

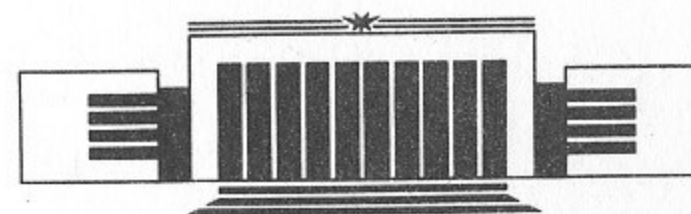


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

Б.З. Персов

**МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ
НА IBM PC**

ПРЕПРИНТ 90-134



НОВОСИБИРСК

Машиностроительные расчеты на IBM PC

Аннотация

Описаны разработанные в ИЯФ программы для расчета машиностроительных элементов конструкций (балки, диски, оболочки и т.д.) с помощью персональных ЭВМ типа IBM PC. Изложены особенности построения и использования программ, ограничения, накладываемые на задачи, приведены необходимые пользователю пояснения.

I. Введение

Программы, используемые сегодня для расчета машиностроительных конструкций с помощью ЭВМ (например, SAP-IV, ANSYS и др.), являются, как правило, универсальными, позволяющими рассчитывать любые конструкции при произвольных условиях нагружения и закрепления. Программы эти, естественно, сложны и требуют от пользователя значительных знаний в области программирования и вычислительных методов. Время счета по ним обычно велико (~ часы), хотя это и бывает оправдано сложностью задачи.

В то же время типичная ситуация в практической деятельности инженера-необходимость быстрого получения численного решения конкретной задачи, или быстрого подбора подходящего варианта конструкции. Как правило, аналитическое решение этих задач, несмотря на их схемную простоту, оказывается сложным и трудоемким. В результате решение требует большого времени при высокой вероятности появления чисто счетных ошибок.

Эти соображения и желание снабдить удобными методами расчета широкий круг проектировщиков и определили необходимость разработки программ, отвечающих следующим основным требованиям:

- пользование программами не должно требовать от потребителя знаний в области вычислительной техники и программирования;
- работа должна вестись в диалоговом режиме с возможностью немедленной коррекции исходных данных в случае получения непригодного решения;
- время решения одной задачи должно быть небольшим (желательно, в пределах 10...30 минут).

Разработаны и сегодня используются следующие программы:

- БАЛКА-расчет балок на поперечный изгиб;
- ДИСК-расчет круглых и кольцевых дисков на поперечную нагрузку;
- КАМЕРА-расчет длинных тонкостенных камер различного поперечного сечения, нагруженных равномерно распределенным давлением;
- ЦИЛИНДР-расчет круговых цилиндрических оболочек на осесимметричную нагрузку;
- ДНИЩЕ-расчет круглых и кольцевых днищ цилиндрических емкостей;
- MIPS-расчет геометрических характеристик плоских сечений;
- SAM-расчет статических электрических и магнитных полей и траекторий движения электронов в этих полях.

Программа SAM, строго говоря, не является программой для расчета машиностроительных элементов конструкций. Однако, она отвечает приведенным выше требованиям к программам, может, как и все перечисленные программы, использоваться для расчетов на IBM PC и практически применяется при проектировании электронных пушек. Этой программе посвящена работа /1/.

остальные программы описаны ниже.

2. Программа БАЛКА

Эта программа предназначена для расчета на прочность и жесткость балок постоянного по длине поперечного сечения с опорами, расположенными в соответствии с одной из схем, показанных на рис. 1.

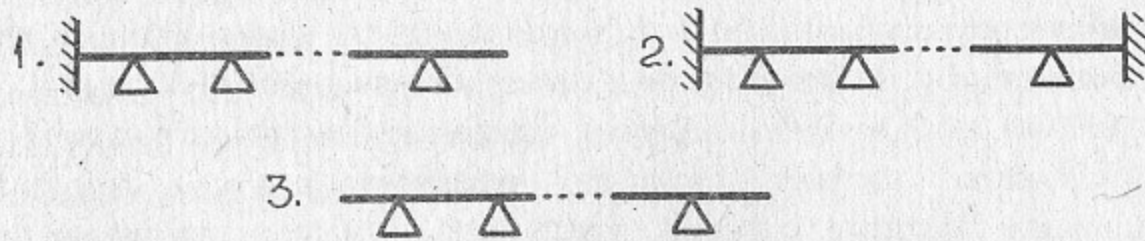


Рис. 1

Перед началом работы на ЭВМ готовится следующая информация:

- структура балки: тип по рис. 1, длина балки, количество и координаты расположения опор. Число шарнирных опор при этом не должно превышать 25;
- данные поперечного сечения балки. Если сечение круглое (сплошное или полое с концентричным расположением контуров) или прямоугольное (сплошное или полое с симметричным расположением контуров), то задаются соответственно внутренний и наружный диаметры или размеры внутреннего и наружного прямоугольников. Для сечения иного вида следует заранее рассчитать (например, с помощью программы MIPS, описанной ниже) момент инерции сечения I , момент сопротивления сечения W относительно нейтральной оси $z-z$ (рис. 2), ширину сечения s на нейтральной оси и ста-

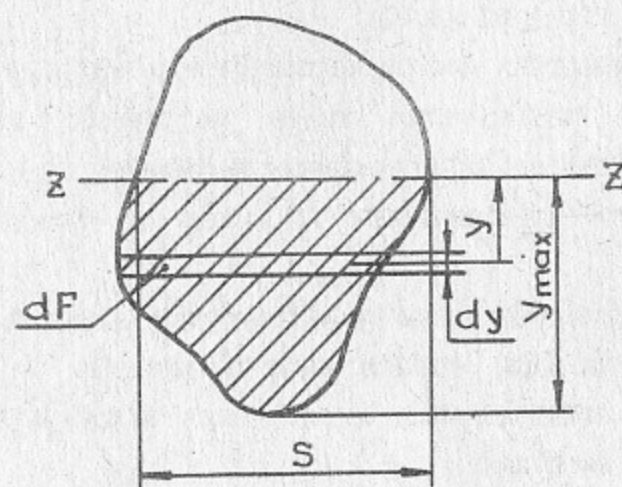


Рис. 2

тический момент $S_{отс}$ отсеченной (заштрихованной на рис. 2) части сечения. Если задать $S_{отс} = 0$, в решении будут отсутствовать касательные напряжения;

- типы, количество, величины и координаты расположения внешних нагрузок. Число нагрузок каждого типа не должно превышать: сосредоточенных

- поперечных сил - 20, сосредоточенных изгибающих моментов - 10, равномерно распределенных по длине поперечных нагрузок - 10;
- модуль упругости материала балки при растяжении.

Расчет выполняется методом начальных параметров [2, 3] в соответствии с универсальным уравнением упругой линии балки:

$$y(x) = y_0 + \theta_0 x + \frac{M_0 x^2}{2EI} + \frac{P_0 x^3}{6EI} + \frac{1}{EI} \sum f_i(x)$$

где y_0, θ_0, M_0 и P_0 - соответственно прогиб, угол поворота, изгибающий момент и поперечная сила в начале координат ("начальные параметры");

$f_i(x)$ - функции влияния внешних нагрузок, расположенных левее текущего сечения - их значения приводятся в литературе (например, [2]);

$y(x)$ - прогиб балки в сечении с координатой x ;

E - модуль упругости материала балки при растяжении;

I - момент инерции поперечного сечения балки.

Для вычисления углов поворота, изгибающих моментов, поперечных сил и нормальных, касательных и эквивалентных напряжений используются зависимости:

$$\theta(x) = y'(x)$$

$$M(x) = EI y''(x)$$

$$P(x) = EI y'''(x)$$

$$\sigma(x) = \frac{M(x)}{W}$$

$$\tau(x) = \frac{P(x) \cdot S_{отс}}{I \cdot s}$$

$$\sigma_{экв}(x) = \sqrt{\sigma^2(x) + 3\tau^2(x)}$$

где, кроме известных обозначений, $\theta(x), M(x), P(x), \sigma(x), \tau(x)$ и $\sigma_{экв}(x)$ - соответственно угол поворота, изгибающий момент, поперечная сила, нормальное, касательное и эквивалентное напряжения в сечении с координатой x .

По окончании счета на экране появляется таблица максимальных значений деформаций и напряжений с соответствующими координатами по длине балки. Принятые при этом обозначения:

- координата - x ;
- прогиб - y ;
- угол поворота - θ ;
- изгибающий момент - M ;
- поперечная сила - P ;
- нормальное напряжение - σ ;

- касательное напряжение- τ ;
- эквивалентное напряжение- σ_{EKV} .

Далее пользователь по желанию может окончить работу, изменить начальные данные (если решение его не устраивает) или вывести на экран таблицу значений всех перечисленных параметров для всех значений координаты x через $1/50$ длины балки.

В таблице отсутствует эквивалентное напряжение σ_{EKV} , так как для наиболее опасного сечения оно дается в таблице максимальных значений, а для других сечений при необходимости может быть легко получено по последнему из приведенных выше выражений.

В ряде точек отдельные параметры меняются скачкообразно - это точки расположения опор, приложения внешних сосредоточенных сил и моментов. Такие точки в таблице присутствуют дважды - искомые параметры даются непосредственно перед и после данной координаты.

3.Программа ДИСК

Программа предназначена для расчета на прочность и жесткость при изгибе круглых и кольцевых дисков постоянной толщины при осесимметричных закреплении и нагружении.

Перед началом работы на ЭВМ готовится следующая информация:

- структура диска: наружный и внутренний радиусы, толщина, типы, количество и радиусы расположения кольцевых опор. При этом число промежуточных шарнирных опор не должно превышать 10;
- типы, количество, величины и радиусы расположения внешних нагрузок. Число нагрузок каждого вида (равномерно распределенные по окружности радиальные изгибающие моменты, равномерно распределенные по окружности поперечные силы и равномерно распределенные по площади кольцевого участка нагрузки) должно быть не более 10; кроме того, может быть приложена сосредоточенная сила в центре диска;
- модуль упругости материала диска при растяжении и коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона).

Деформации диска и внутренние силовые факторы (радиальные и тангенциальные изгибающие моменты и перерезывающие силы) определяются в результате решения системы уравнений /4/:

$$\left. \begin{aligned} y(r) &= \frac{qr^4}{64D} + C_1 + C_2 r^2 + C_3 \ln r + C_4 r^2 \ln r \\ \theta(r) &= \frac{qr^3}{16D} + 2C_2 r + \frac{C_3}{r} + C_4 r(2 \ln r + 1) \\ M_r(r) &= -D \left\{ \frac{(3+\mu)qr^2}{16D} + 2(1+\mu)C_2 - \frac{1-\mu}{r^2} C_3 + \right. \\ &\quad \left. + [(3+\mu) + 2(1+\mu) \ln r] C_4 \right\} \\ M_f(r) &= -D \left\{ \frac{(1+3\mu)qr^2}{16D} + 2(1+\mu)C_2 + \frac{1-\mu}{r^2} C_3 + \right. \\ &\quad \left. + [(1+3\mu) + 2(1+\mu) \ln r] C_4 \right\} \\ V(r) &= -D \left(\frac{qr}{2D} + \frac{4}{r} C_4 \right) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} &+ [(3+\mu) + 2(1+\mu) \ln r] C_4 \right\} \\ M_r(r) &= -D \left\{ \frac{(1+3\mu)qr^2}{16D} + 2(1+\mu)C_2 + \frac{1-\mu}{r^2} C_3 + \right. \\ &\quad \left. + [(1+3\mu) + 2(1+\mu) \ln r] C_4 \right\} \\ M_f(r) &= -D \left\{ \frac{(1+3\mu)qr^2}{16D} + 2(1+\mu)C_2 + \frac{1-\mu}{r^2} C_3 + \right. \\ &\quad \left. + [(1+3\mu) + 2(1+\mu) \ln r] C_4 \right\} \\ V(r) &= -D \left(\frac{qr}{2D} + \frac{4}{r} C_4 \right) \end{aligned} \right\}$$

после чего определяются напряжения по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_r(r) &= \frac{6M_r(r)}{h^2} \\ \sigma_f(r) &= \frac{6M_f(r)}{h^2} \\ \tau(r) &= \frac{3[M_r(r) - M_f(r)]}{h^2} \end{aligned}$$

В приведенных выражениях:

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ - цилиндрическая жесткость диска (h - толщина диска, E и μ - соответственно модуль упругости при растяжении и коэффициент поперечной деформации - коэффициент Пуассона - материала диска);

q - равномерно распределенная по площади нагрузка;

$y(r), \theta(r), M_r(r), M_f(r)$ и $V(r)$ - соответственно прогиб, угол поворота, радиальный и тангенциальный изгибающие моменты и перерезывающая сила в точке диска с координатой r ;

$C_1 \dots C_4$ - постоянные, определяемые из граничных условий задачи, включая сюда (при необходимости) и условие конечности деформации в центре диска (при $r=0$);

$\sigma_r(r), \sigma_f(r), \tau(r)$ - соответственно радиальное, тангенциальное и касательное напряжения в точке диска с координатой r .

По окончании счета на экране появляется таблица максимальных значений деформаций, изгибающих моментов, поперечных сил и напряжений с соответствующими координатами по радиусу диска. При этом приняты следующие обозначения:

- координата по радиусу диска - R ;
- прогиб - Y ;
- угол поворота сечения - $TETA$;
- радиальный изгибающий момент - MR ;
- тангенциальный изгибающий момент - MF ;
- перерезывающая сила - V ;
- радиальное напряжение изгиба - $SIGMA R$;
- тангенциальное напряжение изгиба - $SIGMA F$;

- касательное напряжение - τ_{θ} .

Дальше возможны следующие варианты работы:

- работа заканчивается;
- изменяются исходные данные (если решение не устраивает пользователя);
- на экран выводится таблица значений прогибов, углов поворота, радиальных и тангенциальных напряжений изгиба, касательных напряжений и перерезывающих сил для всех значений координаты r через $1/40$ наружного радиуса диска. Координаты расположения промежуточных опор, а также радиусов приложения внешних изгибающих моментов и перерезывающих сил в таблице, как правило, присутствуют дважды. Связано это с тем, что в этих местах значения ряда рассчитываемых параметров меняются скачкообразно, и в таблице они даются непосредственно перед и после этой координаты.

В отличие от работающей на изгиб балки (см. программу БАЛКА), находящейся в линейном (одноосном) напряженном состоянии, напряженное состояние диска - пространственное. Поэтому прочность диска определяется не компонентами напряжения $\sigma_r(r)$ и $\sigma_f(r)$, выведенными в таблице, а ЭКВИВАЛЕНТНЫМ напряжением, рассчитываемым по этим компонентам по одному из критериев прочности [3] в зависимости от материала диска. В частности, для широкого круга пластичных материалов (медь, никель, алюминий, углеродистые и хромоникелевые стали и т. д.) эквивалентное напряжение может быть определено, как

$$\sigma_{\text{экв}}(r) = \sqrt{\sigma_r^2(r) + \sigma_f^2(r) - \sigma_r(r) \cdot \sigma_f(r)}$$

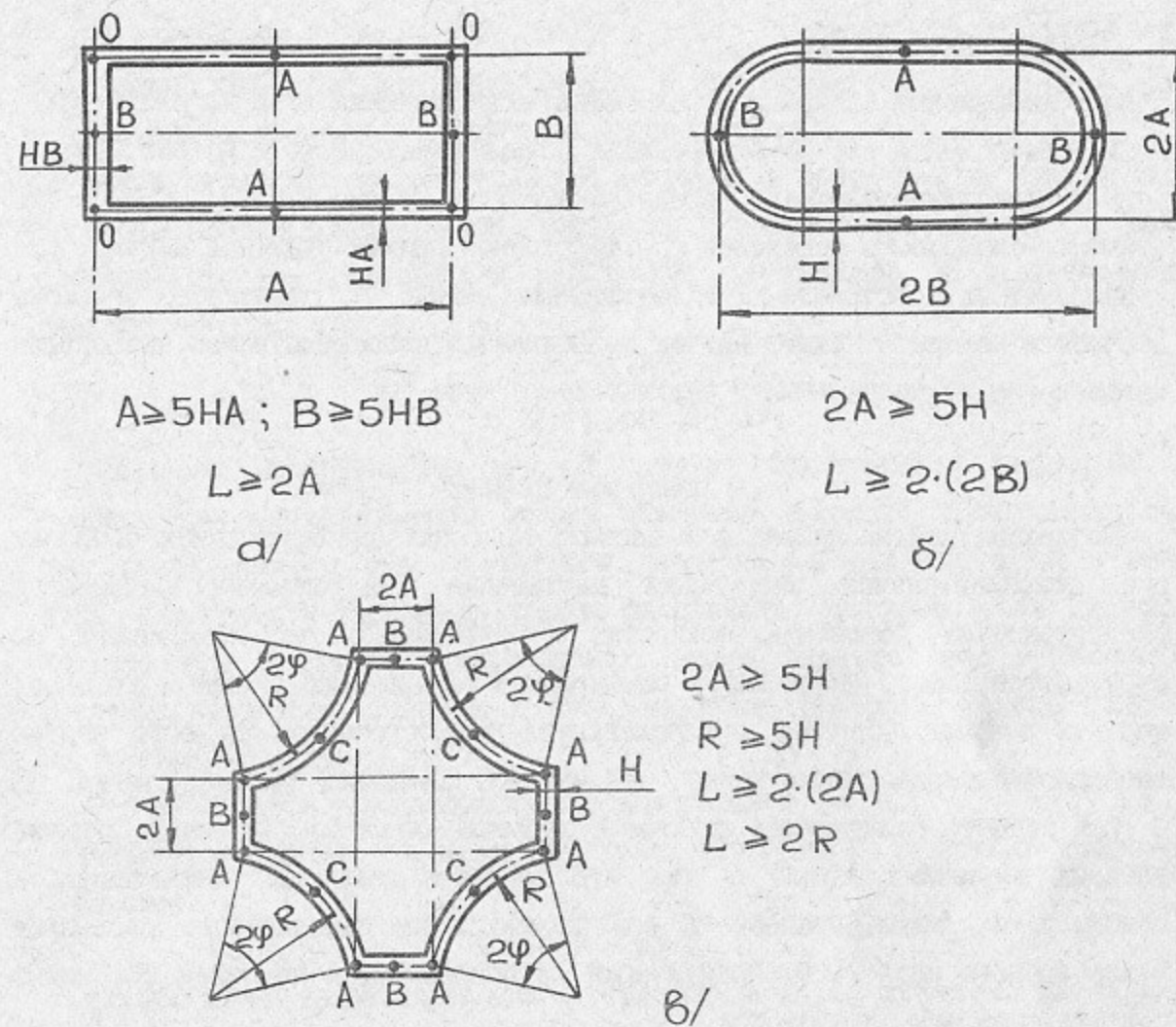
Это эквивалентное напряжение и следует сравнивать с пределом текучести или пределом прочности материала диска для оценки его прочности.

4. Программа КАМЕРА

Эта программа позволяет рассчитывать напряжения и деформации в наиболее опасных точках поперечного сечения прямоугольных, овальных и квадрупольных камер при равномерно распределенном наружном или внутреннем давлении. Методы расчета, использованные при разработке программы, описаны в [5,6,7]. Расчет всех камер ведется при следующих предположениях:

- камера представляет собой тонкостенную оболочку, то есть толщина стенки на каждом участке поперечного сечения по крайней мере в пять раз меньше соответствующего характерного размера поперечного сечения камеры;
- камера является длинной оболочкой, то есть длина камеры в направлении ее оси по меньшей мере вдвое превышает наибольший характерный размер поперечного сечения.

Эти условия для всех видов камер показаны на рис.3, где изображены попе-



$$A \geq 5HA; B \geq 5HB$$

$$L \geq 2A$$

а/

$$2A \geq 5H$$

$$L \geq 2 \cdot (2B)$$

б/

$$2A \geq 5H$$

$$R \geq 5H$$

$$L \geq 2 \cdot (2A)$$

$$L \geq 2R$$

в/

Рис.3

речные сечения прямоугольной (рис.3,а), овальной (рис.3,б) и квадрупольной (рис.3,в) камер (L - длина камеры вдоль оси). Здесь же указаны и точки, в которых рассчитываются напряжения и деформации.

Следует отметить, что хотя использование программы для расчета камер, в которых те или иные из указанных на рис.3 соотношений не выполняются, и приводит к ошибкам, ошибки эти идут "в запас", то есть реальные напряжения и деформации будут меньше полученных при расчете по программе.

Результаты расчета выводятся на экран при следующих обозначениях:

- для прямоугольной камеры:
 - SA - напряжение изгиба в середине длинной стороны (т.А на рис.3,а);
 - SB - напряжение изгиба в середине короткой стороны (т.В на рис.3,а);
 - SOA, SOB - напряжения изгиба соответственно в длинной и короткой сторонах вблизи углов (т.О на рис.3,а);
 - WA, WB - прогибы в серединах соответственно длинной и короткой сторон;
- для овальной камеры:
 - SA - напряжение изгиба в середине прямого участка (т.А на рис.3,б);
 - SB - напряжение изгиба в середине дуги (т.В на рис.3,б);
 - D2A, D2B - изменение под нагрузкой соответственно большего и меньшего поперечников камеры;

- для квадрупольной камеры:

SA - напряжение изгиба в углах поперечного сечения (т.А на рис.3,в);

SB - напряжение изгиба в серединах прямых участков (т.В на рис.3,в);

SC - напряжение изгиба в серединах дуг (т.С на рис.3,в);

WB,WC - прогибы в серединах соответственно прямых участков и дуг.

Напряженное состояние рассчитываемых камер - одноосное, поэтому прочность камеры в каждом случае определяется непосредственно наибольшим напряжением из полученных в результате расчета.

5.Программа ЦИЛИНДР

Программа предназначена для расчета круговых цилиндрических оболочек при осесимметричном нагружении внутренним или внешним равномерно распределенным давлением совместно с равномерно распределенными по окружностям торцев изгибающими моментами и поперечными силами ("краевые" моменты и силы).Оболочки предполагаются тонкостенными, то есть радиус срединной поверхности не менее, чем в пять раз превышает толщину стенки.

При расчете различаются длинные и короткие оболочки. Основное отличие длинных оболочек состоит в том, что влиянием нагрузок, приложенных к одному краю, можно пренебречь при рассмотрении напряженного состояния возле второго края /8,9/.Практически (с погрешностью не более 5%) можно считать оболочку длинной при

$$\beta L \geq 3$$

где $\beta = \frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{ah}}$

Здесь а, h и L - соответственно радиус срединной поверхности, толщина и длина оболочки в направлении оси, μ - коэффициент Пуассона материала.

Из сказанного следует, что если для короткой оболочки существенны условия закрепления и нагружения на обоих торцах, то для длинной достаточно информации лишь о том торце, в зоне которого исследуется напряженно-деформированное состояние оболочки. В соответствии с этим при выводе на экран результатов расчета значения напряжений и деформаций даются для короткой оболочки на всей ее длине, а для длинной - только на участке до $\beta L=5$, полагая дальше напряжения и деформации постоянными. Шаг вдоль оси оболочки во всех случаях равен $\Delta L=0.5/\beta$.

В таблице вывода результатов использованы следующие обозначения:

- координата вдоль оси оболочки - X;
- изменение радиуса срединной поверхности на координате X - DA(X);
- угол поворота сечения на координате X - ТЕТА(X);
- радиальное напряжение изгиба на наружной и внутренней поверхностях - соответственно SXN(X) и SXV(X);

- тангенциальное напряжение изгиба на наружной и внутренней поверхностях - соответственно STN(X) и STV(X);

- касательное напряжение в срединной поверхности - ТАУ(X).

Как и диск (см. программу ДИСК), оболочка в нашем случае находится в пространственном напряженном состоянии. Поэтому ее прочность тоже определяется не компонентами напряжений из таблицы, а эквивалентным напряжением (см. стр.7).

6.Программа ДНИШЕ

Программа предназначена для определения деформаций и напряжений в плоских круглых и кольцевых днищах различных емкостей, находящихся под действием внешнего или внутреннего давления. В отличие от программы ДИСК, где приняты идеальные условия закрепления контуров диска (шарнир, жесткое или скользящее защемление), здесь при расчете учитываются реальные жесткости оболочек, с которыми днище сопряжено по наружному и внутреннему контурам.

Расчет ведется при следующих предположениях:

- днище представляет собой тонкую пластинку /10/, то есть выполняется условие:

$$A \geq 5h$$

- прогибы днища являются малыми /4,10/, при которых допустимо пренебречь напряжениями растяжения и сжатия в срединной поверхности днища, то есть выполняется соотношение:

$$w_{\max} \leq h/5$$

- оболочки, скрепленные с контурами днища, являются тонкостенными и длинными (см. программу ЦИЛИНДР). Следует отметить, что в большинстве случаев реальные оболочки емкостей являются именно длинными. Так, стальная оболочка диаметром 60 см с толщиной стенки 1 см может считаться длинной уже при длине в 12...13 см.

В приведенных выше соотношениях А - наружный радиус днища, h - его толщина, w_{\max} - наибольший прогиб днища (на внутреннем контуре или - для сплошного днища - в центре).

В основу программы положен метод расчета, подробно изложенный в /11/. Результаты расчета по программе выводятся на экран в виде таблицы, содержащей в зависимости от радиуса днища R следующие величины:

- прогиб днища w(R);
- радиальное напряжение в днище SR(R);
- тангенциальное напряжение в днище ST(R).

Эти параметры выводятся с шагом по радиусу, равным одной пятой радиальной ширины днища:

$$\Delta R = (A-B)/5,$$

где b – внутренний радиус днища.

Кроме того, на экран выводятся значения радиальных напряжений изгиба в оболочках в местах их сопряжения с днищем – $SR1$ (для наружной оболочки) и $SR2$ (для внутренней).

Напряженное состояние днища – пространственное, поэтому его прочность определяется наибольшим эквивалентным напряжением, рассчитываемым по полученным значениям $SR(R)$ и $ST(R)$ (см. стр.7).

Проверка прочности оболочек, сопряженных с днищем, может быть выполнена следующим образом:

– определяются равномерно распределенные по окружностям оболочек радиальные изгибающие моменты

$$M1 = \frac{SR1 \cdot (H1)^2}{6} \quad \text{и} \quad M2 = \frac{SR2 \cdot (H2)^2}{6}$$

где $H1$ и $H2$ – толщины стенок соответственно наружной и внутренней оболочек, $M1$ и $M2$ – искомые моменты;

– по программе ЦИЛИНДР рассчитываются радиальные и тангенциальные напряжения в оболочках при условии, что их шарнирно опертые края нагружены моментами $M1$ (для наружной оболочки) и $M2$ (для внутренней);

– определяются (см.стр.7) наибольшие для каждой оболочки эквивалентные напряжения и сравниваются с допускаемыми для материалов оболочек.

7. Программа MIPS

В отличие от описанных выше программ, работа по программе MIPS ведется в режиме AutoCAD10 с использованием и алфавитно-цифрового, и графического дисплеев.

Программа позволяет рассчитывать геометрические характеристики плоских сечений, представленных в виде как односвязных (рис.4,а), так и многосвязных областей (рис.4,б).

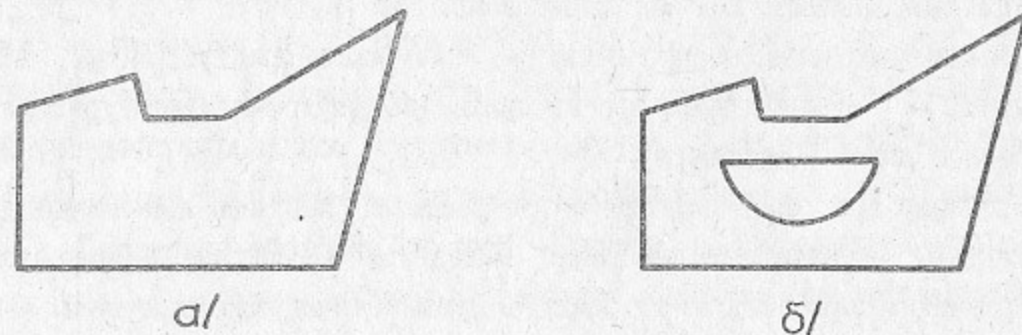


Рис.4

После построения на экране графического дисплея требуемого сечения (построение ведется в режиме PLINE) и появления сигнала "Command:" следует загрузить программу MIPS в AutoCAD10 командой (load "b1/mips"). После ответа на вопросы, появляющиеся на экране алфавитно-цифрового дисплея, на графическом дисплее появляется эллипс инерции, центр

которого совпадает с центром тяжести построенного ранее сечения, а оси – с главными осями этого сечения. Эллипс инерции позволяет определить момент инерции рассматриваемого сечения относительно любой оси, проходящей через центр тяжести сечения. Для этого следует измерить расстояние от центра тяжести до точки пересечения выбранной оси с контуром эллипса и умножить это расстояние на масштабный коэффициент

$$K_H = 20 \text{ см}^4/\text{мм}.$$

Одновременно с появлением на графическом дисплее эллипса инерции на алфавитно-цифровом дисплее выводятся численно следующие параметры рассматриваемого сечения:

- площадь S ;
- координаты центра тяжести сечения X_c и Y_c относительно заданной пользователем точки (новые оси координат параллельны экранным осям);
- моменты инерции сечения относительно осей X и Y , проходящих через центр тяжести сечения, – I_{Xc} и I_{Yc} (ось X направлена горизонтально, ось Y – вертикально);
- центробежный момент инерции сечения относительно осей, проходящих через центр тяжести, – I_{Xyc} ;
- полярный момент инерции относительно центра тяжести сечения I_{pc} ;
- главные моменты инерции сечения I_{cmax} и I_{cmin} ;
- моменты сопротивления сечения относительно осей, проходящих через центр тяжести, – W_{Xc} и W_{Yc} ;
- масштабный коэффициент для определения моментов инерции путем измерения эллипса инерции.

8. Заключение

Описанные программы разрабатывались в течение ряда лет сотрудниками НКО-1 и лаб.6.

Программы БАЛКА и ДИСК были разработаны Л.Л.Беловой, Н.С.Бибко и Б.З.Персовым (первоначально для ЭВМ ODRA), программы КАМЕРА, ЦИЛИНДР и ДНИЩЕ разработаны Б.З.Персовым, программа MIPS – С.А.Лабуцким. Адаптация которого совпадает с центром тяжести построенного ранее сечения, а оси – с главными осями этого сечения. Эллипс инерции позволяет определить момент инерции рассматриваемого сечения относительно любой оси, проходящей через центр тяжести сечения. Для этого следует измерить расстояние от центра тяжести до точки пересечения выбранной оси с контуром эллипса и умножить это расстояние на масштабный коэффициент

$$K_H = 20 \text{ см}^4/\text{мм}.$$

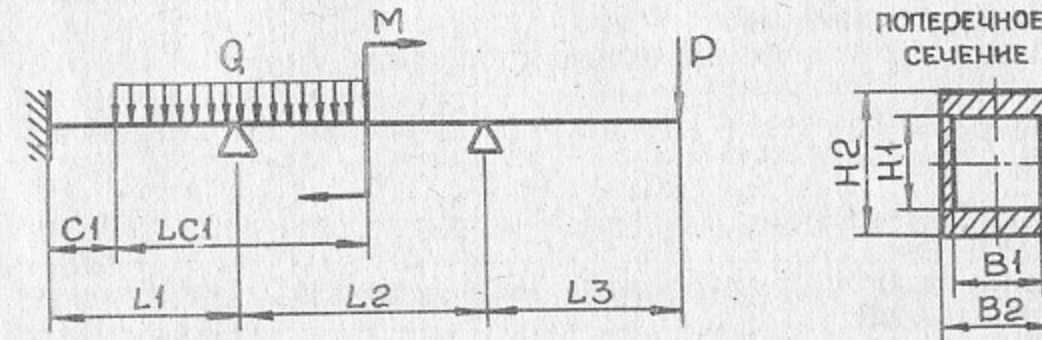
Одновременно с появлением на графическом дисплее эллипса инерции на алфавитно-цифровом дисплее выводятся численно следующие параметры рассматриваемого сечения:

- площадь S ;

Примеры расчета по программам

I. Программа БАЛКА

I.1. Исходные данные



L1=30 см; L2=40 см; L3=30 см;
 C1=10 см; LC1=40 см;
 H1=4 см; H2=6 см; B1=4 см; B2=4.5 см;
 E=2000000 кг/см**2
 M=-500 кг*см; P=400 кг; Q=50 кг/см.

I.2. Решение

ЭКРАН (ИНФОРМАЦИЯ И ВОПРОСЫ)		ОТВЕТ
РАСЧЕТ БАЛОК НА ИЗГИБ (СЕЧЕНИЕ ПОСТОЯННО ПО ДЛИНЕ БАЛКИ) Включите "Caps Lock"!		[CL]
Задайте размерности: сил (G, KG, T, N) длин (M, SM, MM)		KG SM
ТИПЫ БАЛОК		
1.	$\begin{array}{c} /: \quad L1 \quad \quad L2 \quad \quad \quad L(K+I) \\ /: \quad \quad \quad \wedge \quad \quad \wedge \quad \quad \quad \wedge \\ /: \quad \quad \quad I \quad \quad 2 \quad \quad \quad K \end{array}$	
2.	$\begin{array}{c} /: \quad L1 \quad \quad L2 \quad \quad \quad L(K+I) :/ \\ /: \quad \quad \quad \wedge \quad \quad \wedge \quad \quad \quad \wedge \quad \quad \quad :/ \\ /: \quad \quad \quad I \quad \quad 2 \quad \quad \quad K \end{array}$	
3.	$\begin{array}{c} \quad \quad L1 \quad \quad L2 \quad \quad \quad L(K+I) \\ \quad \quad \quad \wedge \quad \quad \wedge \quad \quad \quad \wedge \\ \quad \quad \quad I \quad \quad 2 \quad \quad \quad K \end{array}$	
Ваш тип балки (1,2,3)?		1 2
Количество шарнирных опор: K=		
(L)=CM		30
L(1)=		40
L(2)=		30
L(3)=		1
Сколько приложено внешних моментов (M)? Положительное направление-против часовой стрелки		
A(I)-расстояние от левого конца балки до точки приложения момента.		
M1 (кг*см)=		-500
A1 (см)=		50

- центр тяжести сечения, - I_{xc} и I_{yc} (ось X направлена горизонтально, ось Y - вертикально);
- центробежный момент инерции сечения относительно осей, проходящих через центр тяжести, - I_{xyc} ;
- полярный момент инерции относительно центра тяжести сечения I_{pc} ;
- главные моменты инерции сечения I_{cmax} и I_{cmin} ;
- моменты сопротивления сечения относительно осей, проходящих через центр тяжести, - W_{xc} и W_{yc} ;
- масштабный коэффициент для определения моментов инерции путем измерения эллипса инерции.

8. Заключение

Описанные программы разрабатывались в течение ряда лет сотрудниками НКО-1 и лаб.6.

Программы БАЛКА и ДИСК были разработаны Л.Л.Беловой, Н.С.Бибко и Б.З.Персовым (первоначально для ЭВМ ODRA), программы КАМЕРА, ЦИЛИНДР и ДНИШЕ разработаны Б.З.Персовым, программа MIPS - С.А.Лабуцким. Адаптация программ для IBM PC проведена при активном участии Ю.В.Барышева и Ю.Б.Таксина.

Сколько приложено внешних сосредоточенных сил (P)?
 Положительное направление-вниз
 B(I)-расстояние от левого конца балки до точки приложения силы
 PI(кг)=

I
 400
 100
 I

Сколько приложено равномерно распределенных нагрузок (Q)?
 Q(I)-интенсивность нагрузки
 Положительное направление-вниз
 C(I)-начало нагрузки относительно левого конца балки
 LC(I)-длина участка с нагрузкой
 QI(кг/см)=

50
 10
 40

Задайте модуль упругости
 E(кг/см**2)=
 Введите сечение: круг-1, прямоугольник-2, иное сечение-3
 Какое сечение?
 Внутренняя высота H1(см)=
 Внешняя высота H2(см)=
 Внутренняя ширина B1(см)=
 Внешняя ширина B2(см)=

2E6
 2
 4
 6
 4
 4.5



Все верно ? D/N
 Опорные реакции
 RM(кг*см)=3429. RZ(кг)=-417.0
 RI(кг)=-1044. R2(кг)=-939.5
 Максимальные значения
 X(см)=100.00
 Y MAX(см)=-.5706 E-01
 X(см)=100.00
 TETA MAX(рад)=-.2405 E-02
 X(см)=70.00
 SIGMA EKW MAX(кг/см**2)=604.9
 M(кг*см)=-.1200 E+05
 SIGMA(кг/см**2)=603.4
 Q(кг)=539.5
 TAU(кг/см**2)=24.61

Дальнейшая работа:
 Изменение начальных данных-<I> Контроль начальных данных -<N>
 Вывод таблицы результатов -<T> Вывод максимальных значений-<M>
 Окончание работы -<Q> Какой вариант ?

X (см)	Y (см)	TETA (рад)	M (кг*см)	P (кг)	SIGMA (кг/см**2)	TAU (кг/см**2)
.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.3429E+04	-.4170E+03	.1724E+03	-.1902E+02
.2000E+01	.5218E-04	.5048E-04	.2595E+04	-.4170E+03	.1305E+03	-.1902E+02

.3000E+02	.0000E+00	-.1516E-03	.9203E+03	.5830E+03	.4627E+02	.2660E+02
.3000E+02	.0000E+00	-.1516E-03	.9203E+03	-.4605E+03	.4627E+02	.2101E+02
.3200E+02	-.2924E-03	-.1413E-03	.9930E+02	-.3605E+03	.4993E+01	-.1645E+02

Если посмотрели-нажмите <пробел>, для окончания работы-нажмите<Q> | L J

X (см)	Y (см)	TETA (рад)	M (кг*см)	P (кг)	SIGMA (кг/см**2)	TAU (кг/см**2)
.3400E+02	-.5813E-03	-.1472E-03	-.5217E+03	-.2605E+03	.2623E+02	-.1189E+02
.6600E+02	-.2827E-02	.5304E-03	.9842E+04	.5395E+03	.4949E+03	.2461E+02

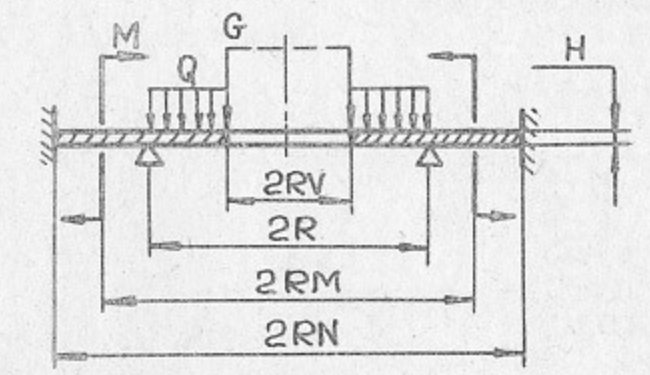
Если посмотрели-нажмите<пробел>, для окончания работы-нажмите<Q> | L J

X (см)	Y (см)	TETA (рад)	M (кг*см)	P (кг)	SIGMA (кг/см**2)	TAU (кг/см**2)
.6800E+02	-.1595E-02	.7044E-03	.1092E+05	.5395E+03	.5491E+03	.2461E+02
.1000E+03	.5706E-01	.2405E-02	-.2197E-02	-.4000E+03	-.1105E-03	-.1825E+02

Дальнейшая работа
 Изменение начальных данных-<I> Контроль начальных данных -<N>
 Вывод таблицы результатов -<T> Вывод максимальных значений-<M>
 Окончание работы -<Q> Какой вариант? Q

2.Программа ДИСК

2.1 Исходные данные



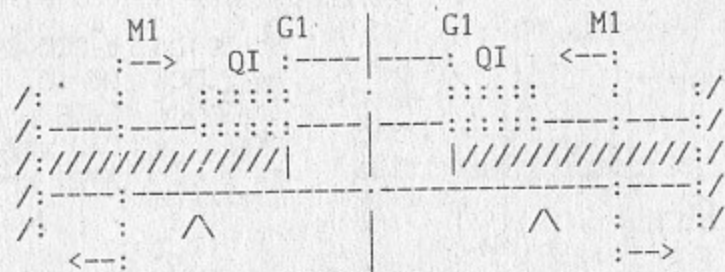
RN=25 см E=2000000кг/см**2
 R=17.5см MU=.3
 RV=10 см G=10 кг/см
 RM=21 см Q=5 кг/см**2
 H= 1 см M=10 кг*см/см

2.2 Решение

ЭКРАН (ИНФОРМАЦИЯ И ВОПРОСЫ)	ОТВЕТ
ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КРУГЛЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ДИСКОВ	
Включите "Caps Lock"	[CL]
Задайте размерности: сил(G, KG, T, N) длин(ММ, SM, M)	KG SM
RN - наружный радиус диска: RN(см)=	25
RV - внутренний радиус диска: RV(см)=	10
H - толщина диска: H(см)=	1
ТИП ОПОР	
Шарнирная опора -1	
Жесткая заделка -2	
Подвижная заделка-3	

N-количество опор диска; N= 2
 Укажите типы опор (T) и их радиусы относительно центра диска (R) 1
 I T= R(см)= 17.5
 2 T= R(см)= 25
 Сколько приложено моментов, равномерно распределенных по линии (M) I
 Положительное направление-по часовой стрелке
 относительно левой половины сечения
 RM - радиус приложения момента
 MI (кг)= 10
 RMI (см)= 21
 Сколько приложено нагрузок, равномерно распределенных по линии? I
 Положительное направление-вниз
 G-интенсивность нагрузки
 RG-радиус приложения нагрузки
 GI (кг/см)= 10
 RGI (см)= 10
 Сколько приложено нагрузок, равномерно распределенных по площади? I
 Положительное направление-вниз
 Q-интенсивность нагрузки
 RN-внутренний радиус приложения нагрузки ("радиус начала")
 RK-внешний радиус приложения нагрузки ("радиус конца")
 QI (кг/см**2)= 5
 RNI (см)= 10
 RKI (см)= 17.5
 Задайте модуль упругости (E) 2E6
 E(кг/см**2)=
 Задайте коэффициент поперечного расширения (коэффициент Пуассона)-MU .3

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



RN=25.00 см
 RB=10.00 см
 n=1.00000 см
 RI=17.5 см T=1 R2=25 см T=2
 MI=10.0000 кг RMI=21.00 см
 GI=10.0000 кг/см RGI=10.00 см
 QI= 5.0000 кг/см**2 RNI=10.00 см RKI=17.50 см
 E=2000000.0 кг/см**2
 MU=.3

Все верно? (D/N) D

Максимальные значения:

R(см)=10.00
 Y MAX (см)=.2221E-01
 R(см)=10.00
 TETA MAX (рад)=-.3862E-02
 R(см)=17.50
 MR MAX (кг)=-133.5
 SIGMA R MAX (кг/см**2)=-801.1
 R(см)=10.00
 MF MAX (кг)=64.37
 SIGMA F MAX (кг/см**2)=386.2
 R(см)=17.50

TAU MAX (кг/см**2)=-316.1
 R(см)=17.50
 VR MAX (кг/см)=-35.18

Дальнейшая работа:

Изменение начальных данных-<I> Контроль начальных данных -<N>
 Вывод таблицы результатов -<T> Вывод максимальных значений-<M>
 Окончание работы -<Q> Какой вариант? T

R см	Y см	TETA рад	SIGMA R кг/см**2	SIGMA F кг/см**2	TAU кг/см**2	VR кг/см
.2500E+02	.5093E-07	-.6210E-08	.3210E+03	.9629E+02	.1123E+03	.2107E+02
.1625E+02	.2102E-02	-.2079E-02	-.5948E+03	.5053E+02	-.2722E+03	-.3139E+02

Если посмотрели-нажмите <пробел>, для окончания работы-нажмите<Q> |

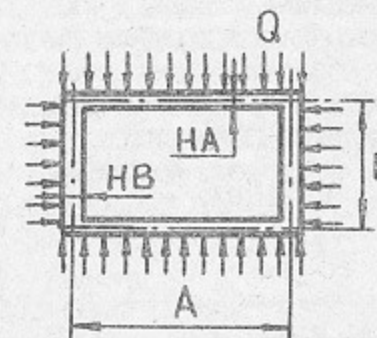
R см	Y см	TETA рад	SIGMA R кг/см**2	SIGMA F кг/см**2	TAU кг/см**2	VR кг/см
.1563E+02	.3510E-02	-.2417E-02	-.5013E+03	.4275E+01	-.2528E+03	-.2946E+02
.1000E+02	.2221E-01	-.3862E-02	-.3684E-04	.3862E+03	-.1931E+03	-.1000E+02

Дальнейшая работа:

Изменение начальных данных-<I> Контроль начальных данных -<N>
 Вывод таблицы результатов -<T> Вывод максимальных значений-<M>
 Окончание работы -<Q> Какой вариант? Q

3. Программа КАМЕРА

3.1 Исходные данные



A=30 см
 B=15 см
 HA=1 см
 HB=2 см
 Q=1 кг/см^2
 E=2000000 кг/см^2

3.2 Решение

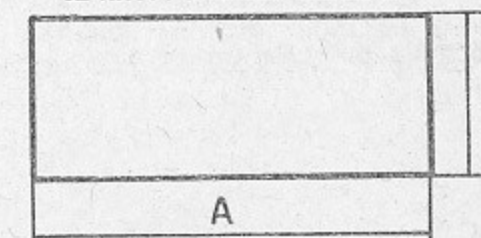
ЭКРАН (ИНФОРМАЦИЯ И ВОПРОСЫ)

ОТВЕТ

Камера

N=1-прямоугольная камера, N=2-овальная камера, N=3-квадрупольная камера
 N=? I

ПРЯМОУГОЛЬНАЯ КАМЕРА



Толщина длинных (А) стенок-НА, коротких (В)-НВ
 Программа применима при $A > 5 \cdot NA$, $B > 5 \cdot NB$ и при длине камеры $L > 5 \cdot A$

Модуль упругости стенок длинных-EG, коротких-EL
 Задайте размеры А(см), В(см), НА(см), НВ(см)

A=?
 B=?
 NA=?
 NB=?
 Задайте модуль упругости EG(кг/см² и EL(кг/см²)
 EG=?
 EL=?
 Задайте давление Q, кг/см²(плюс-внутри камеры)
 Q=?

Исходные данные
 A=30 см НА=1 см В=15 см НВ=2 см
 EG=2000000 кг/см² EL=2000000 кг/см²
 Q=1 кг/см²

Напряжения и деформации:

Напряжения в серединах сторон (плюс-при растяжении внутренних волокон):

длинная сторона-SA=252.695 кг/см²
 короткая сторона-SB=-57.95208 кг/см²

Напряжения на концах сторон:
 длинная сторона-SOA=437.9724 кг/см²
 короткая сторона-SOB=115.1181 кг/см²

Прогибы в серединах сторон (плюс-внутри камеры):
 длинная сторона-WA=1.483083E-02 см
 короткая сторона-WB=-9.541959E-04 см

БУДЕТЕ МЕНЯТЬ ПАРАМЕТРЫ?

4. Программа ЦИЛИНДР

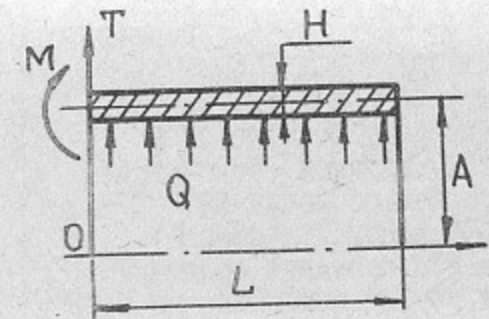
4.1 Задание

Определить деформации и напряжения в стальной ($E=2000000$ кг/см², $\mu=.3$) круговой цилиндрической оболочке со средним радиусом 20см, толщиной стенки 0.5см и длиной 20см. Оболочка имеет свободные от закрепления торцы, на одном из которых она нагружена равномерно распределенными по окружности изгибающим моментом 3 кг*см/см и радиальной силой 5 кг/см. Момент и сила направлены в сторону увеличения диаметра оболочки на нагруженном торце.

4.2 Решение

ЭКРАН (ИНФОРМАЦИЯ И ВОПРОСЫ)	ОТВЕТ
ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА	
Задайте средний радиус оболочки А(см) A=?	20
Задайте толщину стенки оболочки Н(см) H=?	.5
Задайте длину оболочки L(см) L=?	20
Задайте модуль упругости E(кг/см ²) E=?	2E6
Задайте коэффициент Пуассона MJU MJU=?	.3

Длинная цилиндрическая оболочка



Закрепление наружного (X=0) края оболочки:
 свободный край-N=1;
 шарнирный край-N=2;
 скользящий край-N=3;
 защемленный край-N=4.
 N=?

Задайте внешние нагрузки (положительное направление-на схеме):
 распределенное давление Q(кг/см²)=?
 распределенная краевая сила T(кг/см)=?
 распределенный краевой момент M(кг*см/см)=?

ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ В СЕЧЕНИИ <X>:

DA(X)-изменение радиуса <A>(плюс-при увеличении радиуса)
 TETA(X)-угол поворота сечения(плюс-при растяжении наружного волокна)

SXN(X)-радиальное напряжение на наружной поверхности
 SXV(X)-радиальное напряжение на внутренней поверхности
 STN(X)-тангенциальное напряжение на наружной поверхности
 STV(X)-тангенциальное напряжение на внутренней поверхности
 TAU(X)-касательное напряжение в срединной поверхности
 Зарисуйте схему и пояснения и нажмите<F5>

Break in 12740
 OK

[F5]

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Оболочка со свободным краем
 A=20см; H=.5см; L=20см; E=2000000кг/см²; MJU=.3
 Q=0кг/см²; T=5кг/см; M=3кг*см/см

X см	DA(X) см	TETA(X) рад	SXN(X) кг/см ²	SXV(X) кг/см ²	STN(X) кг/см ²	STV(X) кг/см ²	TAU(X) кг/см ²
0.00	2.02E-03	-9.83E-04	-7.20E+01	7.20E+01	1.81E+02	2.24E+02	1.50E+01
12.30	6.43E-06	2.39E-06	2.24E+00	-2.24E+00	1.31E+00	-2.77E-02	1.73E-01

БУДЕТЕ МЕНЯТЬ ПАРАМЕТРЫ (N/D)?

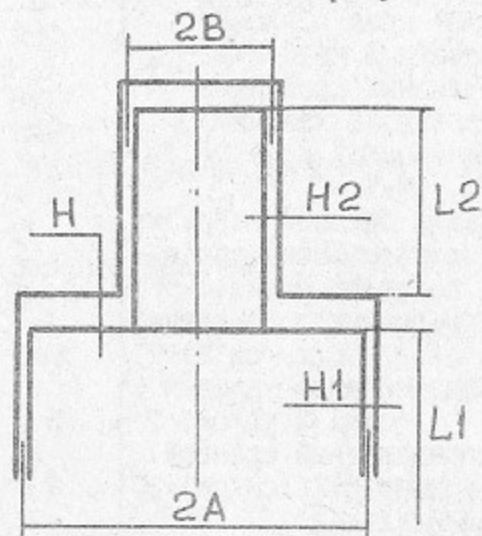
N

5. Программа ДНИШЕ

5.1 Задание

Определить деформации и напряжения в плоском кольцевом днище, сопряженном по внутреннему и наружному диаметрам с длинными цилиндрическими оболочками. Средние диаметры оболочек - 60см и 30см, толщины - наружной - 1см, внутренней - 0.5см. Толщина днища - 0.8см. Материал днища и оболочек - сталь ($E=2000000$ кг/см², $\mu=0.3$). Внутри объема-вакуум.

Расчетная схема (зарисуйте!)



Условия применимости программы:
 1) $A > 5 \cdot H1$; $B > 5 \cdot H2$
 2) Прогобы малы, то есть $W(B) < H/5$

Обозначения:
 Модули упругости, кг/см^2 :
 днища - E, наружной оболочки - E1,
 внутренней оболочки - E2.
 Коэффициенты Пуассона:
 днища - MJU, наружной оболочки - MJU1,
 внутренней оболочки - MJU2

Размеры задавайте в см

Если готовы, наберите <CONT> или нажмите <F5>

Break in 423

Ok

2A=?

2B=?

H=?

H1=?

H2=?

E=?

E1=?

E2=?

MJU=?

MJU1=?

MJU2=?

Задайте внешнее давление Q, кг/см^2

Q=?

Исходные данные

2A=60см 2B=30см H=.8см H1=1см H2=.5см

E=2000000 кг/см^2 E1=2000000 кг/см^2 E2=2000000 кг/см^2

Q=1 кг/см^2

MJU=.3 MJU1=.3 MJU2=.3

Прогобы и напряжения в днище и оболочках:

W(R)-прогиб на радиусе R

SR(R), ST(R)-радиальное и тангенциальное напряжения в днище на радиусе R

SR1, SR2-радиальные напряжения в наружной и внутренней оболочках

R, см	W(R), см	SR(R), кг/см^2	ST(R), кг/см^2
15	6.124345E-02	-625.0695	352.9832
18	4.949317E-02	363.8767	312.535
21	3.469821E-02	95.57884	224.3485
24	1.959454E-02	-192.7596	101.3588
27	7.018152E-03	-507.3183	-50.2543
30	4.714821E-08	-851.3526	-227.2358

SR1=-544.8657 кг/см^2

SR2=1600.178 кг/см^2

БУДЕТЕ МЕНЯТЬ ПАРАМЕТРЫ?

[F5]

60

30

.8

1

.5

2E6

2E6

2E6

.3

.3

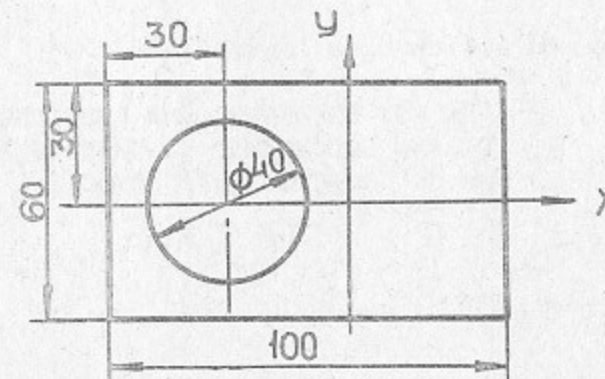
.3

1

N

6.1 Задание

Рассчитать геометрические характеристики сечения, изображенного на рисунке:



6.2 Решение

На экране графического дисплея постройте в масштабе 1:1 требуемое сечение, после чего отвечайте на вопросы, появляющиеся на экране алфавитно-цифрового дисплея.

Command:

Подождите. Идет загрузка программы...

C: MIPS

Command:

Укажите контур сечения (внешний-последним)

Выбор окончен? (y,n)

Укажите контур сечения (внешний-последним)

Выбор окончен? (y,n)

Задайте число разбиений арок

Укажите точку, относительно которой хотите знать координаты центра тяжести сечения

...Ожидайте. Идет вычисление по программе...

S= 4748.52428556 мм^2

Xc=55.27100901 мм

Yc=30.00000000 мм

Ixc =167.53660206 см^4

Iyc =424.28449335 см^4

Ixyc=0.00000000 см^4

Wxc=55.84553402 см^3

Wyc=76.76438364 см^3

Ic max=424.28449335 см^4

Ic min=167.53660206 см^4

(load "bl/mips")

mips

На графическом дисплее выберите внутренний контур

Выбрать внешний контур

y
20

(Если в сечении арок нет, нажмите "Enter")

(Курсором на экране графического дисплея указываем точку левого нижнего угла внешнего контура сечения)

$I_{pc} = 591.82109600 \text{ см}$

Масштаб эллипса: $20 \text{ см}^4 / \text{мм}$

Command:

Really want to discard all changes to drawing?

(На экране графического дисплея появляется эллипс инерции)

quit
y

Расчет закончен. Для повторного вызова программы необходимо на последний запрос "Command:" вместо "quit" ответить "mips".

Л и т е р а т у р а

1. М.А.Тиунов, Б.М.Фомель, В.П.Яковлев "SAM - интерактивная программа для расчета электронных пушек на мини-ЭВМ", препринт ИЯФ СО АН СССР № 89-159, Новосибирск, 1989.
2. М.Н.Рудицын, П.Я.Артемов, М.И.Любошъц "Справочное пособие по сопротивлению материалов", Минск, "Вышэйшая школа", 1970.
3. Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев "Справочник по сопротивлению материалов", Киев, "Наукова думка", 1975.
4. А.С.Калманок "Расчет пластинок", М., Гос. изд. литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959.
5. Б.З.Персов "Расчет прямоугольных вакуумных камер", препринт ИЯФ СО АН СССР № 76-78, Новосибирск, 1976
6. Б.З.Персов "Расчет овальных вакуумных камер", препринт ИЯФ СО АН СССР № 69-73, Новосибирск, 1973.
7. Б.З.Персов "Расчет вакуумных камер квадрупольных линз", препринт ИЯФ СО АН СССР № 1-73, Новосибирск, 1973.
8. И.А.Биргер, Б.Ф.Шорр, Г.Б.Иосилевич "Расчет на прочность деталей машин", М., Машиностроение, 1979.
9. И.А.Биргер "Круглые пластинки и оболочки вращения", М., Оборонгиз, 1961.
10. "Прочность, устойчивость, колебания", т.1, М., Машиностроение, 1968.
11. Б.З.Персов "Расчет днищ вакуумных объемов", препринт ИЯФ СО АН СССР № 74-104, Новосибирск, 1974.

Б.З. Персов

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ НА IBM PC

Работа поступила - 27 ноября 1990 г.

Ответственный за выпуск - С.Г. Попов

Подписано к печати - 28.XI.1990 г.

Формат бумаги 60x90 1/16 Объем 1,7 печ.л., 1,4 уч.-изд.л.

Тираж 220 экз. Бесплатно. Заказ 134.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г. Новосибирск, 90