматривается устойчивость равновесия многопролетного стержня постоянного сечения на упругих опорах.

В качестве исходных данных следует задать информацию о длине стержня, моменте инерции

поперечного сечения (жесткости) стержня, модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ), расстоянии между опорами и коэффициенте упругости отдельных опор.

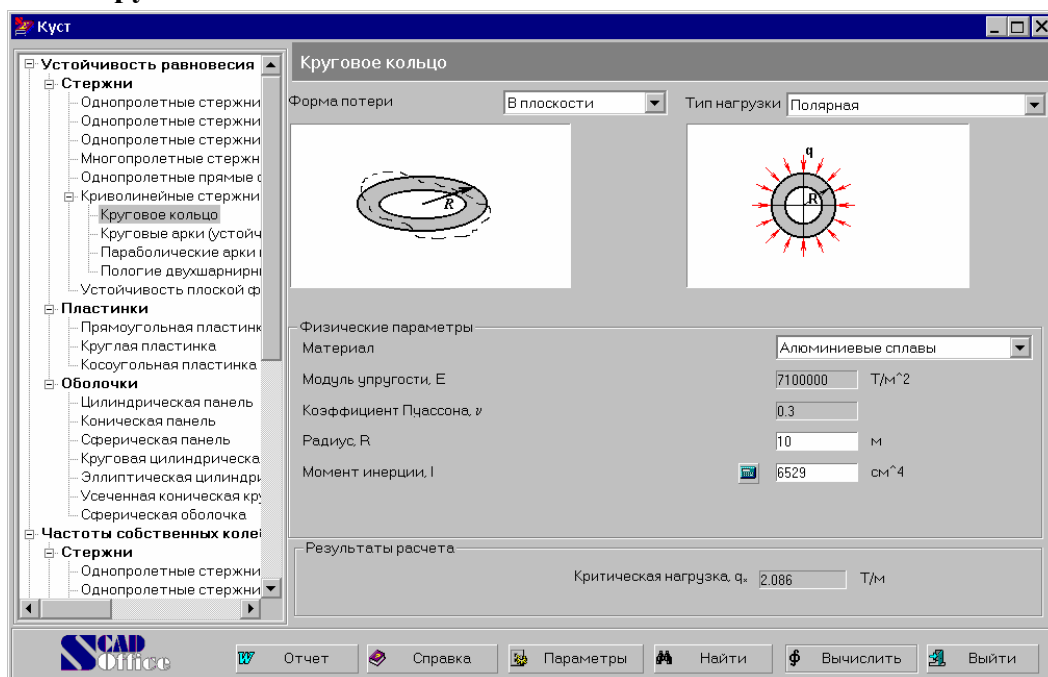
Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

Результатом расчета является значение критической силы.

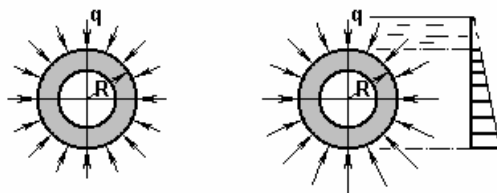
## Литература

1. С.П.Тимошенко, *Устойчивость упругих систем*, Государственное изд-во технико-теоретической литературы, М., 1955 — 567 стр. (см. стр. 113)

## 5. 6. Круговое кольцо

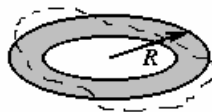


Рассматривается круговое кольцо под действием равномерного внешнего (полярного) давления или гидростатической нагрузки.



Изучается критическая нагрузка, которая приводит к потере устойчивости в плоскости кольца или из плоскости кольца.

Потеря устойчивости в плоскости кольца характеризуется появлением изгибных перемещений в этой плоскости.




Потеря устойчивости из плоскости кольца характеризуется появлением изгибных перемещений перпендикулярных этой плоскости.



В качестве исходных данных следует задать информацию об интересующей форме потери устойчивости (в плоскости/из плоскости), типе нагрузки (полярная/гидростатическая), радиусе кольца, моменте инерции поперечного сечения кольца, модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала кольца (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

В зависимости от выбранной формы потери устойчивости (в плоскости/из плоскости) нужно соответственно задавать момент инерции сечения кольца в его плоскости или в направлении ортогональном плоскости кольца.

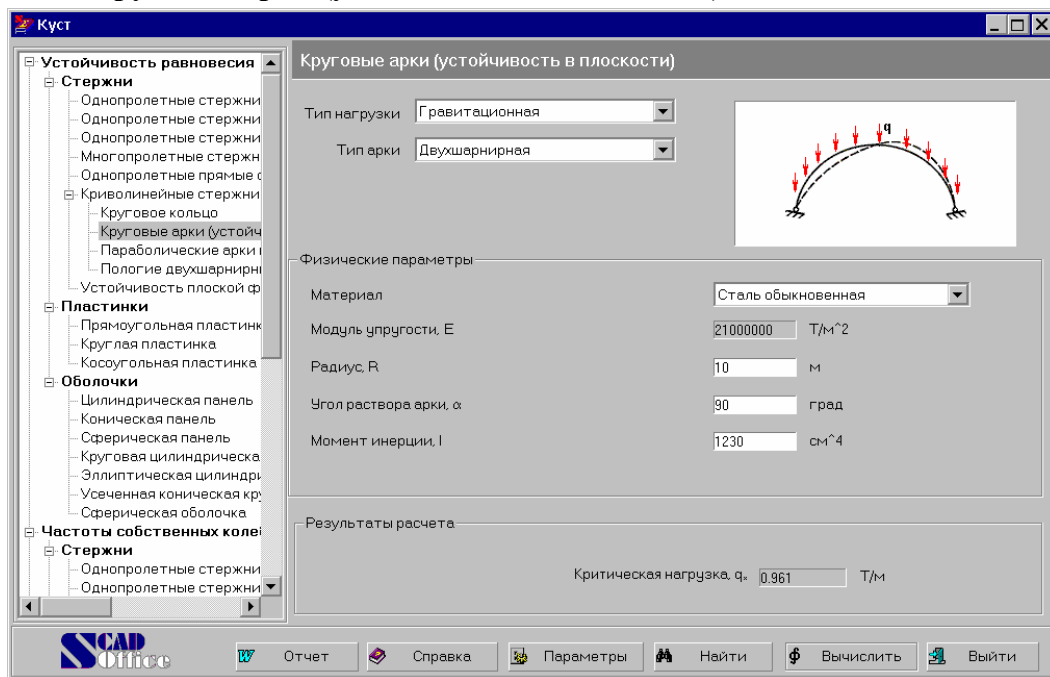
Если поперечное сечение кольца является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

*Результатом расчета* является значение критической нагрузки.

### Литература

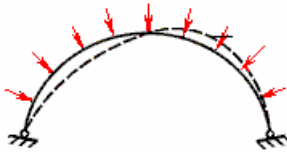
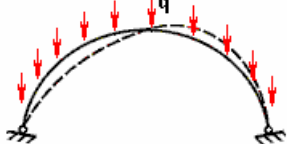
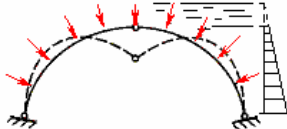
1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический.* т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 254, § 17.12.2)

### 5. 7. Круговые арки (устойчивость в плоскости)



Рассматривается устойчивость круговых арок в их плоскости. Реализован расчет следующих комбинаций нагрузок и типов арок.

Тип арки		Тип нагрузки
Бесшарнирная		Гидростатическая
		Полярная
		Гравитационная
Двухшарнирная		Гидростатическая

Тип арки		Тип нагрузки
		Полярная
		Гравитационная
Трехшарнирная		Гидростатическая

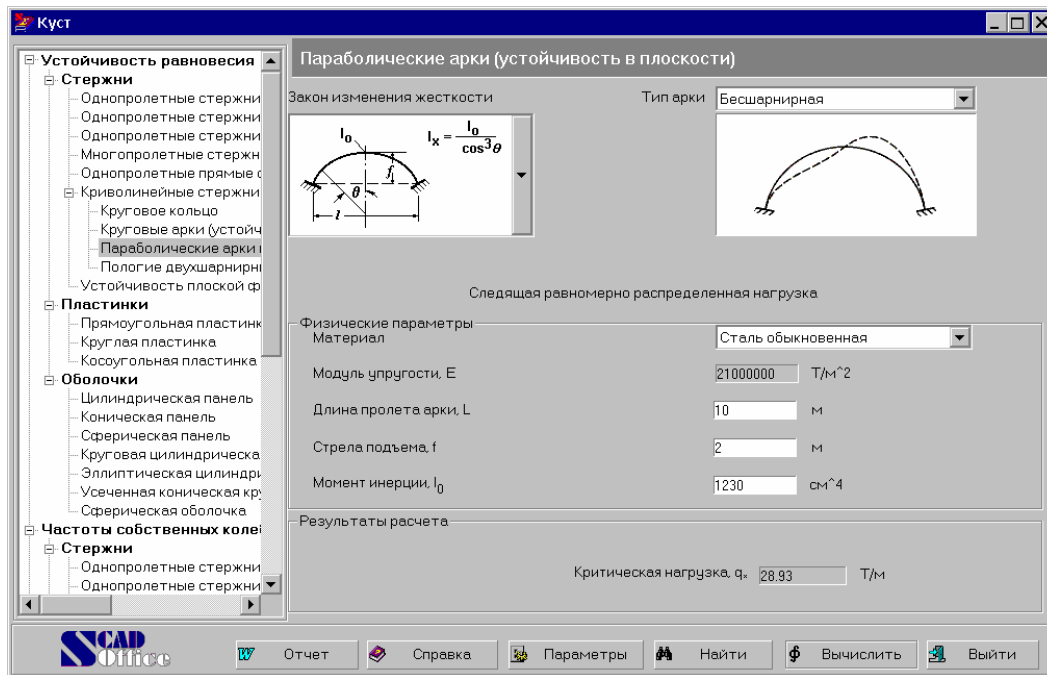
В качестве исходных данных следует задать информацию о модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ), радиусе арки, угле раствора арки, а также моменте инерции поперечного сечения арки в ее плоскости.

*Результатом расчета является значение критической нагрузки.*

#### Литература

1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2* (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 255)

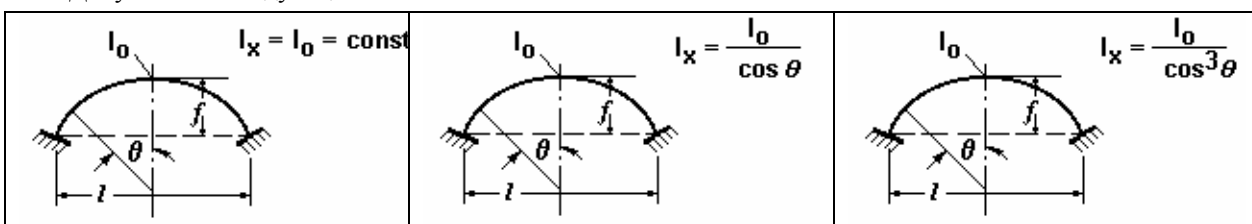
### 5. 8. Параболические арки (устойчивость в плоскости)



Рассматривается устойчивость равновесия параболических арок (в их плоскости) под действием равномерно распределенной *следающей* нагрузки для следующих типов арок:



Допускаются следующие законы изменения жесткости:



В качестве исходных данных следует задать информацию о модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ), длине пролета и стреле подъема арки, а также моменте инерции поперечного сечения в середине арки (следует задать момент инерции *в плоскости* арки).

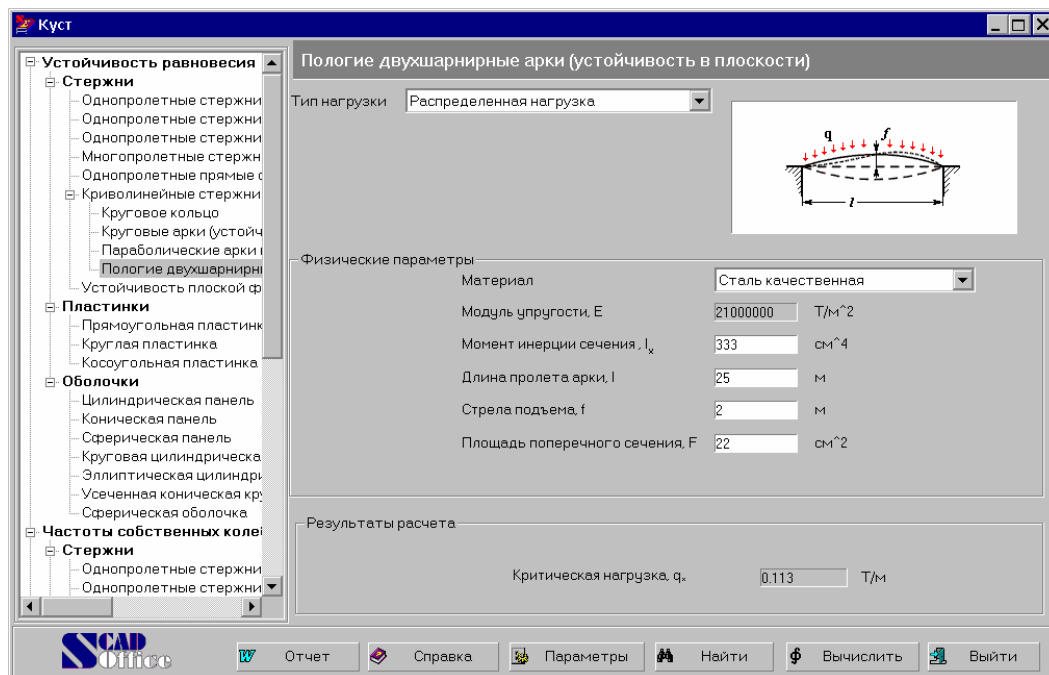
Для трехшарнирных арок, в которых может возникнуть как симметричная, так и антисимметричная форма потери устойчивости, программа автоматически анализирует оба случая и вычисляет минимальное значение критической нагрузки.

Результатом расчета является значение критической нагрузки.

Литература

1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2* (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 256)

5. 9. Пологие двухшарнирные арки (устойчивость в плоскости)



Рассматривается устойчивость равновесия пологой двухшарнирной арки под действием распределенной нагрузки  $q$  или сосредоточенной силы в замке  $P$ .



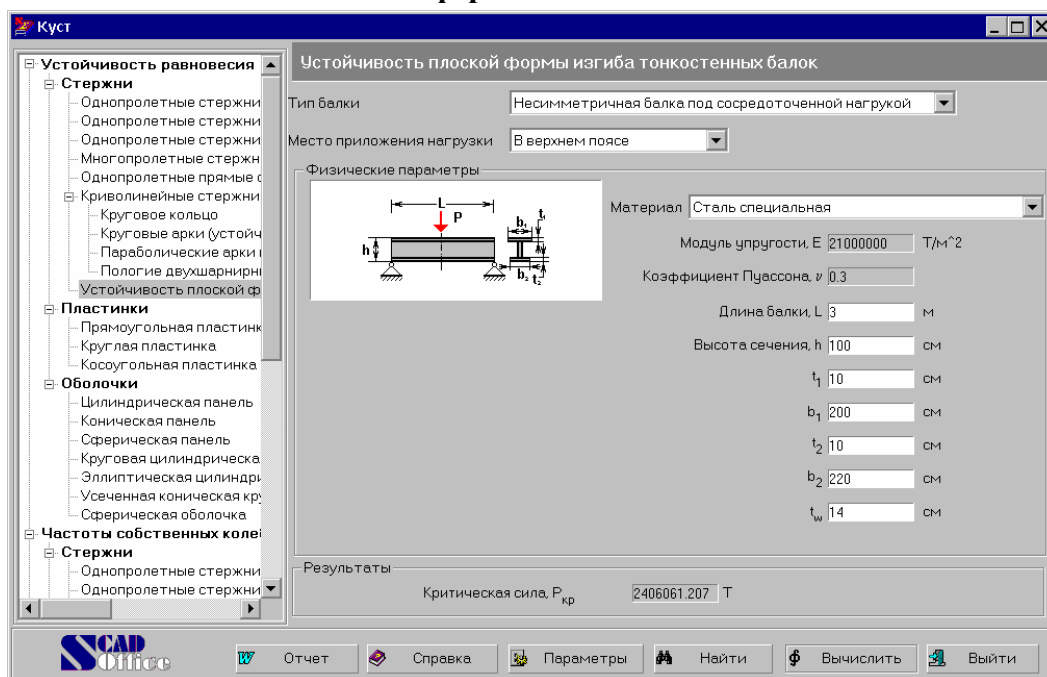
В качестве исходных данных следует задать информацию о модуле упругости (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ), длине пролета и стреле подъема арки, а также площади поперечного сечения и моменте инерции сечения относительно оси, перпендикулярной плоскости арки.

Результатом расчета является значение критической нагрузки.

Литература

1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2* (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 256)

## 5. 10. Устойчивость плоской формы изгиба тонкостенных балок



Рассматривается устойчивость плоской формы изгиба тонкостенных балок с тавровым сечением (симметричным или несимметричным) под действием равномерно распределенной нагрузки или под действием сосредоточенной силы.

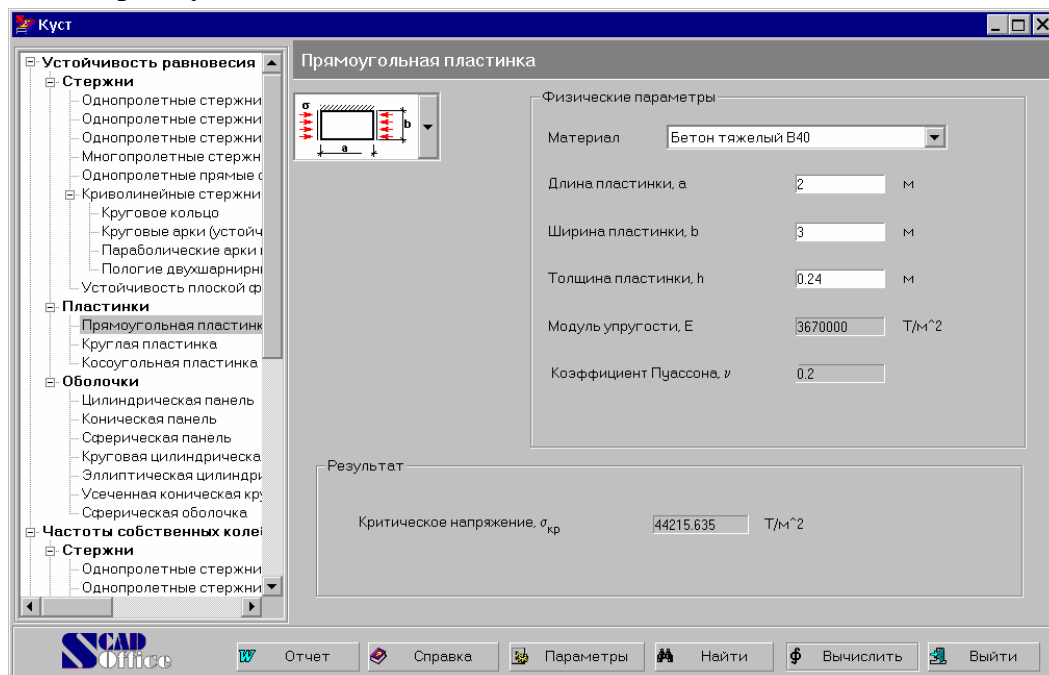
В качестве исходных данных следует задать информацию о типе балки (симметричная или несимметричная) и типе нагрузки (распределенная или сосредоточенная), модуле упругости и коэффициенте Пуассона (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ), длине пролета и размерах сечения (ширина и толщина стенок и полок). Кроме того, из выпадающего списка следует выбрать место приложения нагрузки (в нижнем поясе, в верхнем поясе или в центре тяжести сечения).

*Результатом расчета является значение критической нагрузки.*

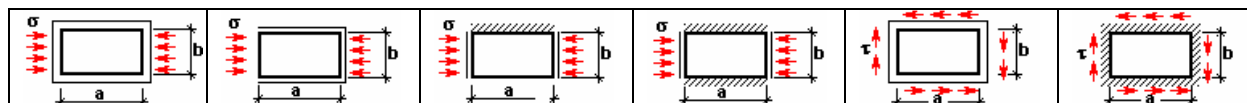
### Литература

1. Ф.Блейх, *Устойчивость металлических конструкций*, М., Физматгиз, 1959 — 544 стр. (см. стр. 186)

### 5.11. Прямоугольная пластинка



Рассматривается устойчивость равновесия прямоугольной пластины при различных условиях опирания и различных нагрузках (см. таблицу ниже).



Здесь использованы следующие обозначения закреплений:

Свободный край	
Защемление	
Опираение	

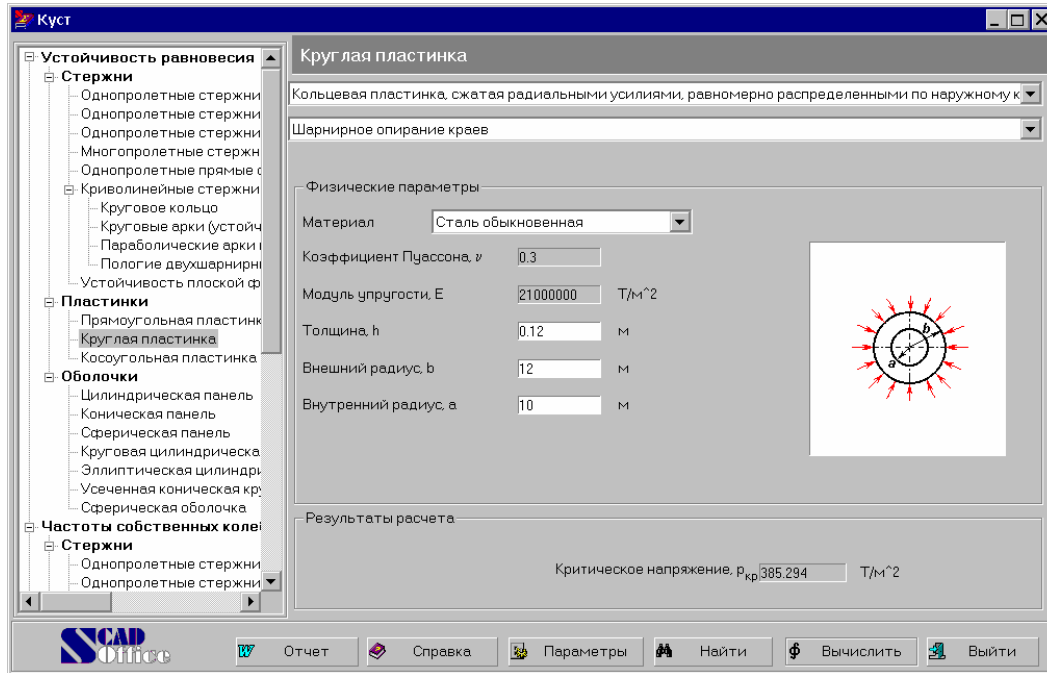
В качестве исходных данных следует задать информацию о размерах пластины (длина, ширина и толщина), модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена пластинка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *критического напряжения* (нормального  $\sigma$  или касательного  $\tau$  — в зависимости от схемы нагружения).

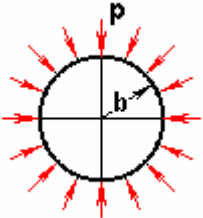
**Литература**


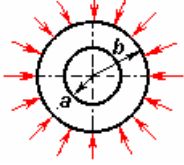
1. Справочник по теории упругости. (под редакцией П.М. Варвака) — Киев., “Будівельник”, 1971. — 416 с. (см. стр. 411)

**5. 12. Круглая пластинка**



Рассматривается устойчивость равновесия круглых и кольцевых пластин под действием радиально сжимающих усилий. Для кольцевых пластинок рассмотрены случаи усилий сжатия по внешнему, а также по внешнему и внутреннему контурам. В приведенной ниже таблице перечислены все реализованные в программе комбинации нагрузок и граничных условий.

Форма пластинки и тип нагружения	Граничные условия
 <p data-bbox="180 1617 571 1671">Круглая пластинка под действием радиальных сжимающих усилий</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Шарнирное опирание краев</li> <li>◆ Защемление по контуру</li> </ul>

Форма пластинки и тип нагружения	Граничные условия
 <p data-bbox="236 539 683 658">Кольцевая пластинка, сжатая одинаковыми радиальными усилиями, равномерно распределенными по внутреннему и наружному контурам</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Защемление по обоим краям</li> <li>◆ Шарнирное опиранием по обоим краям</li> <li>◆ Защемление по внешнему краю и свободное, без поворота, по внутреннему</li> <li>◆ Шарнирное опирание внешнего края и свободное смещение без поворота внутреннего</li> </ul>
 <p data-bbox="244 837 675 949">Кольцевая пластинка, сжатая радиальными усилиями, равномерно распределенными по наружному контуру</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Шарнирное опирание краев</li> <li>◆ Защемление по контуру</li> </ul>

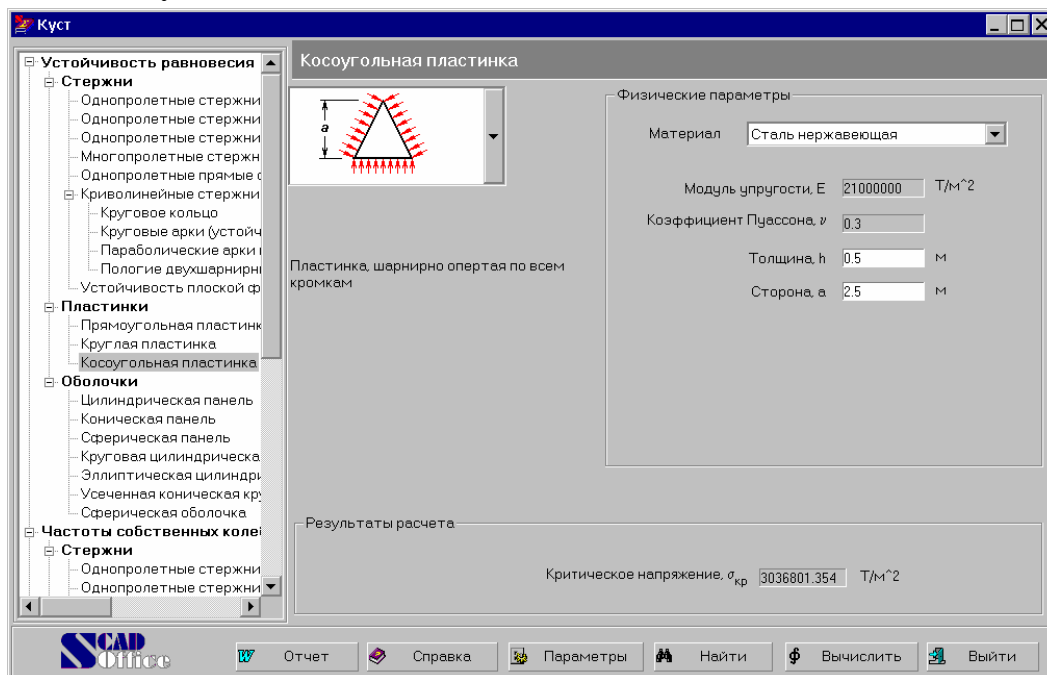
В качестве исходных данных следует задать информацию о типе пластинки (круглая или кольцевая) и типе нагружения, граничных условиях, размерах пластины (внешний и внутренний радиусы, толщина), модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена пластина (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *критического напряжения*.

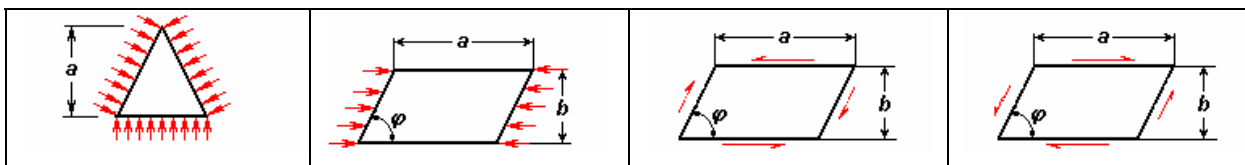
### Литература

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. т. 3 (под редакцией И.А. Биргера, Я.Г. Пановко) — М., Машиностроение, 1968. — 567 с. (см. стр. 110)
2. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический*. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 278)

### 5. 13. Косоугольная пластинка



Рассматривается устойчивость равновесия шарнирно опертых пластин, имеющих форму равностороннего треугольника или параллелограмма при различных нагрузках (см. таблицу ниже).



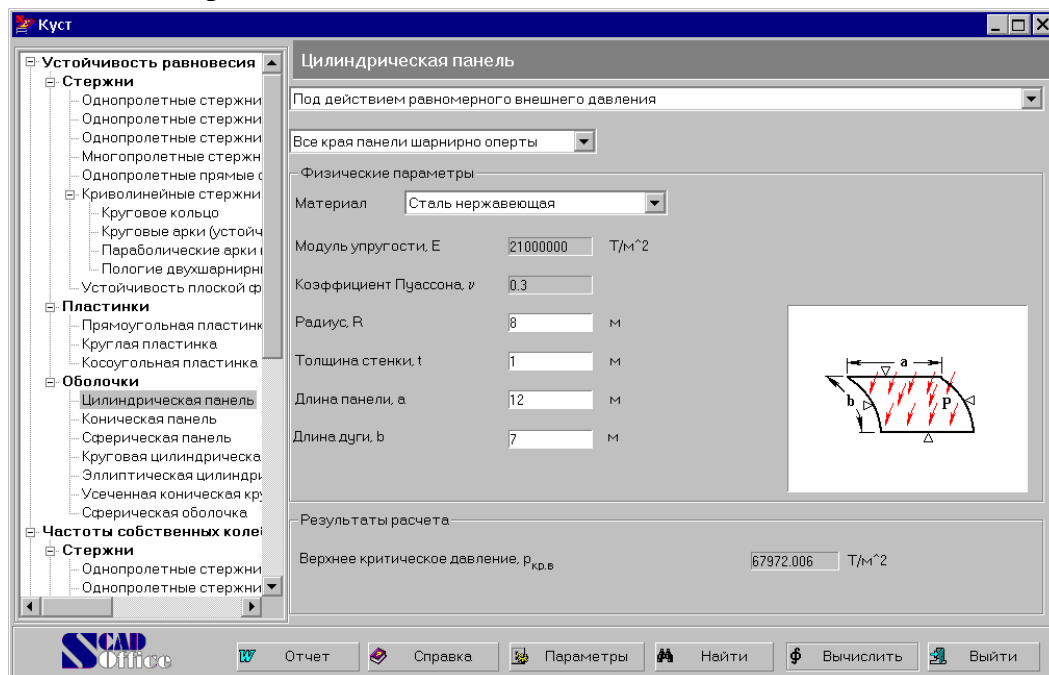
В качестве исходных данных следует задать информацию о размерах пластины, модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена пластинка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *критического напряжения* (нормального  $\sigma$  или касательного  $\tau$  — в зависимости от схемы нагружения).

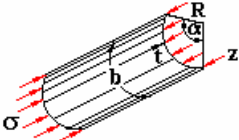
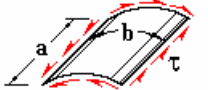
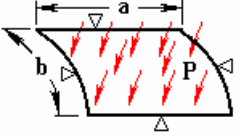
#### Литература

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. т. 3 (под редакцией И.А. Биргера, Я.Г. Пановко) — М., Машиностроение, 1968. — 567 с. (см. стр. 112)

### 5. 14. Цилиндрическая панель



Рассматривается устойчивость равновесия цилиндрической панели. Рассмотрены следующие случаи граничных условий и нагрузок.

Тип нагружения	Граничные условия
 <p>Сжимающие усилия равномерно распределенные вдоль кромок</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Все края панели шарнирно оперты</li> <li>◆ Все края панели защемлены</li> </ul>
 <p>Касательные усилия равномерно распределенные по всем кромкам</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Все края панели шарнирно оперты</li> <li>◆ Все края панели защемлены</li> </ul>
 <p>Равномерное внешнее давление</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Все края панели шарнирно оперты</li> </ul>

В качестве исходных данных следует задать информацию о размерах панели (радиус, толщина, длина панели и длина дуги), модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена

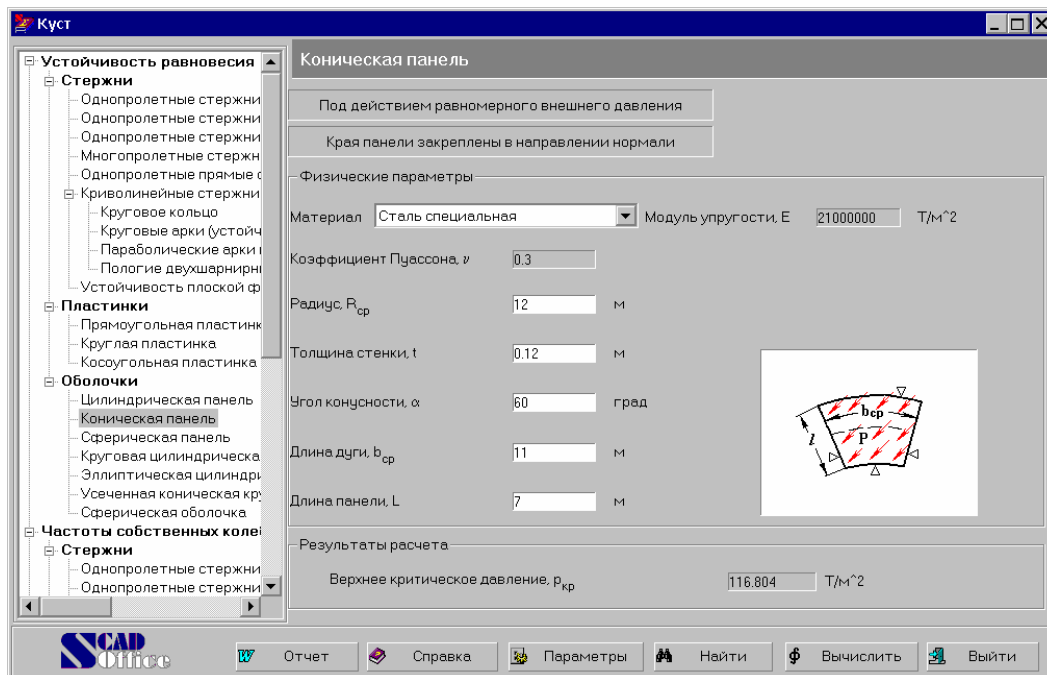
пластина (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *критической нагрузки*.

### Литература

1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический*. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 279)

## 5. 15. Коническая панель



Рассматривается устойчивость равновесия конической панели под действием равномерного внешнего давления (края панели закреплены в направлении нормали).

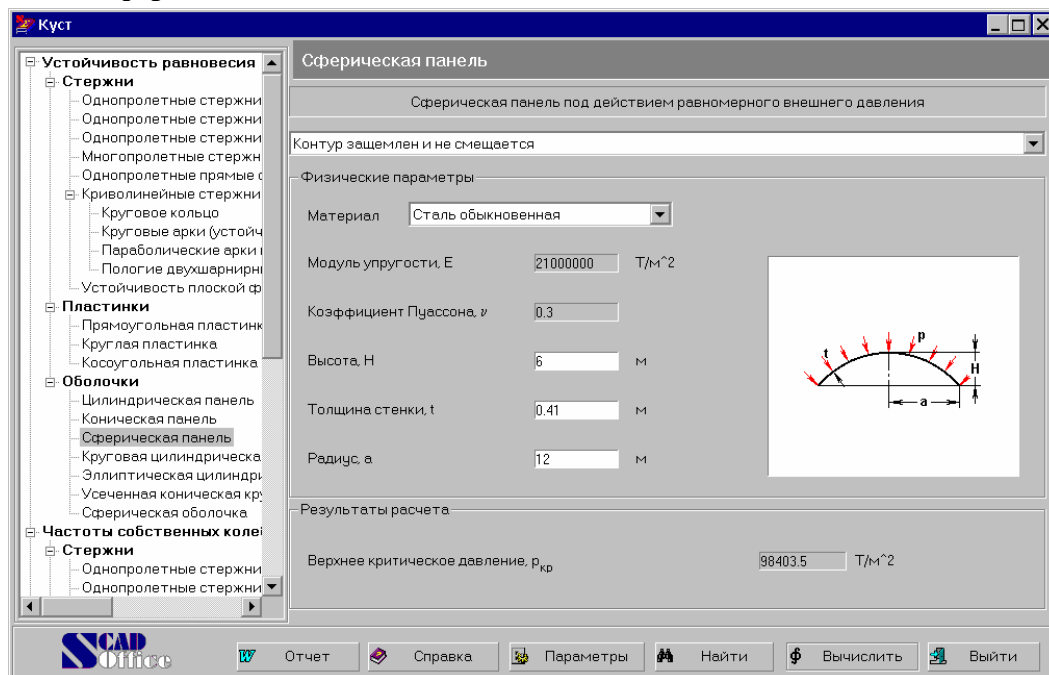
В качестве исходных данных следует задать геометрические размеры панели (радиус, толщину стенки, угол конусности, длину дуги и длину панели). Кроме того, требуется информация о модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена панель (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *верхнего критического давления*.

### Литература

1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический*. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 281)

## 5.16. Сферическая панель



Рассматривается устойчивость равновесия сферической панели под действием равномерного внешнего давления при следующих вариантах закреплений:

- ◆ шарнирное опирание по контуру, свободно смещающемся в своей плоскости (распор отсутствует);
- ◆ шарнирное опирание по контуру, не смещающемся в своей плоскости;
- ◆ контур зашумлен, но распор отсутствует;
- ◆ контур зашумлен и не смещается.

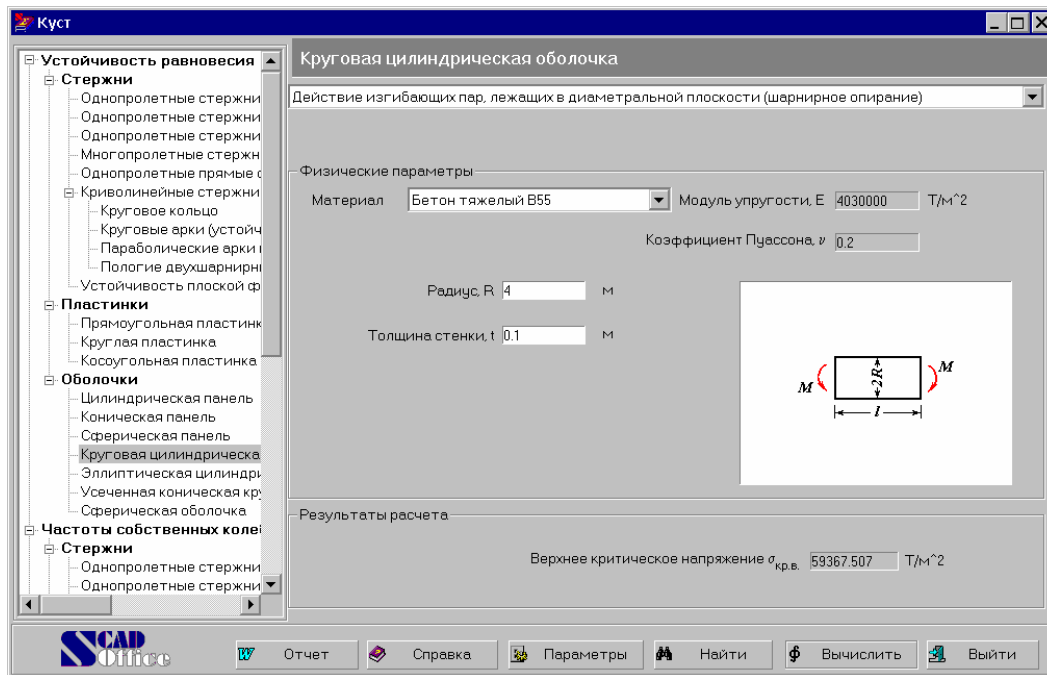
В качестве исходных данных следует задать высоту панели, ее радиус и толщину стенки. Кроме того, требуется информация о модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена панель (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *критического давления*.

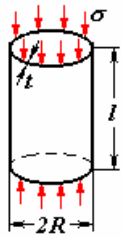
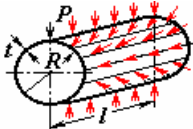
### Литература

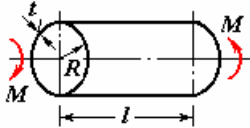
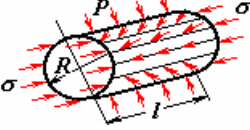
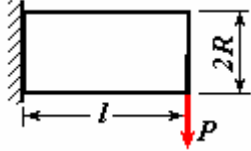
1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 281)

### 5. 17. Круговая цилиндрическая оболочка



Рассматривается устойчивость равновесия круговой цилиндрической оболочки при следующих комбинациях нагрузений и граничных условий.

Тип нагружения	Граничные условия
 <p data-bbox="150 1435 470 1462">Равномерное осевое сжатие</p>	<p data-bbox="564 1182 1038 1209">шарнирное опирание по обоим кромкам</p>
 <p data-bbox="197 1615 424 1697">Действие внешнего равномерно распределенного давления</p>	<p data-bbox="564 1471 1026 1498">шарнирное опирание по обеим кромкам</p>

Тип нагружения	Граничные условия
 <p>Действие скручивающих пар по торцам</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ края оболочки защемлены</li> <li>◆ края оболочки шарнирно оперты</li> </ul>
 <p>Совместное действие равномерного осевого сжатия и внешней равномерно распределенной поперечной нагрузки</p>	Шарнирное опирание по торцам
 <p>Действие изгибающих пар, лежащих в диаметральной плоскости</p>	Шарнирное опирание по торцам
 <p>Изгиб поперечной силой</p>	Защемление на одном торце, второй торец свободен

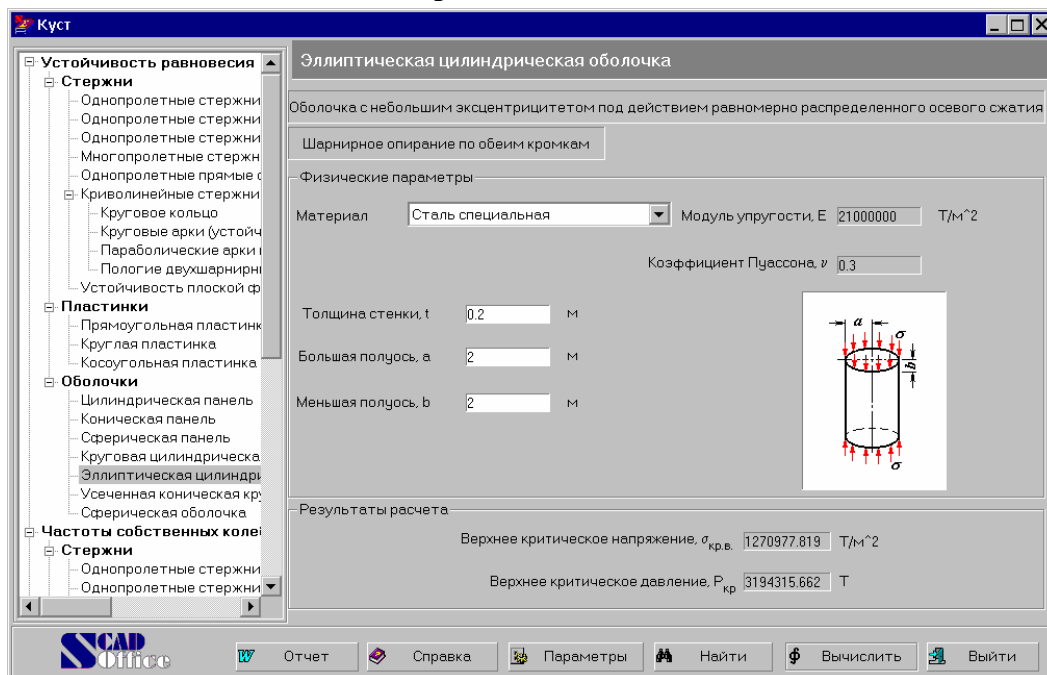
В качестве исходных данных следует задать размеры оболочки (радиус, толщина, длина). Кроме того, требуется информация о модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена панель (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *критической нагрузки*.

### Литература

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 281)

## 5. 18. Эллиптическая цилиндрическая оболочка



Рассматривается устойчивость равновесия цилиндрической эллиптической оболочки с небольшим эксцентриситетом под действием равномерно распределенного осевого сжатия при шарнирном опирании по обеим кромкам.

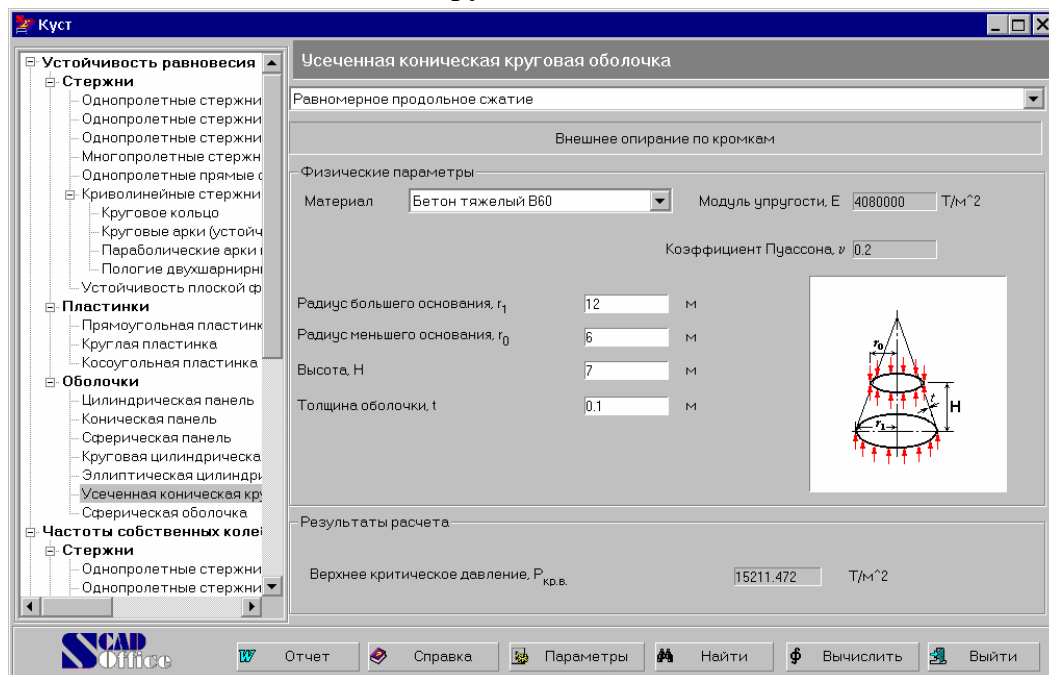
В качестве исходных данных следует задать большую и меньшую полуоси и толщину оболочки, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала, из которого изготовлена оболочка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *верхнего критического напряжения*  $\sigma_{кр,в}$  и *верхнего критического давления*  $P_{кр}$  (это есть произведение  $\sigma_{кр,в}$  на площадь поперечного сечения оболочки).

### Литература

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 285)

### 5. 19. Усеченная коническая круговая оболочка



Рассматривается устойчивость равновесия усеченной конической круговой оболочки. Изучены следующие два случая.

	<p>Равномерное продольное сжатие. Внешнее опирание по кромкам.</p>
	<p>Равномерное внешнее давление. Меньшее основание защемлено, большее — шарнирно оперто.</p>

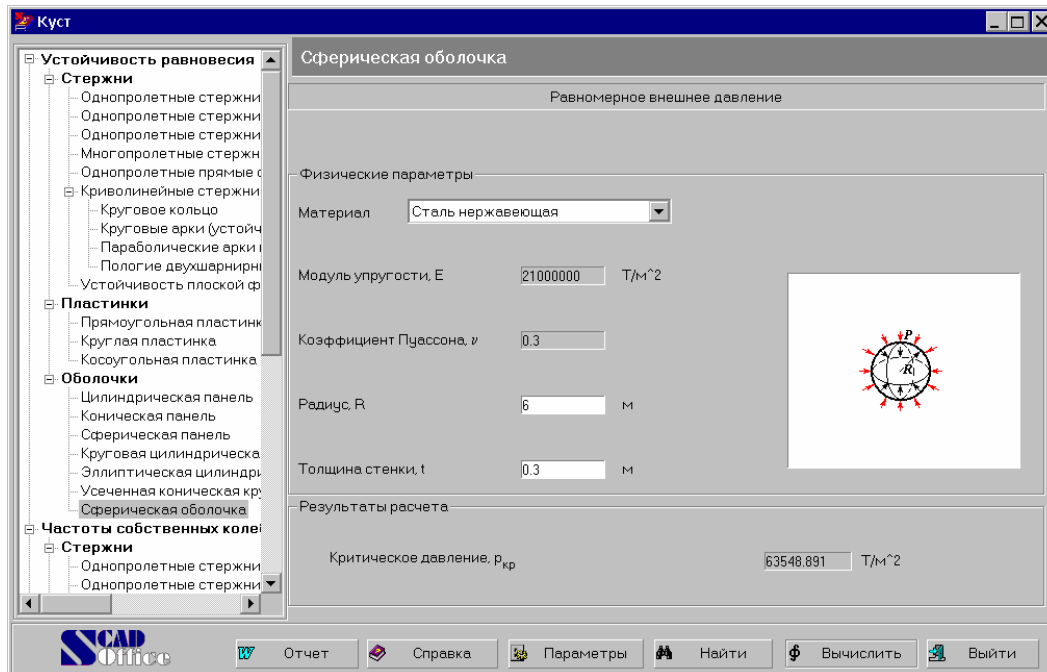
В качестве исходных данных следует задать радиусы большего и меньшего оснований, толщину оболочки и высоту оболочки. Кроме того, нужно ввести модуль упругости и коэффициент Пуассона материала, из которого изготовлена оболочка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является значение *верхнего критического давления*.

## Литература

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. т. 3 (под редакцией И.А. Биргера, Я.Г. Пановко) — М., Машиностроение, 1968. — 567 с. (см. стр. 146, 168-173)

## 5. 20. Сферическая оболочка



Рассматривается устойчивость равновесия сферической оболочки под действием равномерного внешнего давления.

В качестве исходных данных следует задать радиус и толщину оболочки. Кроме того, нужно ввести модуль упругости и коэффициент Пуассона материала, из которого изготовлена оболочка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

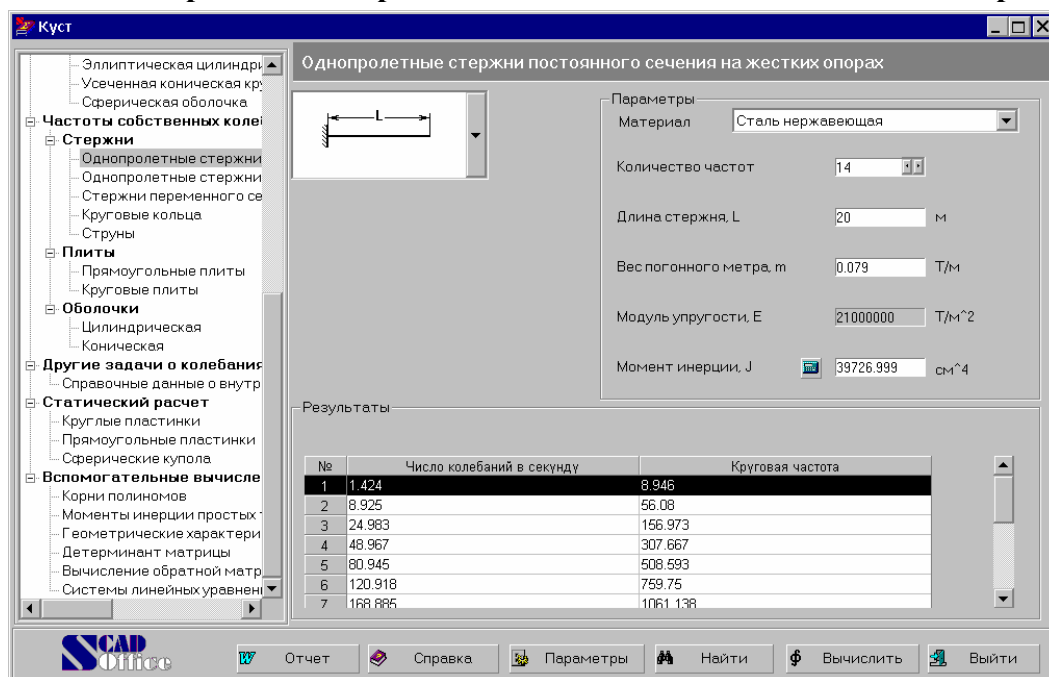
Результатом расчета является значение *критического давления*.

## Литература

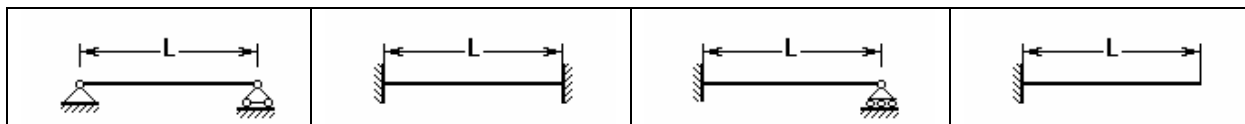
1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 287)

## 6. Частоты собственных колебаний


### 6.1. Однопролетные стержни постоянного сечения на жестких опорах



Рассматриваются колебания однопролетных стержней постоянного сечения на жестких опорах при следующих комбинациях закреплений:



В качестве исходных данных следует задать длину стержня, вес погонного метра, момент инерции сечения стержня и модуль упругости материала, из которого изготовлен стержень (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). Кроме того, нужно задать количество частот собственных колебаний, которые должна определить программа.

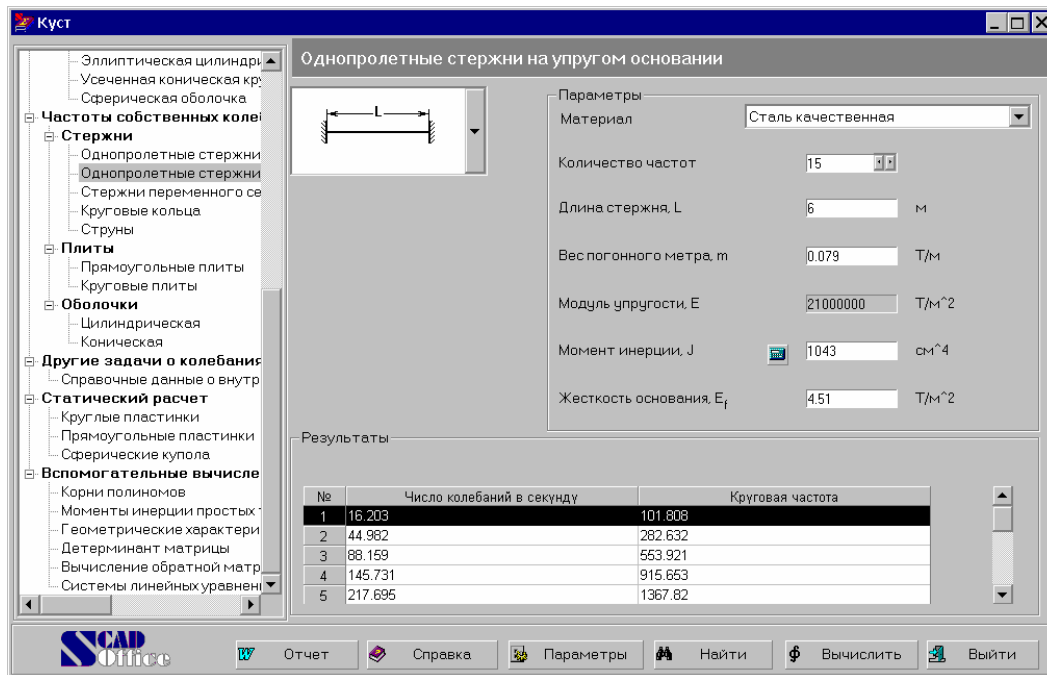
Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе «Момент инерции».

Результатом расчета является частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду) и круговая частота в рад/с для выбранного количества первых форм собственных колебаний.

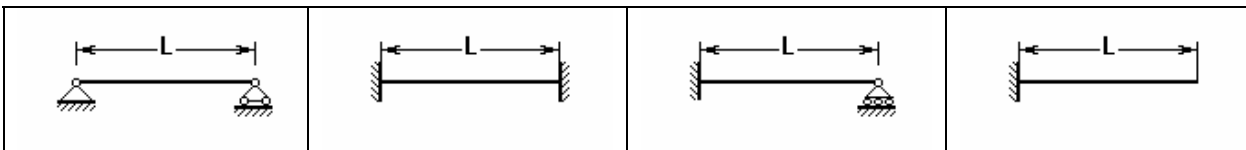
#### Литература

1. Справочник по расчету строительных конструкций на устойчивость и колебания (под редакцией И.И. Гольденблата) — М., Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952. — 251 с. (см. стр. 104)
2. R.D.Blevins, *Formulas for natural frequency and mode shape*, Malabar Florida, Krieger Publishing Company, 2001. — 492 с. (см. стр. 106)


## 6. 2. Однопролетные стержни на упругом основании



Рассматриваются колебания однопролетных стержней постоянного сечения на упругом основании при следующих комбинациях закреплений



В качестве исходных данных следует задать длину стержня, вес погонного метра, момент инерции сечения стержня, жесткость основания и модуль упругости материала, из которого изготовлен стержень (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). Кроме того, нужно задать количество частот собственных колебаний, которые должна определить программа.

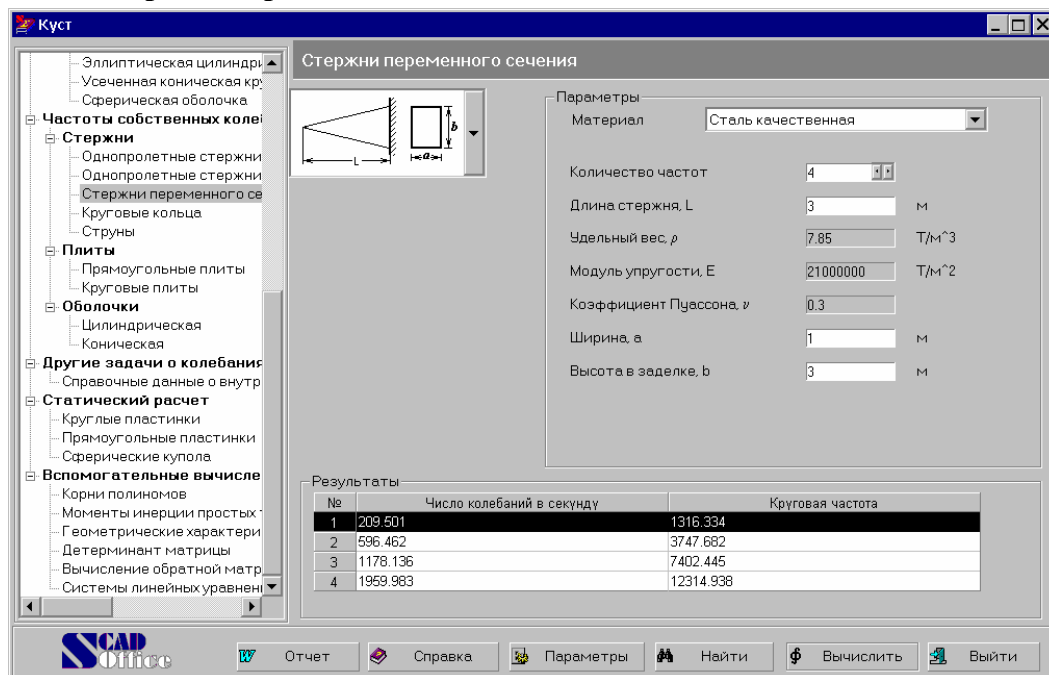
Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

Результатом расчета является частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду) и круговая частота в рад/с для выбранного количества первых форм собственных колебаний.

### Литература

1. Справочник по расчету строительных конструкций на устойчивость и колебания (под редакцией И.И. Гольденבלата) — М., Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952. — 251 с.

### 6.3. Стержни переменного сечения



Рассматриваются колебания консольных стержней переменного сечения. Программа позволяет получить частоты колебаний для следующих случаев:

	Клинообразная консоль — высота поперечного сечения пропорциональна расстоянию до вершины, ширина постоянна
	Консоль в виде кругового конуса
	Пустотелый конус со стенкой, толщина которого меняется по линейному закону
	Консоль в виде усеченного кругового конуса

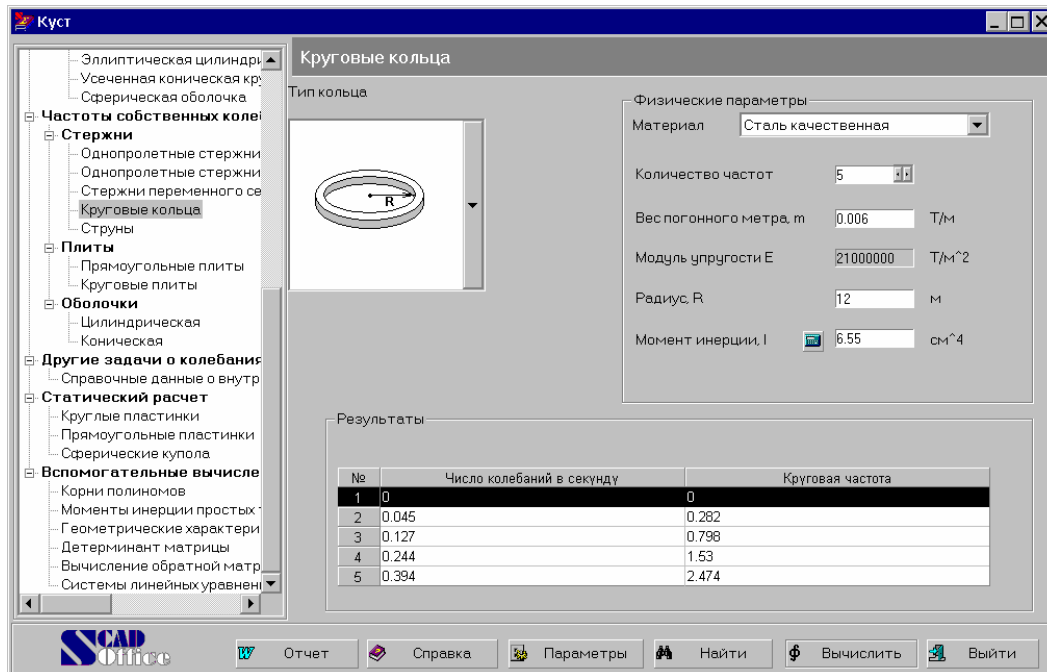
В качестве исходных данных следует задать длину стержня, размеры сечения в заделке, удельный вес, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала, из которого изготовлен стержень (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). В случае усеченного конуса нужно задать диаметр конуса в заделке на противоположном конце. Кроме того, нужно задать количество частот собственных колебаний, которые должна определить программа.

Результатом расчета является частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду) и круговая частота в рад/с для выбранного количества первых форм собственных колебаний.

## Литература


1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 366)

### 6. 4. Круговые кольца



Рассматриваются колебания круговых колец постоянного поперечного сечения, одна из главных осей инерции которого расположена в плоскости оси кольца. Рассмотрены два случая — круговое кольцо и неполное кольцо, в котором часть кольца с углом  $\alpha$  зашпелена на обоих концах. Изучаются изгибные колебания в плоскости кольца.

В качестве исходных данных следует задать радиус осевой линии кольца, вес погонного метра, момент инерции поперечного сечения кольца относительно главной оси ортогональной плоскости кольца, угол раскрытия (только для неполного кольца) и модуль упругости материала, из которого изготовлено кольцо (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). Кроме того, нужно задать количество частот собственных колебаний (для неполного кольца определяется только первая частота).

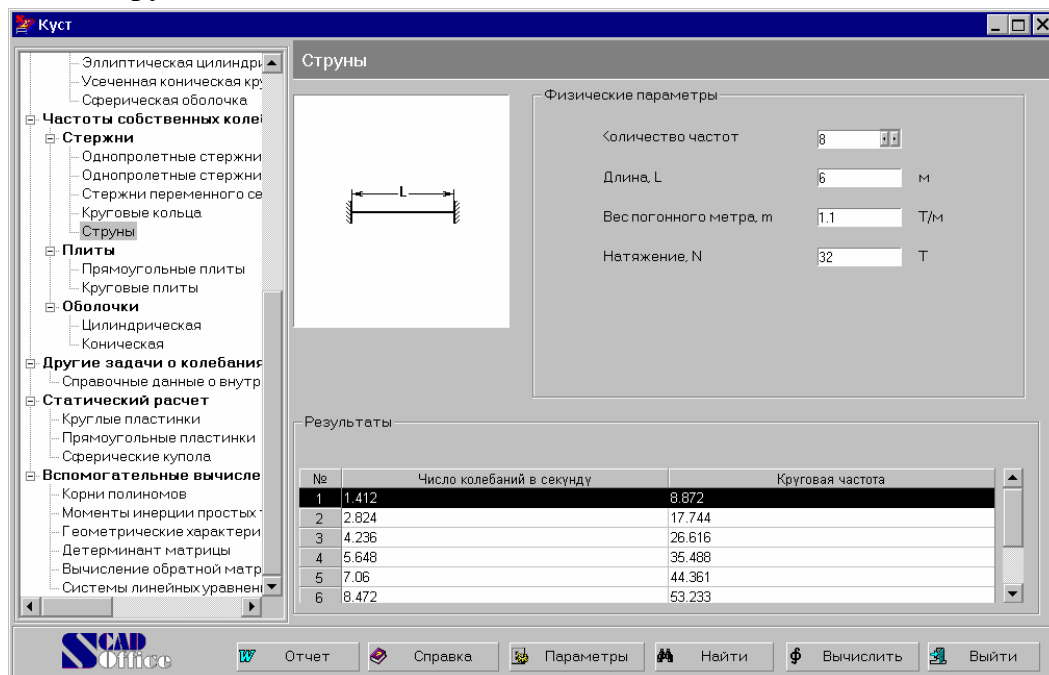
Если поперечное сечение является прокатным профилем, то момент инерции может быть взят из базы данных профилей с помощью кнопки , описанной выше в разделе “Момент инерции”.

Результатом расчета является *частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду)* и *круговая частота в рад/с* для выбранного количества первых форм собственных колебаний.

## Литература

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 362)

## 6. 5. Струны



Рассматриваются поперечные колебания струны с закрепленными концами.

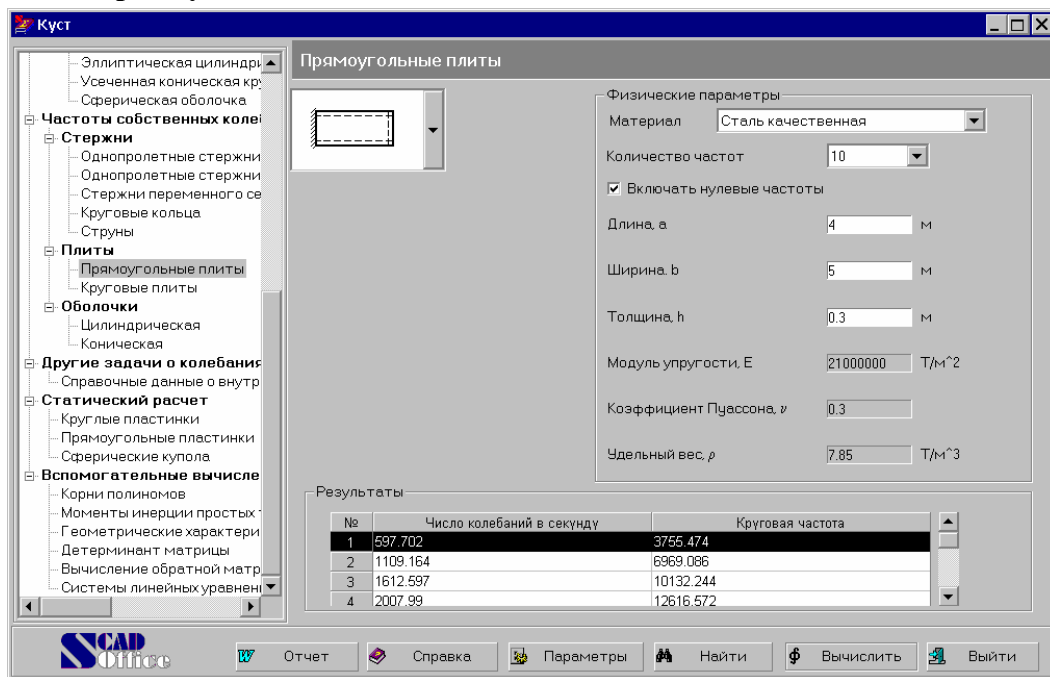
В качестве исходных данных следует задать длину струны, вес погонного метра струны, ее натяжение и количество частот собственных колебаний.

Результатом расчета является *частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду)* и *круговая частота в рад/с* для выбранного количества первых форм собственных колебаний.

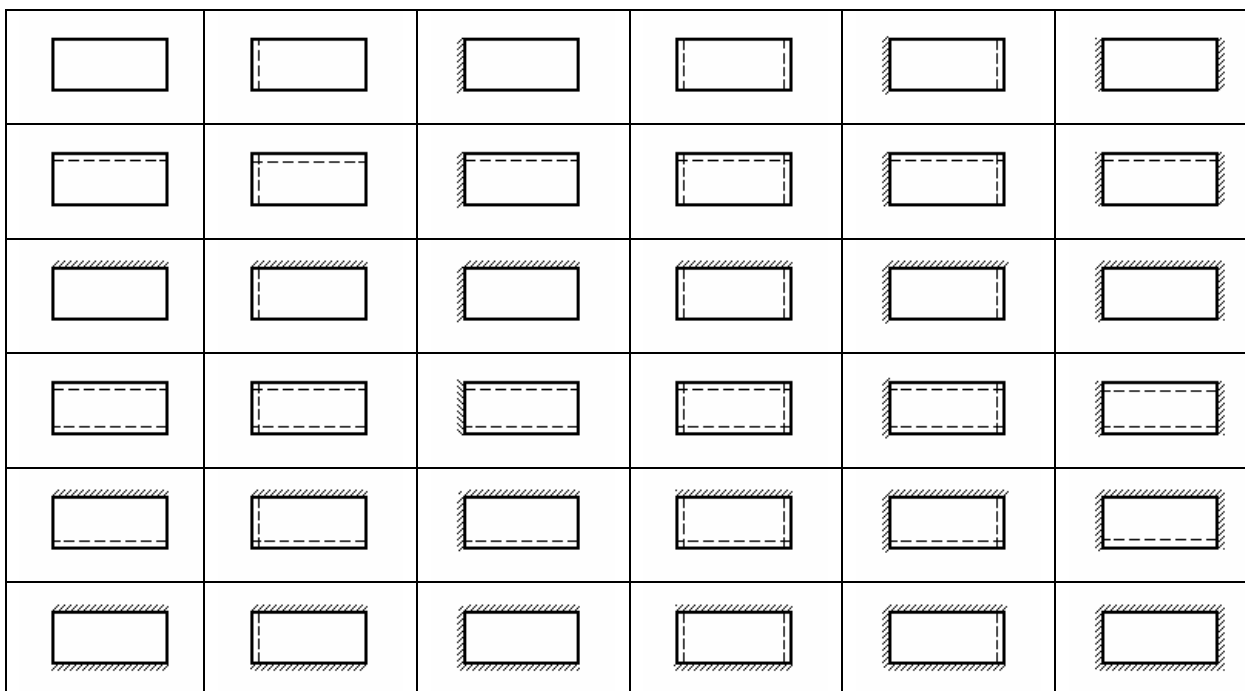
### Литература

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 369)




## 6.6. Прямоугольные плиты



Рассматриваются колебания прямоугольных плит при следующих вариантах закреплений:



Здесь использованы следующие обозначения закреплений:

Свободный край	
Защемление	
Опирание	

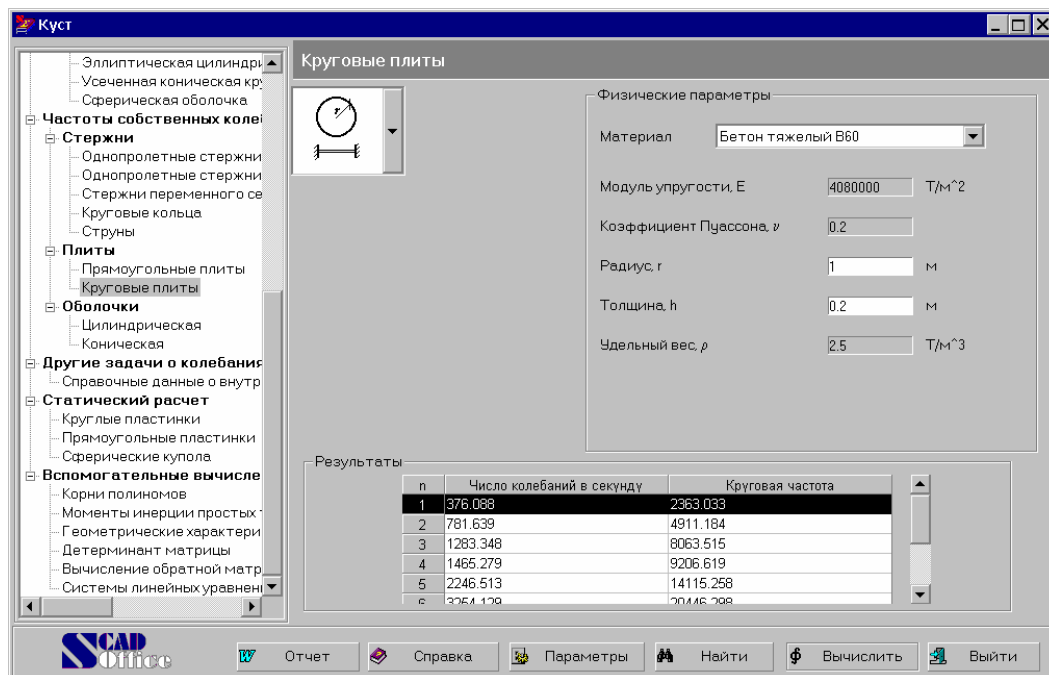
В качестве исходных данных следует задать размеры плиты (длину, ширину и толщину), модуль упругости, коэффициент Пуассона и удельный вес материала, из которого изготовлена плита (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). Кроме того, нужно задать количество частот собственных колебаний. Поскольку для некоторых граничных условий возможно появление нулевых частот, следует использовать специальный маркер **Включать нулевые частоты** для того, чтобы получать или не получать в результате эти нулевые частоты.

Результатом расчета является частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду) и круговая частота в рад/с для выбранного количества первых форм собственных колебаний.


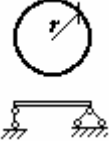

### Литература

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 363)

## 6. 7. Круговые плиты



Рассматриваются колебания круглых плит при следующих вариантах закреплений:

	<p>Жесткое защемление края</p>
	<p>Шанирное опирание с запретом горизонтальных смещений</p>
	<p>Жесткое защемление в центре плиты</p>

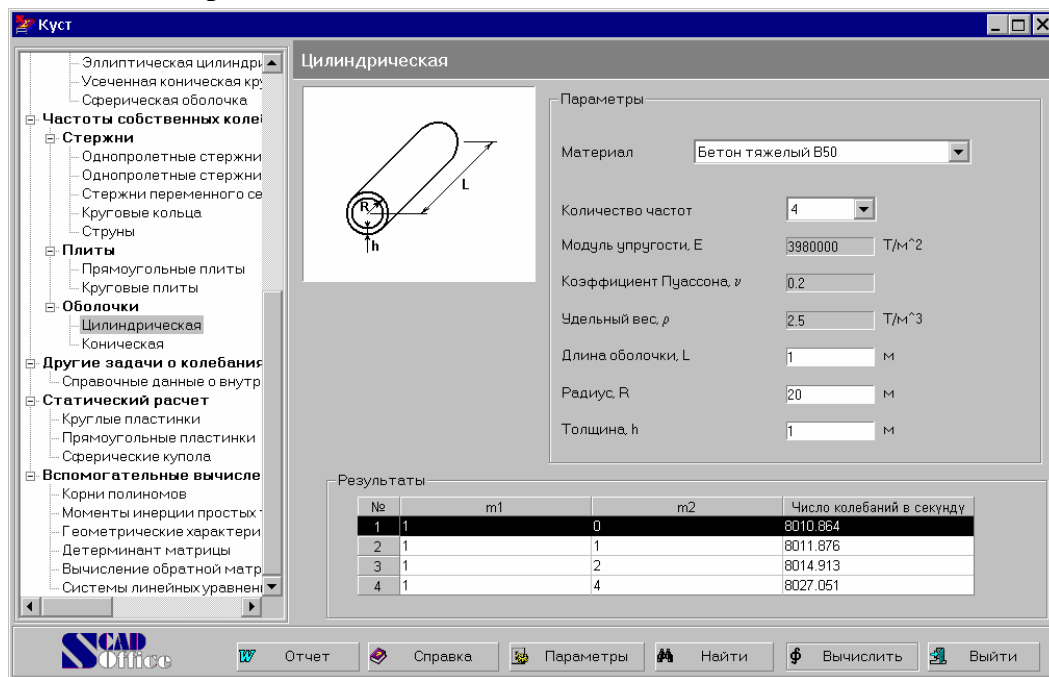
В качестве исходных данных следует задать радиус и толщину плиты, удельный вес, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала, из которого изготовлена плита (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Результатом расчета является *частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду)* и *круговая частота в рад/с* для нескольких первых форм собственных колебаний.

### Литература

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2 (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 365)

## 6. 8. Цилиндрическая оболочка



Рассматриваются собственные колебания цилиндрической оболочки со свободным опиранием ее торцов.

В качестве исходных данных следует задать радиус и толщину оболочки, модуль упругости, коэффициент Пуассона и удельный вес материала, из которого изготовлена оболочка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ) и количество частот.

Результатом расчета является частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду) и круговая частота в рад/с для нескольких первых форм собственных колебаний. Кроме того, в таблице результатов приводятся волновые числа ( $m_1$ ,  $m_2$ ) для соответствующих форм собственных колебаний.

### Литература

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. т. 3 (под редакцией И.А. Биргера, Я.Г. Пановко) — М., Машиностроение, 1968. — 567 с. (см. стр. 429)

## 6.9. Коническая оболочка

№	m1	m2	Число колебаний в секунду
1	1	3	428.246
2	1	2	473.46
3	2	3	495.204
4	1	4	514.746
5	2	2	533.335

Рассматриваются собственные колебания конической оболочки со свободным опиранием ее торцов.

В качестве исходных данных следует задать радиус, высоту и толщину оболочки, угол полураствора конуса, модуль упругости, коэффициент Пуассона и удельный вес материала, из которого изготовлена оболочка (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ) и количество частот.

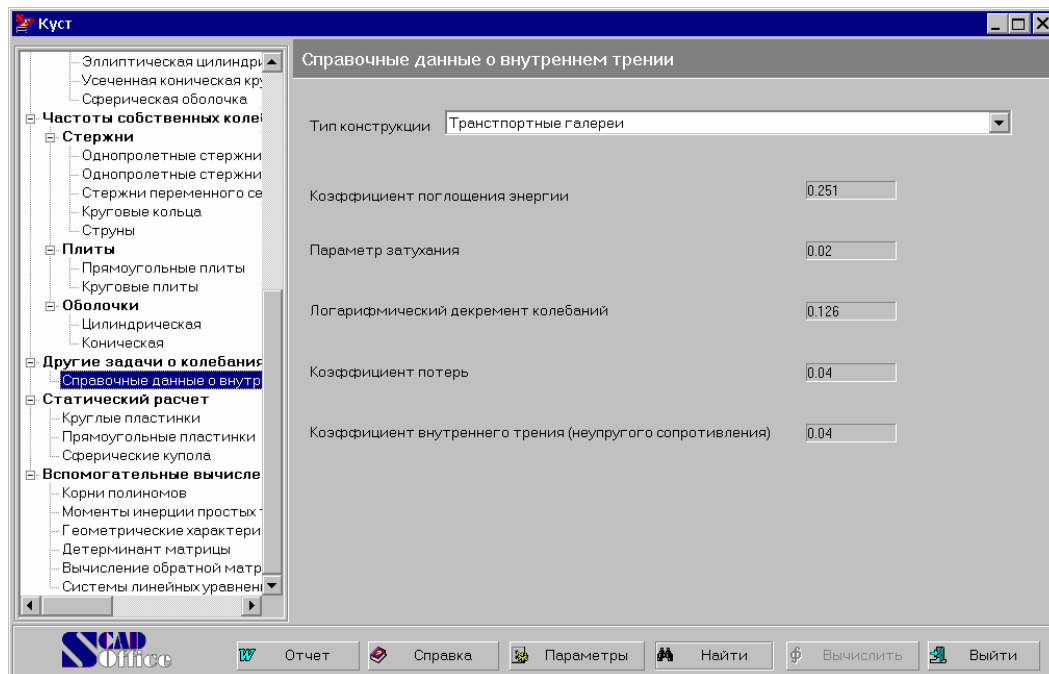
Результатом расчета является *частота колебаний в Гц (число колебаний в секунду)* и *круговая частота в рад/с* для нескольких первых форм собственных колебаний. Кроме того, в таблице результатов приводятся волновые числа ( $m_1, m_2$ ) для соответствующих форм собственных колебаний.

### Литература

1. *Прочность. Устойчивость. Колебания.* т. 3 (под редакцией И.А. Биргера, Я.Г. Пановко) — М., Машиностроение, 1968. — 567 с. (см. стр. 457)

## 7. Другие задачи о колебаниях

### 7.1. Справочные данные о внутреннем трении



В различных нормативных документах используются различные формы представления внутренних потерь, в частности:

- коэффициент поглощения энергии;
- параметр затухания;
- логарифмический декремент колебаний;
- коэффициент потерь;
- коэффициент внутреннего трения (неупругого сопротивления).

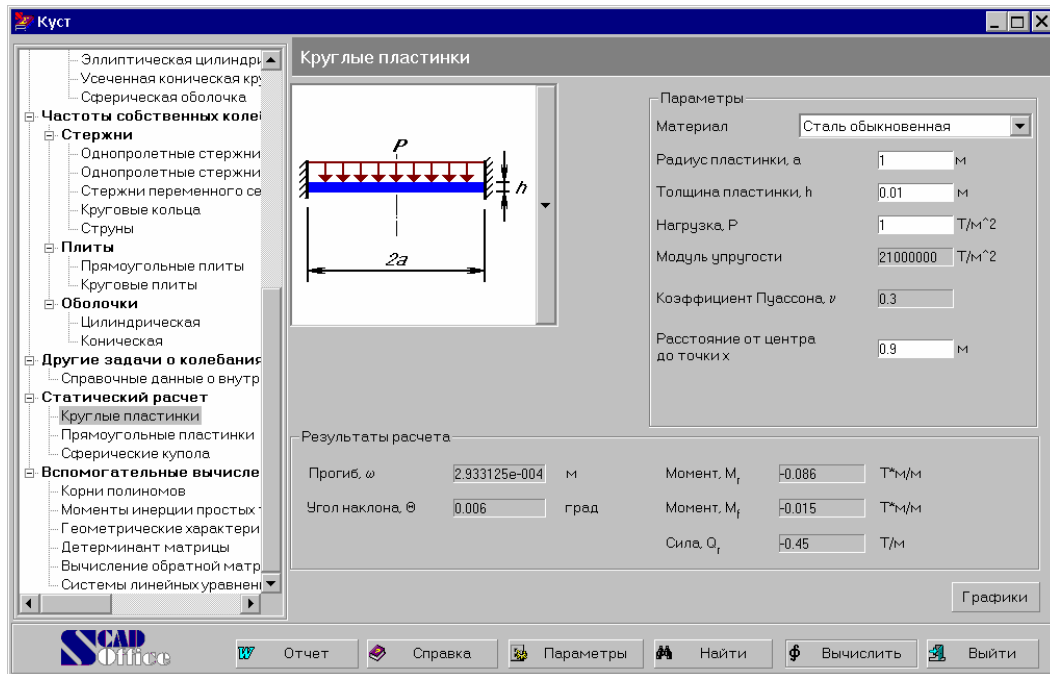
В данном режиме, выбрав из выпадающего списка тип конструкции, можно получить все вышеперечисленные параметры. Если в списке конструкций выбрать **ДРУГИЕ ТИПЫ КОНСТРУКЦИЙ**, то можно ввести значение одного из параметров и, нажав кнопку **Вычислить**, получить значения остальных.

#### Литература

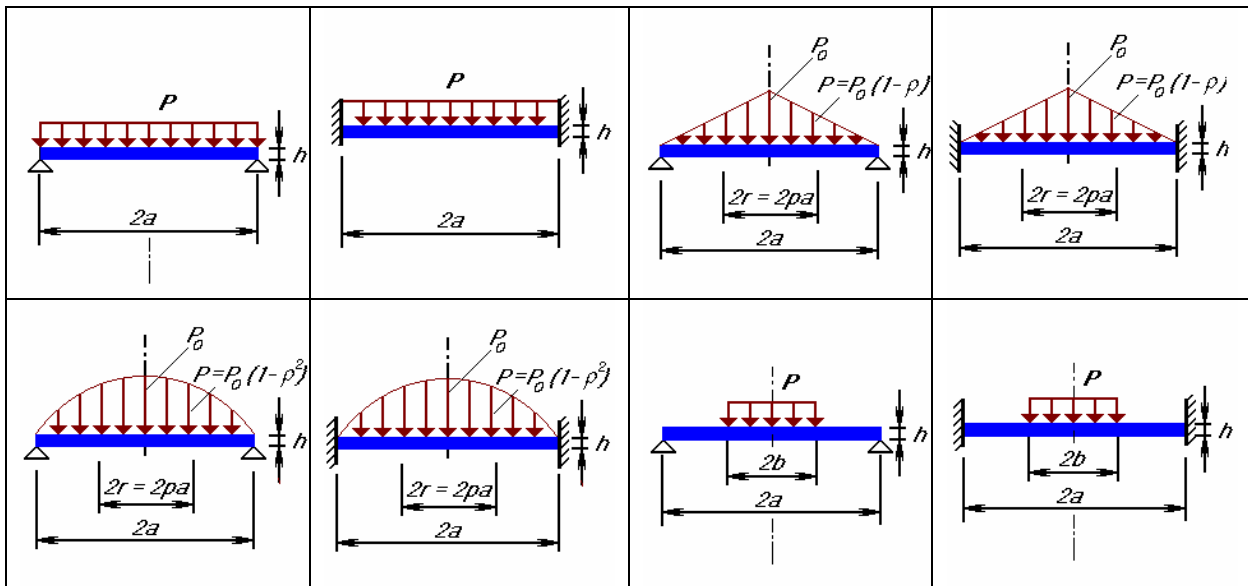
1. Динамический расчет зданий и сооружений. (Справочник проектировщика). — М., Стройиздат, 1984. — 303 с. (см. раздел 3)

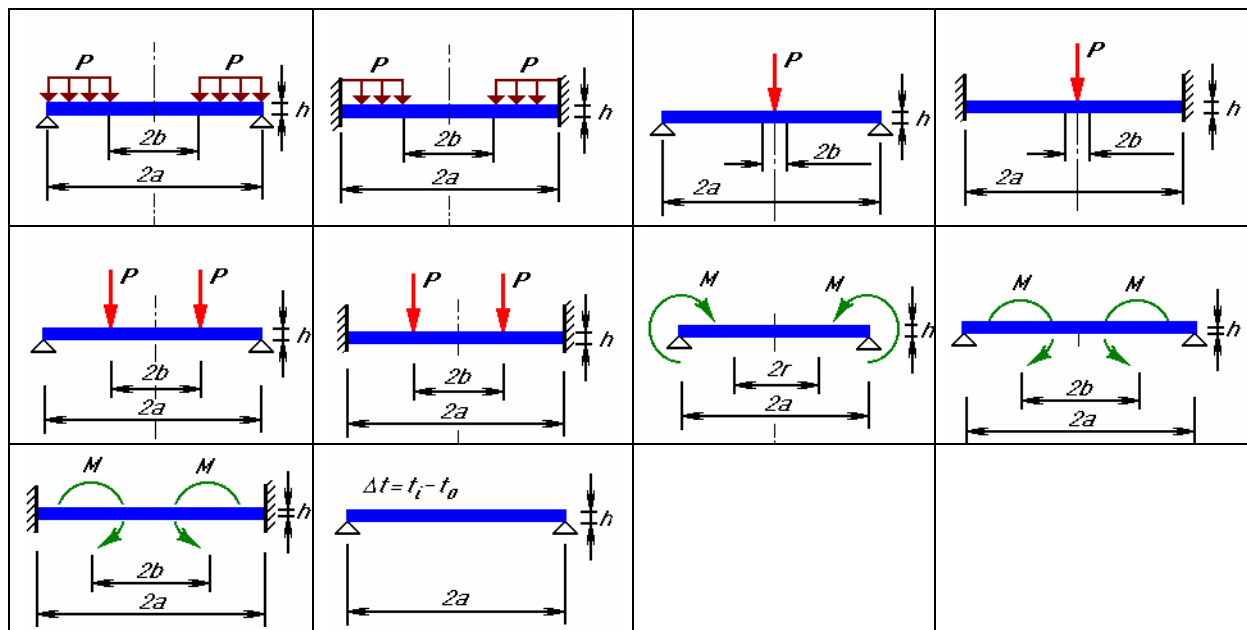
## 8. Статические расчеты

### 8.1. Круглые пластинки

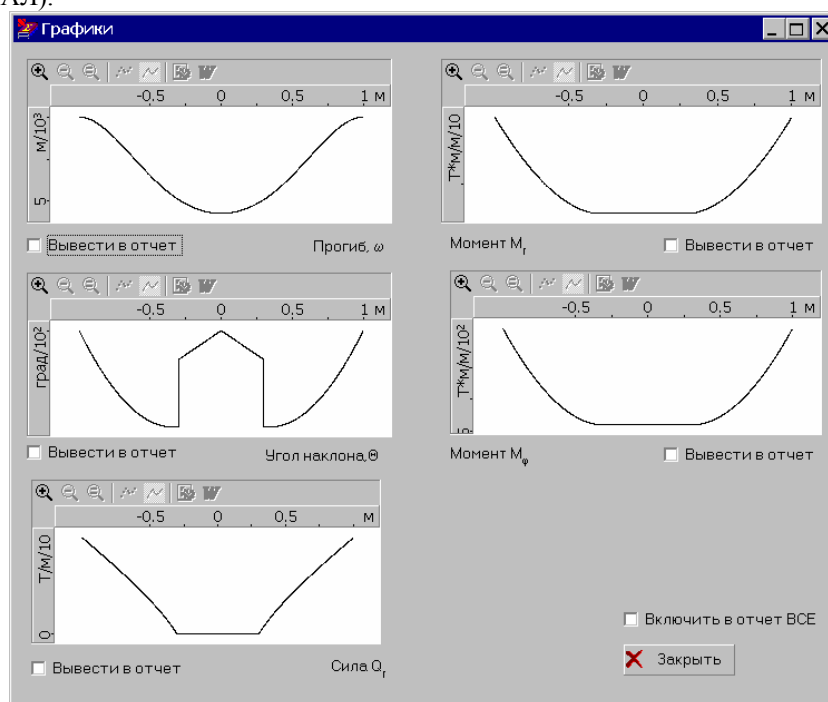


Рассматриваются круглые пластинки при различных симметричных схемах нагрузки и различных условиях опирания. Все реализованные в программе расчетные ситуации приведены ниже в таблице.





В качестве исходных данных следует задать радиус пластинки и ее толщину, а также величину нагрузки (и, если необходимо, положение нагрузки). Кроме того, требуется информация о модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена пластина (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).



Для точки, расположенной на расстоянии  $x$  от центра пластинки (эта величина также должна быть задана пользователем) программа вычисляет прогиб, угол наклона, перерезывающую силу и моменты (радиальный

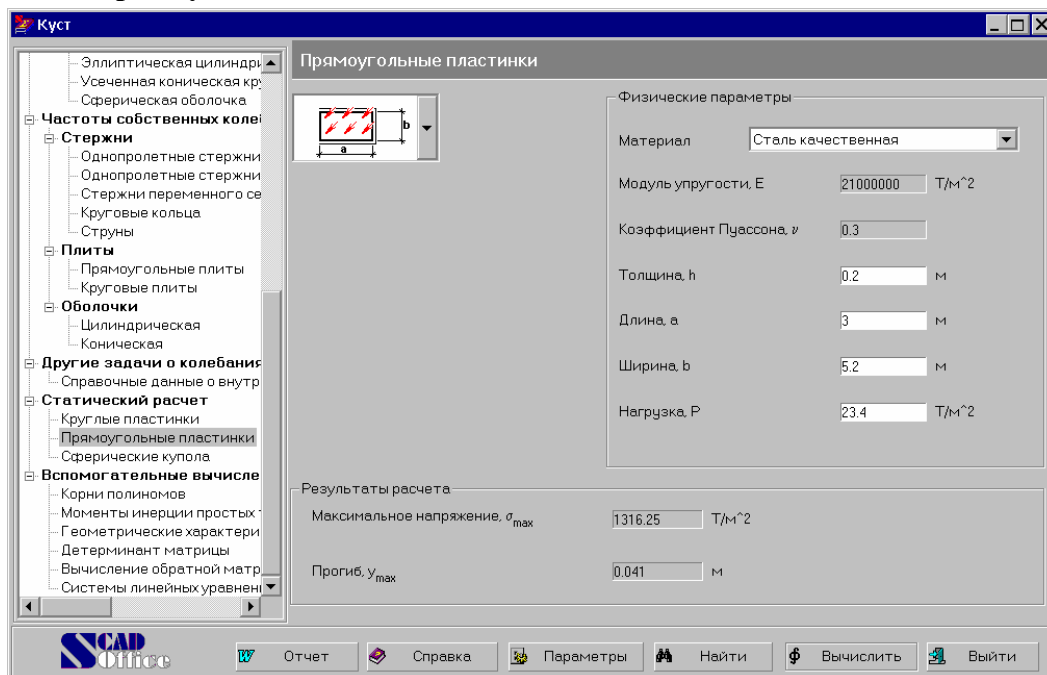
и тангенциальный). Кроме того, кнопка **Графики** позволяет получить эпюры вышеперечисленных величин.

В диалоговом окне с эпюрами можно с помощью маркеров установить, какие из эпюр должны быть включены в отчетный документ.

### Литература

1. Справочник по теории упругости. (под редакцией П.М. Варвака) — Киев., «Будівельник», 1971. — 416 с. (см. стр. 335)

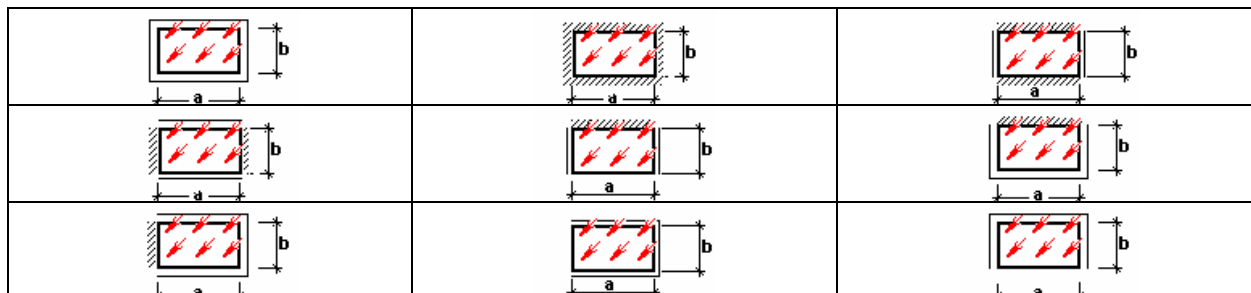
## 8. 2. Прямоугольные пластинки






Рассматриваются прямоугольные пластинки с различными условиями закрепления по краям под действием равномерно распределенной нагрузки, ортогональной поверхности пластины.

В качестве исходных данных следует задать размеры пластинки в плане и ее толщину, а также величину нагрузки. Кроме того, требуется информация о модуле упругости и коэффициенте Пуассона материала, из которого изготовлена панель (последние могут быть назначены выбором одного из материалов из базы данных или заданы явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ).

Предусмотрены следующие виды краевых условий:



Здесь использованы следующие обозначения закреплений:

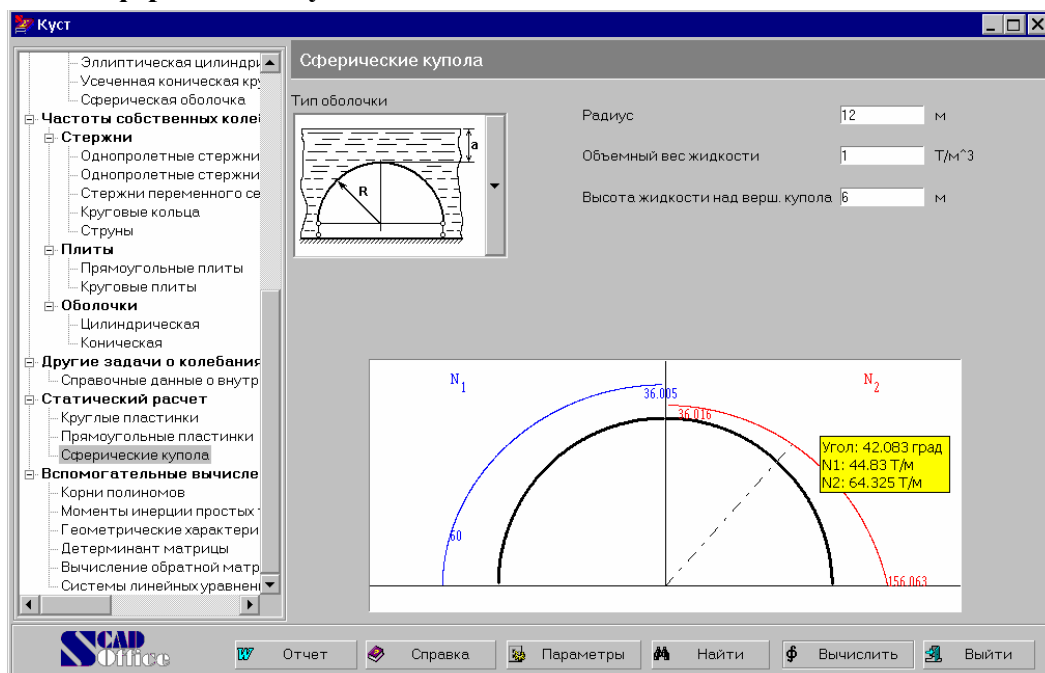
Свободный край	
Защемление	
Опираение	

Результатом расчета является значение *максимального напряжения  $\sigma$*  и *максимального прогиба*.

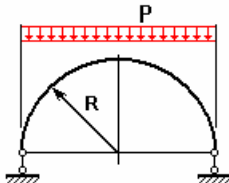
### Литература

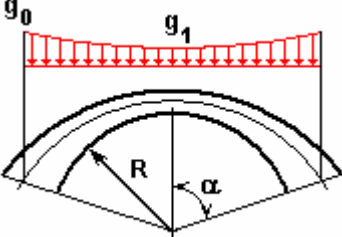
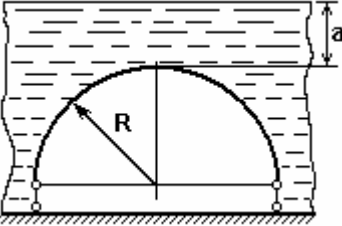
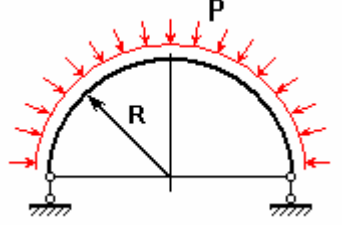
1. *Справочник по теории упругости.* (под редакцией П.М. Варвака) — Киев., «Будівельник», 1971. — 416 с. (см. стр. 376)

### 8. 3. Сферические купола



Рассматриваются сферические купола шарнирно опертые по контуру под действием следующих нагрузок:

	Равномерная нагрузка на горизонтальную проекцию
---	---

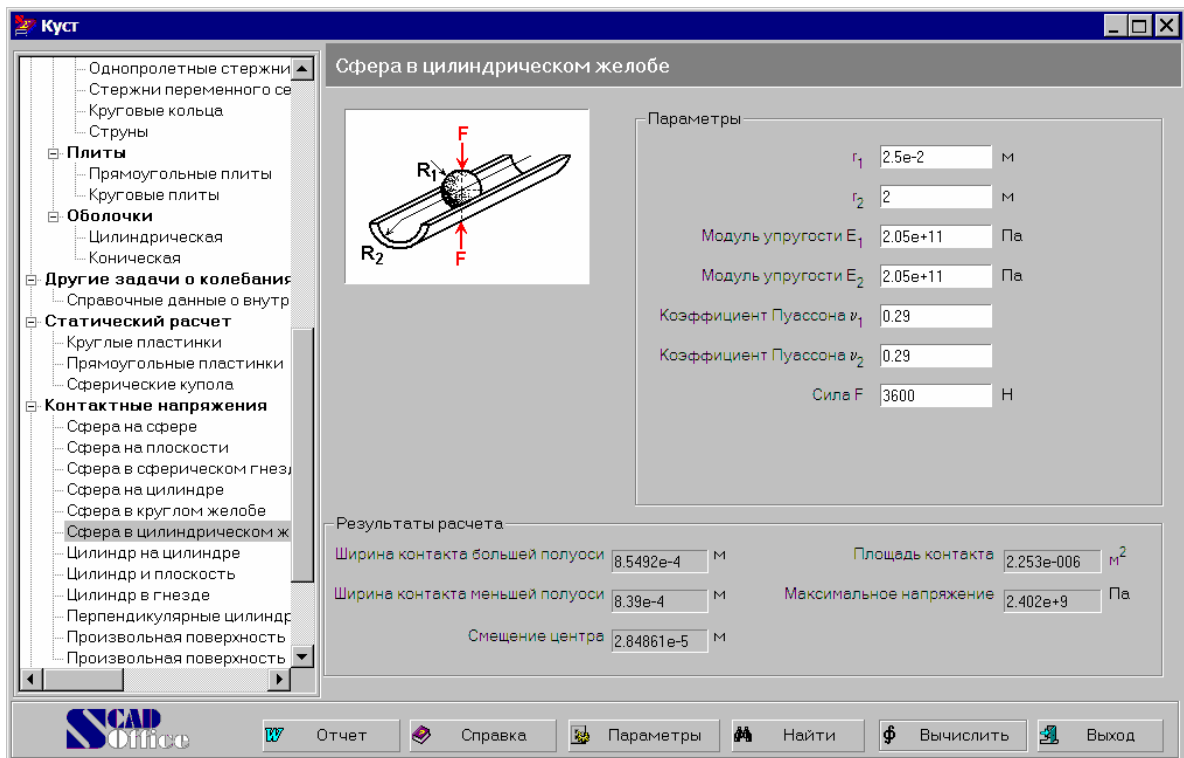
	<p>Нагрузка от собственного веса</p>
	<p>Нагрузка жидкостью</p>
	<p>Нагрузка в виде постоянного внешнего давления</p>

В качестве исходных данных следует задать радиус купола и величину нагрузки. Нажатие кнопки **Вычислить** приводит к появлению графика тангенциальных компонент усилий в кольцевом и меридиальном направлениях ( $N_1, N_2$ ). График обладает свойством динамической оцифровки, с помощью которой для указанного курсором аргумента на экран монитора выводятся значения функции.

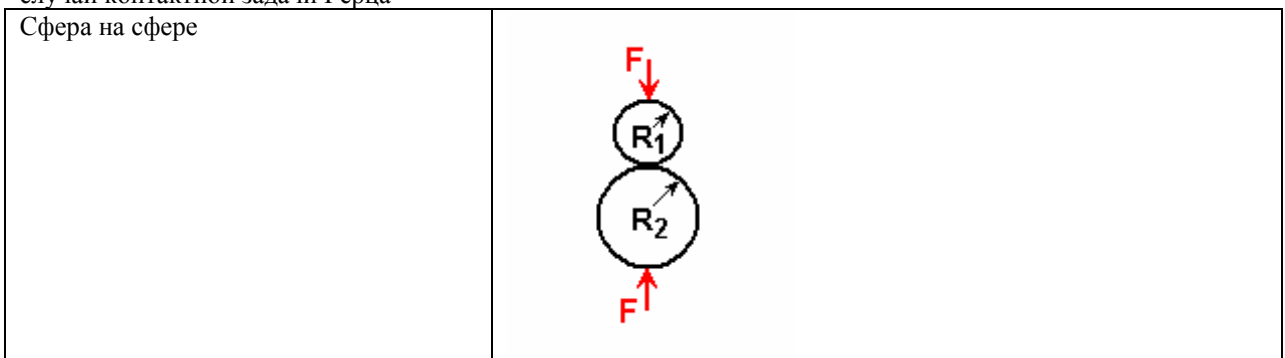
### Литература

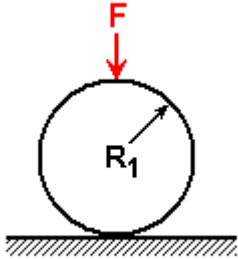
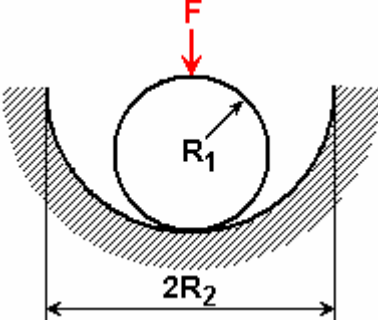
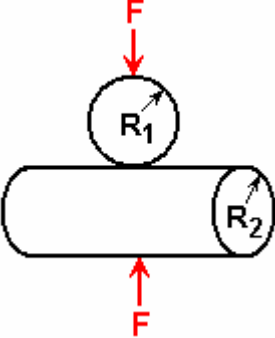
1. *Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. т. 2* (под редакцией А.А. Уманского) — М., Стройиздат, 1973. — 415 с. (см. стр. 95)

## 9. Контактные напряжения

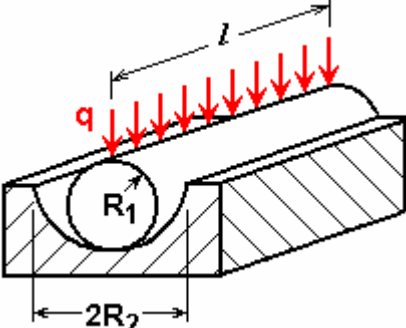
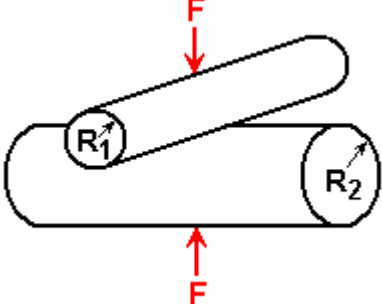
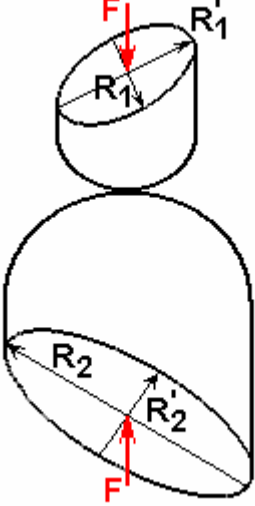


Рассматривается задача об определении максимальных напряжений, размера и площади контактной области при точечном или линейном контакте двух изотропных упругих тел. В качестве исходных данных требуется ввести информацию о радиусах кривизны соприкасающихся тел, моделях упругости и коэффициентах Пуассона материалов двух тел и величине нагрузки. Реализованы следующие частные случаи контактной задачи Герца

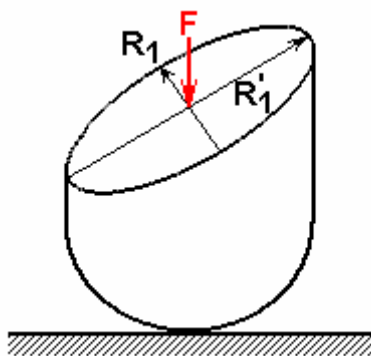


<p>Сфера на плоскости</p>	
<p>Сфера в сферическом гнезде</p>	
<p>Сфера на цилиндре</p>	

<p>Сфера в круглом желобе</p>	
<p>Сфера в цилиндрическом желобе</p>	
<p>Цилиндр на цилиндре</p>	
<p>Цилиндр и плоскость</p>	

<p>Цилиндр в гнезде</p>	
<p>Перпендикулярные цилиндры</p>	
<p>Произвольная поверхность на произвольной поверхности</p>	

Произвольная поверхность на плоскости

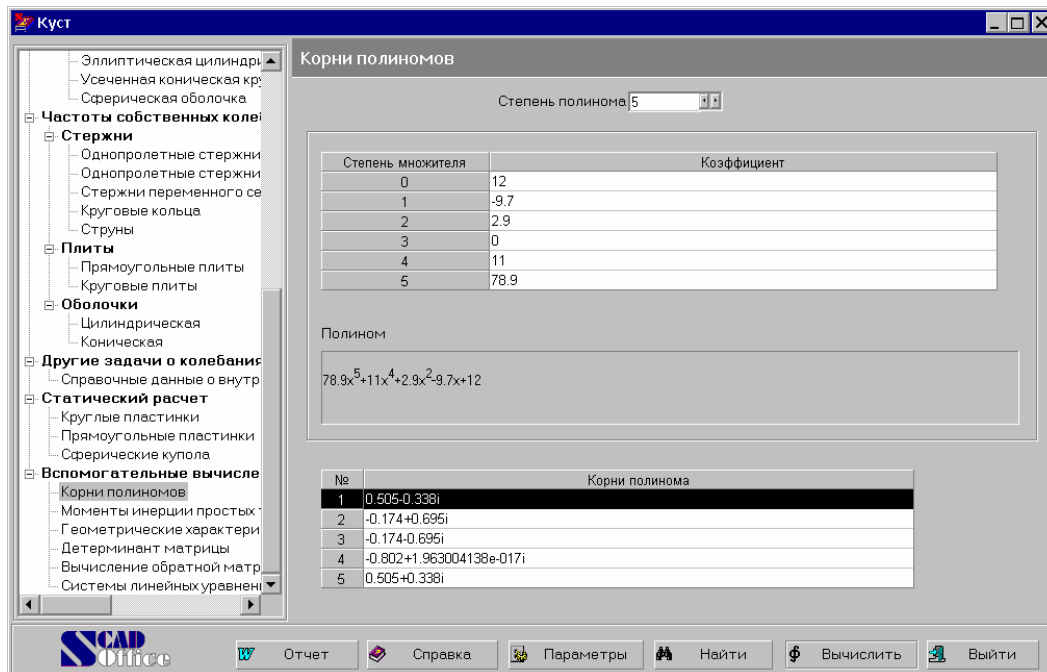


**Литература**

1. W.D.Pilkey Stresses, Strains and Structural Matrices, New-York, John Wiley & Sons Inc. 1994

## 10. Вспомогательные вычисления

### 10.1. Корни полиномов



Рассматривается задача о нахождении всех решений уравнения

$$\sum_{i=0}^n a_i x^i = 0,$$

с вещественными коэффициентами  $a_i, i = 0, \dots, n$ .

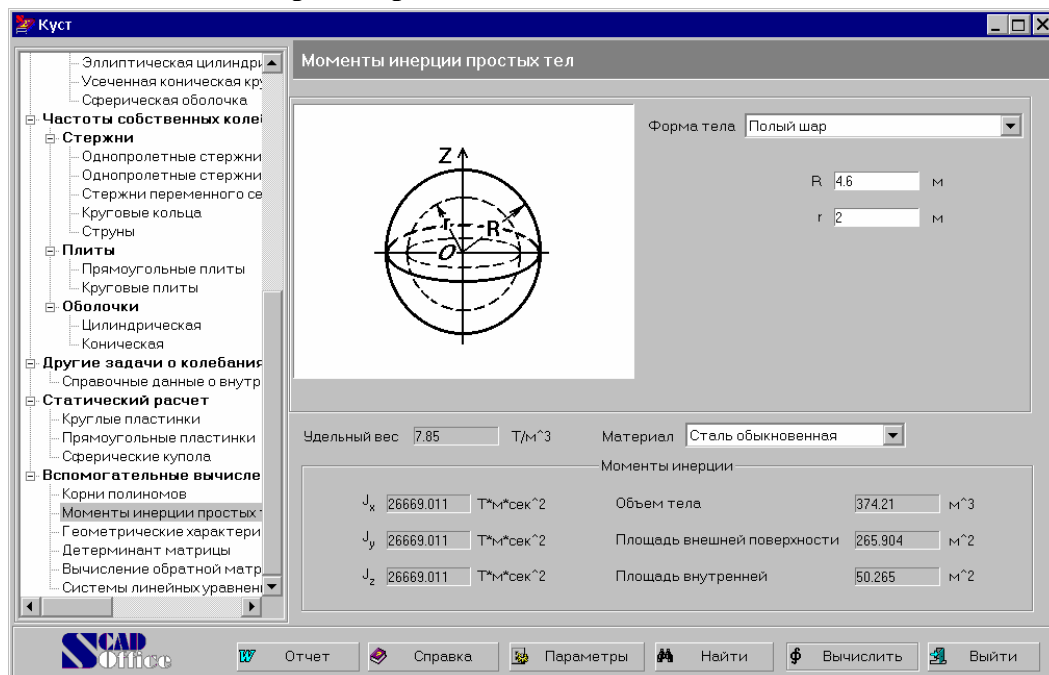
Для решения задачи нужно задать степень полинома и заполнить таблицу с коэффициентами. В результате решения в таблице, которая расположена в нижней части экрана, приводятся все (вещественные и комплексные) корни полинома.

Для решения используется итерационный метод Мюллера.

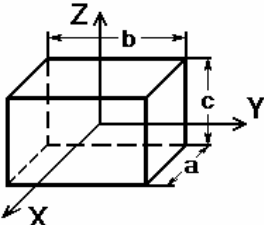
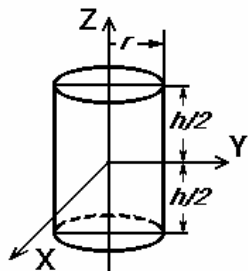
#### Литература

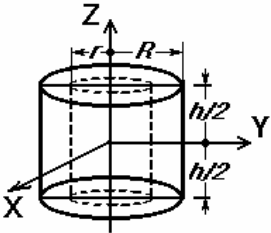
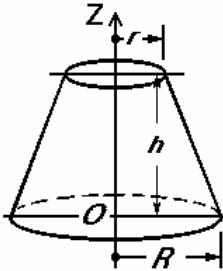
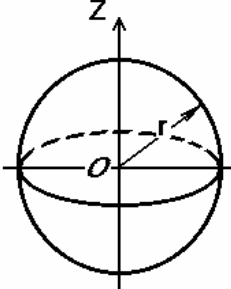
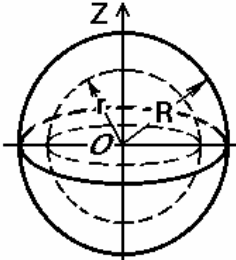
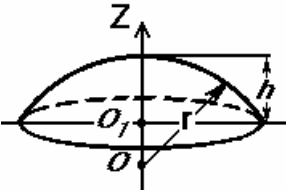
1. W.H.Press, B. P. Flannery, S.A.Teukolsky, W.T.Vetterling, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, 2nd ed.* Cambridge, England: Cambridge University Press, 1992. (см. [1, § 9.5]).

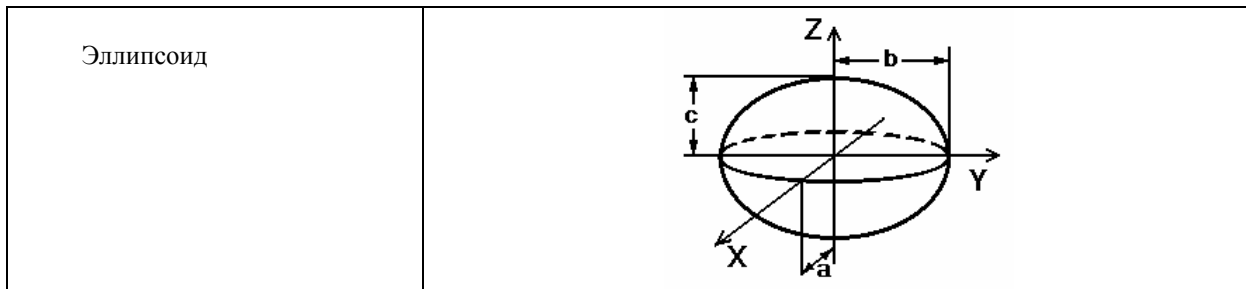
## 10. 2. Моменты инерции простых тел



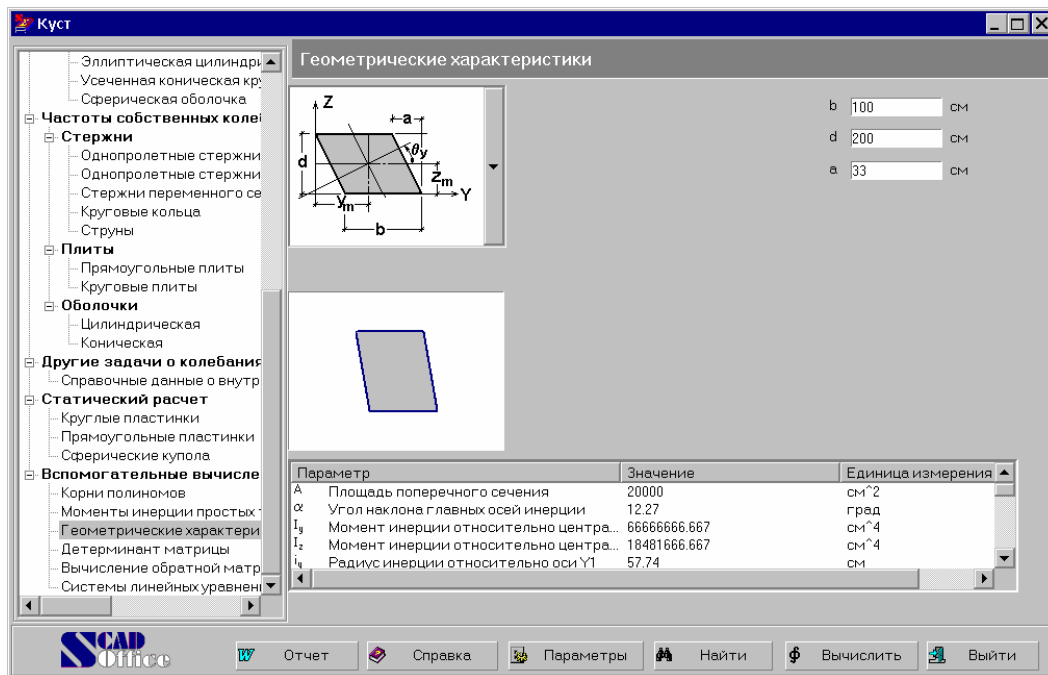
В данном режиме вычисляются *моменты инерции* тел простой геометрической формы, а также *объем* и *площадь* (площади) поверхности. Перечень форм приведен ниже в таблице. В качестве исходных данных следует задать информацию об удельном весе материала (последний может быть назначен выбором одного из материалов из базы данных или задан явно, если в списке материалов выбран пункт ДРУГОЙ МАТЕРИАЛ). Кроме того, в зависимости от выбранной формы, следует задать те или иные геометрические размеры.

<p>Прямоугольный параллелепипед</p>	
<p>Цилиндр</p>	

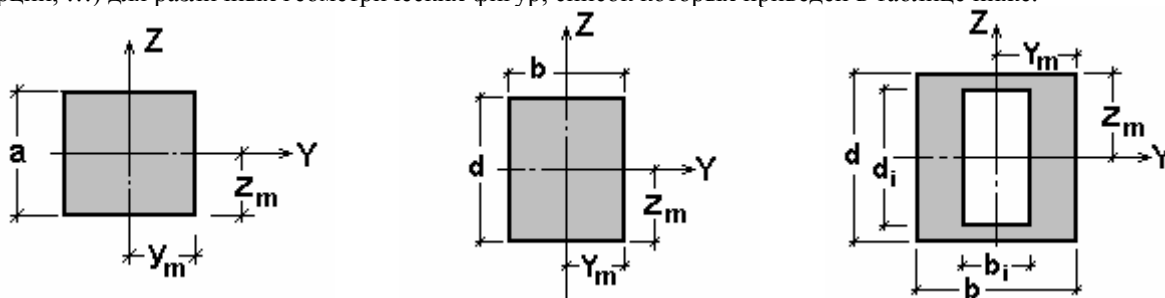
<p>Полый цилиндр</p>	
<p>Прямой усеченный конус</p>	
<p>Шар</p>	
<p>Полый шар</p>	
<p>Шаровой сегмент</p>	

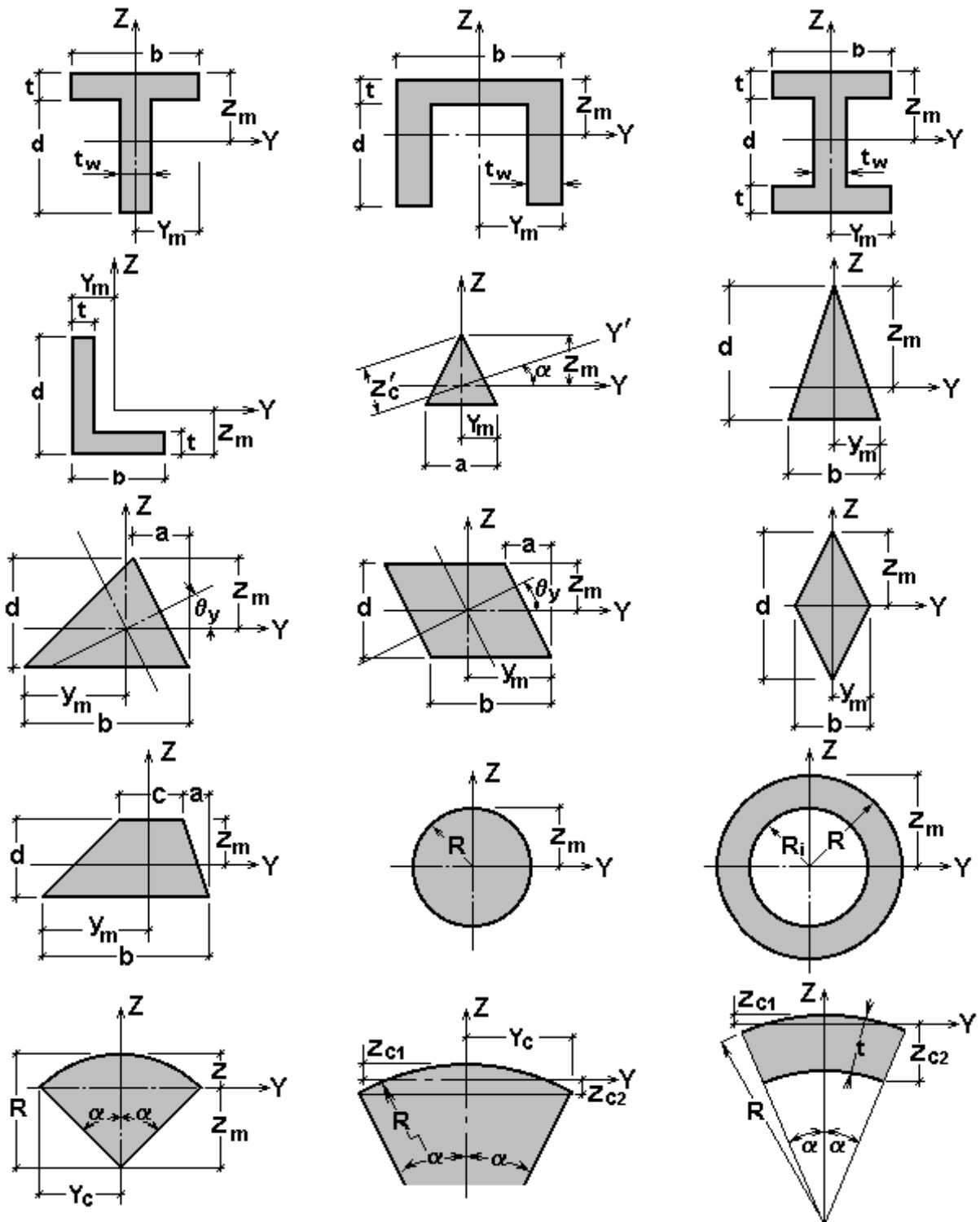


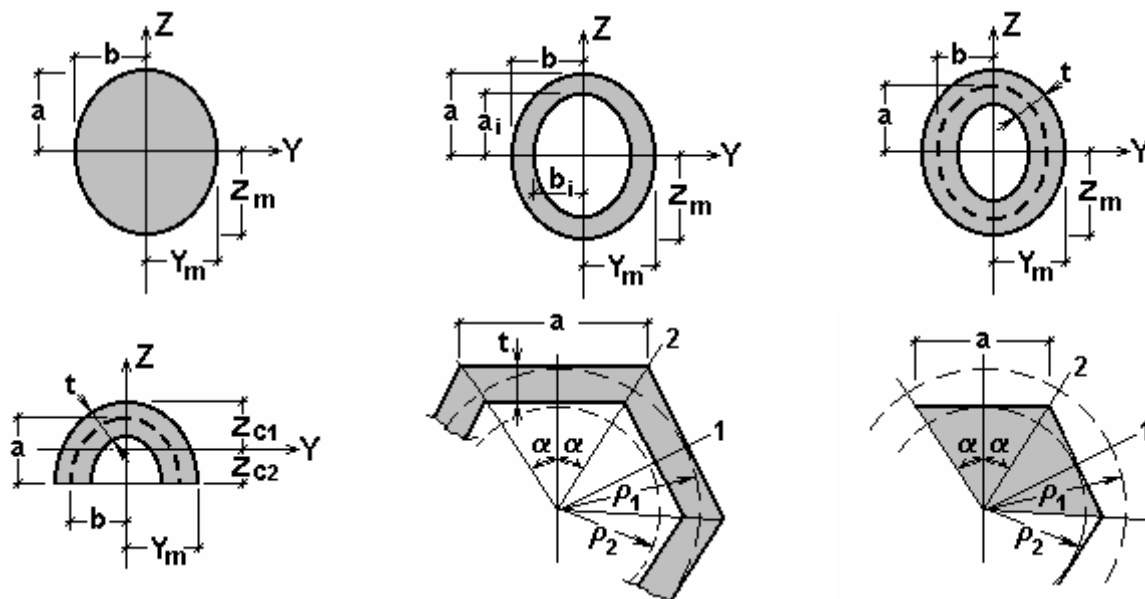
### 10.3. Геометрические характеристики



В данном режиме определяются геометрические характеристики (площадь, моменты и радиусы инерции, ...) для различных геометрических фигур, список которых приведен в таблице ниже.





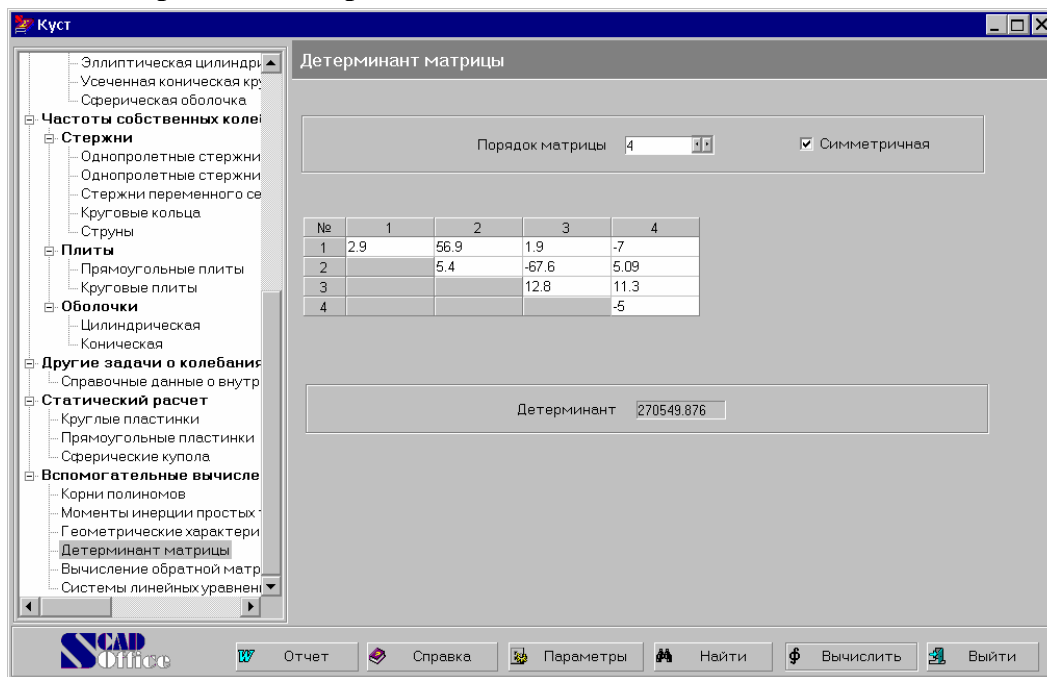


Для вычисления геометрических характеристик нужно в выпадающем списке выбрать нужную форму, задать необходимые размеры (которые зависят от выбранной формы) и нажать кнопку **Вычислить**. Вычисленные геометрические характеристики выводятся в таблице в нижней части экрана.

### Литература

1. W.C.Young, R.G.Budynas, *Roark's formulas for stress and strains, Seventh Edition*, 2002, ISBN 0-07-072542-X, 2001, 832 pp.
2. И.А.Биргер, Я.Г.Пановко и др., *Прочность, устойчивость, колебания, том 1*, М., изд-во «Машиностроение», 1988, 831 стр.

## 10. 4. Детерминант матрицы



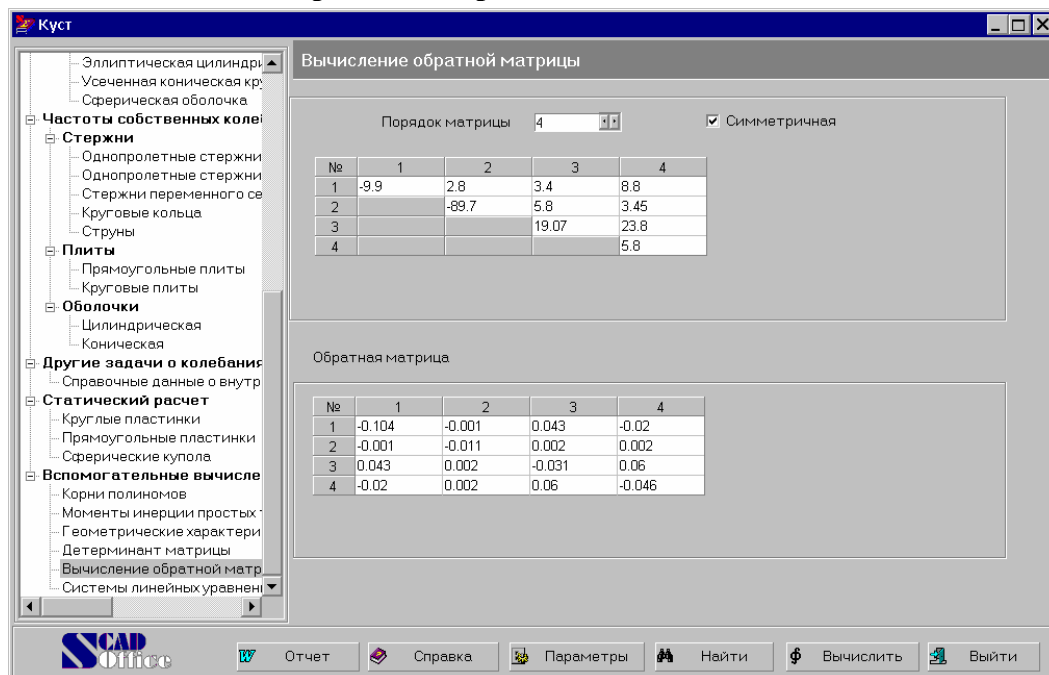
В этом режиме для произвольной матрицы с порядком не превышающем 50, производится вычисление ее детерминанта. При вводе данных нужно задать порядок матрицы и заполнить таблицу коэффициентов. Специальный маркер **Симметричная** позволяет для случая симметричных матриц вводить только коэффициенты, расположенные в верхнем треугольнике матрицы.

Результатом вычислений является *детерминант* заданной матрицы.

### Литература

1. Ф.Р.Гантмахер *Теория матриц*, М., изд-во Наука, 1967, 576 с.

## 10. 5. Вычисление обратной матрицы



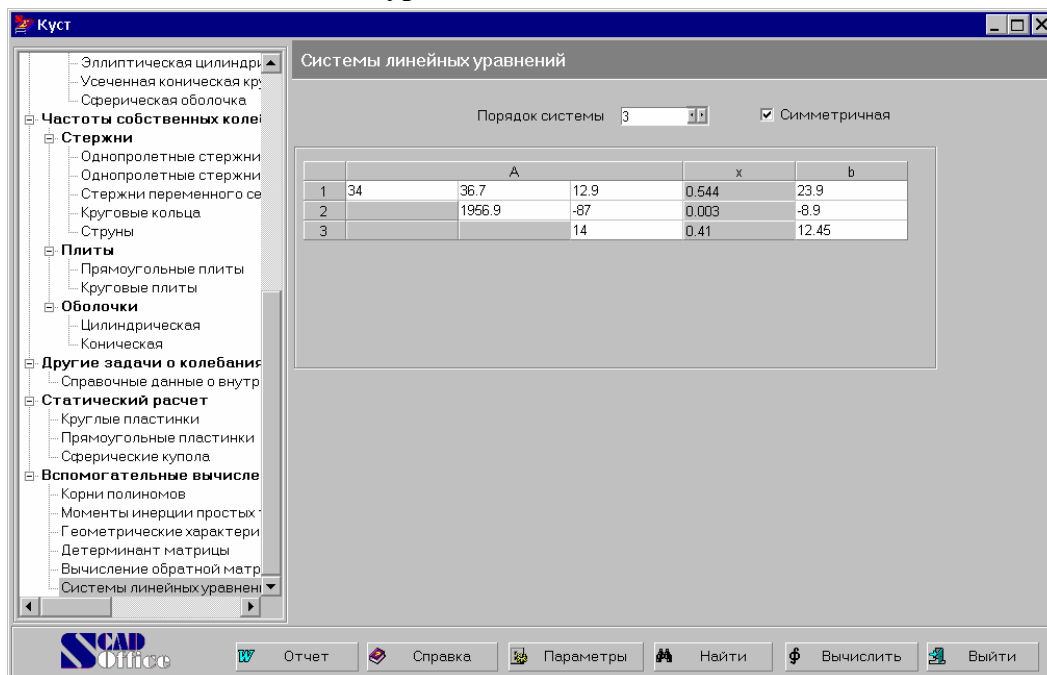
В этом режиме для произвольной матрицы с порядком не превышающем 50, производится вычисление соответствующей ей обратной матрицы. При вводе данных нужно задать порядок матрицы и заполнить таблицу коэффициентов. Специальный маркер *Симметричная* позволяет для случая симметричных матриц вводить только коэффициенты, расположенные в верхнем треугольнике матрицы.

Результатом вычислений является *обратная матрица*, которая выводится в таблице, расположенной в нижней части экрана.

### Литература

1. Ф.Р.Гантмахер *Теория матриц*, М., изд-во Наука, 1967

## 10. 6. Системы линейных уравнений



В этом режиме решается система линейных уравнений  $Ax = b$  для произвольной матрицы  $A$  (с порядком не превышающем 50) и вектора  $b$ . При вводе данных нужно задать порядок матрицы и заполнить таблицу коэффициентов. Специальный маркер *Симметричная* позволяет для случая симметричных матриц вводить только коэффициенты, расположенные в верхнем треугольнике матрицы. Вектор правых частей  $b$  задается в таблице в столбце с заголовком  $b$ .

Результатом вычислений является вектор неизвестных  $x$ , который выводится в таблице в столбце с заголовком  $x$ .

### Литература

1. Ф.Р.Гантмахер *Теория матриц*, М., изд-во Наука, 1967