О Т Р А С Л Е В О Й С Т А Н Д А Р Т

ДИАФРАГМЫ ПАРОВЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ТУРБИН

РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

ОСТ 108.210.01—86

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
МОСКВА

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием Министерства энергетического машиностроения от 06.03.86 № СЧ-002/1992

ИСПОЛНИТЕЛИ: **Н. Н. ВИНОГРАДОВ**, канд. техн. наук (руководитель темы); **И. З. ЦЕЙТЛИН**, канд. техн. наук; **Л. Д. ВИНОГРАДОВА**



© Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (НПО ЦКТИ), 1987.

УДК 621.165—182.2—2 : 539.4 Группа Е02

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ДИАФРАГМЫ ПАРОВЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ТУРБИН
РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

ОСТ 108.210.01—86

Взамен ОСТ 108.210.01—76

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 06.03.86 № СЧ-002/1992 срок введения установлен

с 01.07.87

Настоящий стандарт распространяется на диафрагмы, изготавливаемые по ОСТ 108.021.04—78, и устанавливает методы расчета прочности и жесткости диафрагм в условиях упругого деформирования и ползучести.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Расчет прочности и жесткости диафрагм должен производиться в два этапа:

на стадиях эскизного и технического проекта производится типовой расчет, который применим при величине отношения высоты канала к ширине диафрагмы не более 0,4 и при условии, что максимальная толщина тела не превосходит максимальную толщину обода (без учета козырька) более чем на 50%;

на стадии рабочего проектирования производится поверочный расчет.

1.2. Типовой расчет, в основу которого положена упрощенная расчетная схема диафрагмы как полукольцевого стержня, опертого по внешнему контуру и нагруженного равномерным давлением, дает возможность оценить напряжения и прогибы с учетом осредненных жесткостных характеристик диафрагмы.

Типовой расчет позволяет также оценить остаточные прогибы, возникающие в стадии ползучести (см. справочное приложение 1).

1.3. Поверочный расчет, в основу которого положено решение задачи поперечного изгиба плоской стержневой системы, позволяет определить напряжения и прогибы во всех элементах диафрагмы и учесть особенности их закрепления в корпусе или обойме, различия в условиях работы и свойствах материалов элементов диафрагмы. Расчетная схема и методика поверочного расчета приведены в обязательных приложениях 2 и 3.

1.4. Благодаря приводимым в данном стандарте вспомогательным графикам для производства типового расчета достаточно выполнить несколько элементарных вычислений.

Поверочный расчет производится на ЭВМ ЕС-1052 на основе программы, составленной на алгоритмическом языке «Фортран». Он может выполняться и на ЭВМ других типов по соответствующим программам, составленным на основе расчетной схемы, принятой в данном отраслевом стандарте.

1.5. Поверочный расчет выполняется на стадии рабочего проектирования и служит для окончательного выбора геометрических размеров, формы и материала элементов диафрагмы при разработке ее рабочих чертежей. Он является также основанием для усовершенствования конструкции диафрагмы путем оптимизации соотношений между определяющими геометрическими параметрами при модернизации турбин. При необходимости поверочный расчет можно использовать полностью или частично на стадиях эскизного и технического проектирования.

1.6. При выполнении расчетов диафрагм как типовым, так и поверочным методом козырек не принимается во внимание (см. рекомендуемое приложение 4).

1.7. Расчетные величины перепада давления на диафрагму и температуры металла принимаются по режиму с максимальным расходом пара на ступень при номинальных параметрах свежего пара. Для ступеней, у которых максимальные температуры и перепады давления относятся к разным режимам (турбины с противодавлением и турбины с регулируемыми отборами пара), выбирается режим,

при котором получается наименьший запас прочности. В расчете перепад давления на диафрагму принимается равным расчетному перепаду давления на ступень, а температура металла для всех элементов диафрагмы принимается одинаковой и равной температуре пара на входе в ступень.

1.8. Значения механических характеристик, в том числе предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предела длительной прочности $\sigma_{д.п}$ металла диафрагм, за расчетный срок службы принимаются по нижнему уровню норм механических свойств, приводимых в соответствующих стандартах, ТУ или справочниках для температуры $t = t_{расч}$.

1.9. Рекомендуемые настоящим стандартом минимальные значения коэффициентов запаса прочности обеспечивают нормальную работоспособность диафрагм турбин на расчетном сроке службы при условии, что технология и качество изготовления диафрагм и их материалы соответствуют требованиям ОСТ 108.021.04—78 и техническим условиям на поставку турбины, а для диафрагм турбин АЭС — также требованиям РТМ 24.020.15—73.

При этом режимы эксплуатации турбины должны соответствовать требованиям инструкции по эксплуатации, представляемой или утверждаемой предприятием — изготовителем турбины.

1.10. Если при расчете диафрагм, работающих при температуре свыше 450°С, использовались данные о ползучести металла, полученные путем экстраполяции, то работоспособность диафрагм на расчетном сроке службы обеспечивается при условии предусмотренного «Инструкцией по наблюдению и контролю за металлом котлов турбин и турбопроводов» (И 34—70—010—84) контроля остаточных прогибов диафрагм при ревизиях турбины.

1.11. Приведенную в стандарте методику расчета диафрагм можно факультативно применять также для оценки работоспособности диафрагм, отработавших нормативный ресурс. При этом возможность дальнейшей эксплуатации диафрагмы определяется в соответствии с установленным Минэнерго СССР «Положением о порядке установления сроков дальнейшей эксплуатации котлов, турбин и паропроводов, проработавших свыше 100 тыс. часов» с учетом остаточных прогибов диафрагм, измеренных при ревизиях.

1.12. Настоящий отраслевой стандарт не регламентирует прочность сварных соединений элементов диафрагм. Требования к прочности сварных швов устанавливаются заводом — изготовителем диафрагм в зависимости от принятой технологии сварки, методов контроля качества шва и опыта эксплуатации с учетом соответствующих указаний ОСТ 108.021.04—78.

1.13. Примеры типового расчета диафрагм приведены в справочном приложении 1, пример поверочного расчета — в справочных приложениях 5 и 6.

Расчеты геометрических характеристик сечений производятся согласно рекомендуемому приложению 4 и справочному приложению 5.

1.14. Допускаемые напряжения и запасы прочности должны выбираться таким образом, чтобы исключить появление опасного состояния материала конструкции в заданных условиях эксплуатации.

1.14.1. Для всех диафрагм, работающих как в упругих условиях, так и в условиях ползучести, предусматривается запас по пределу текучести $\sigma_{0,2}$. Запас назначается по отношению к максимальной величине расчетных упругих напряжений в соответствующем элементе диафрагмы.

Минимальные величины коэффициентов запаса прочности $n_т$:

Для тела диафрагмы	1,6
Для направляющих лопаток без ребер жесткости:	
при напряжении растяжения на выходной кромке крайней лопатки	1,25
при напряжении сжатия на входной кромке крайней лопатки	1,0
Для направляющих лопаток с ребрами жесткости при напряжениях растяжения и сжатия	1,0
Для ребер жесткости:	
при напряжении растяжения	1,25
при напряжении сжатия	1,0

1.14.2. Для диафрагм, работающих в условиях ползучести при нормативном ресурсе 100 тыс. ч и менее, помимо запасов, указанных в п. 1.14.1, устанавливаются следующие минимальные запасы $n_{д\,п}$ по пределу длительной прочности $\sigma^{10^5}_{д.\,п}$ (назначается по отношению к максимальной величине расчетных упругих напряжений при типовом расчете и по отношению к максимальной величине расчетных напряжений ползучести — при поверочном расчете):

Для тела диафрагмы	1,5
Для направляющих лопаток без ребер жесткости:	
при напряжении растяжения на выходной кромке крайней лопатки	1,1
при напряжении сжатия на входной кромке крайней лопатки	1,0
Для направляющих лопаток с ребрами жесткости при напряжениях растяжения и сжатия	1,0
Для ребер жесткости:	
при напряжении растяжения	1,2
при напряжении сжатия	1,0

1.14.3. При нормативном ресурсе турбины более 100 тыс. ч все перечисленные в п. 1.14.2 минимальные значения коэффициентов запаса прочности увеличиваются на 5% при ресурсе от 100 тыс. ч до 150 тыс. ч и на 10% при ресурсе от 150 до 200 тыс. ч по отношению к пределу длительной прочности за соответствующий ресурс.

1.14.4. Определение допустимой величины максимального прогиба диафрагмы производится в следующем порядке:

из расчета теплового состояния ротора и статора и их деформаций от действующих нагрузок определяется минимальный допустимый зазор в уплотнениях и соответствующая ему величина прогиба диафрагмы w;

расчетные величины упругого и остаточного прогибов диафрагмы должны удовлетворять условию

$$1{,}4\, w_{\text{у}} + K w_{\text{ост}} \leqslant w,$$

где коэффициент K имеет следующие значения:

при ресурсе до 100 тыс. ч — 1,3;

при ресурсе от 100 до 150 тыс. ч — 1,4;

при ресурсе от 150 до 200 тыс. ч — 1,5.

Расчет величины $w_{\text{ост}}$ также выполняется для соответствующего ресурса.

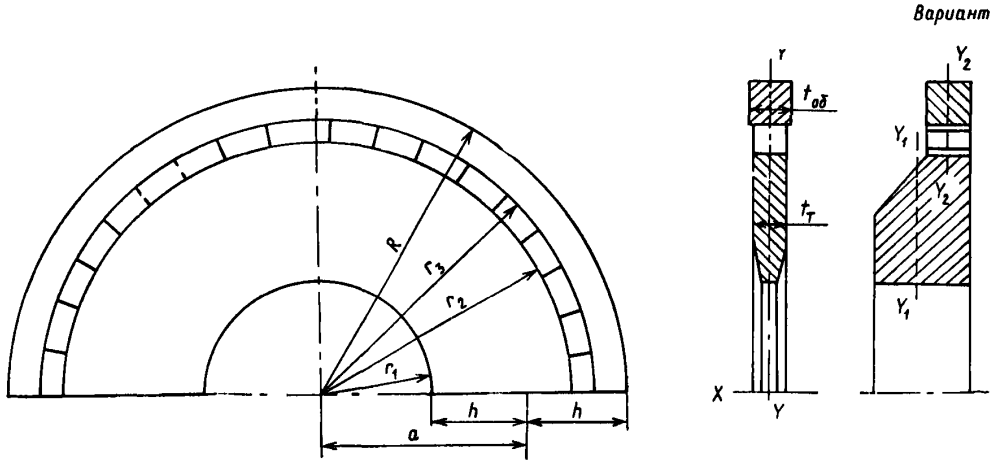
1.14.5. При расчетах диафрагм на стадии эскизного проекта разрешается все запасы прочности по напряжениям уменьшить на 10% и не проводить проверку максимальных прогибов по п. 1.14.4.

2. ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

2.1. Условные обозначения

2.1.1. Схема диафрагмы изображена на черт. 1.

Схема диафрагмы



Черт. 1

В расчете приняты следующие условные обозначения:

r_1 — внутренний радиус диафрагмы, см;

r_2 — внутренний радиус лопаточного венца, см;

r_3 — наружный радиус лопаточного венца, см;

R — наружный радиус диафрагмы, см;

$a = \frac{1}{2}(R + r_1)$ — *средний радиус диафрагмы, см*;

$h = \frac{1}{2}(R - r_1)$ — полуширина диафрагмы, см;

$S_{\text{т}}$ — площадь поперечного сечения тела диафрагмы, см^2;

$S_{\text{об}}$ — площадь поперечного сечения обода диафрагмы, см^2;

$S_{\text{л}}$ — площадь поперечного сечения направляющей лопатки, см^2;

$S_{\text{р}}$ — площадь поперечного сечения ребра жесткости, см^2;

$t_{\text{т}} = \frac{S_{\text{т}}}{r_2 - r_1}$ — расчетная толщина тела диафрагмы, см;

$t_{\text{об}} = \frac{S_{\text{об}}}{R - r_3}$ — расчетная толщина обода диафрагмы, см;

$t_{ср} = \frac{S_т + S_{об}}{(R - r_з) + (r_2 - r_1)}$ — средняя расчетная толщина диафрагмы, см;

$J_т$ — момент инерции поперечного сечения тела диафрагмы относительно продольной оси Y_1, проходящей через центр масс этого сечения перпендикулярно оси турбины, см^4;

$J_{об}$ — момент инерции поперечного сечения обода диафрагмы относительно продольной оси Y_2, проходящей через центр масс этого сечения перпендикулярно оси турбины, см^4;

$J = J_т + J_{об}$ — суммарный момент инерции сечения диафрагмы, см^4;

$l_л$ — длина направляющей лопатки (в случае диафрагм с криволинейным обводом лопаточного канала под $l_л$ понимается полусумма длин входной и выходной кромок), см;

$l_р$ — длина ребра жесткости, см;

$\psi = \frac{2h - l_л}{2h}$ — коэффициент ослабления;

$2n$ — число направляющих лопаток в ступени;

z — число ребер жесткости в половине диафрагмы;

$\Delta\varphi = \frac{180}{n}$ — центральный угол, приходящийся на одну направляющую лопатку, ...°;

$\Delta\varphi_р$ — центральный угол, приходящийся на одно ребро у разъема, ...°;

$J_л$ — момент инерции поперечного сечения направляющей лопатки относительно оси $Z - Z$, проходящей через центр масс сечения лопатки параллельно плоскости диафрагмы, см^4;

$J_р$ — момент инерции сечения ребра жесткости относительно оси, проходящей через центр масс сечения ребра параллельно плоскости диафрагмы, см^4;

$y_{вх}$ — расстояние от оси $Z - Z$ до входной кромки направляющей лопатки, см;

$y_{вых}$ — расстояние от оси $Z - Z$ до выходной кромки направляющей лопатки, см;

$W_{вх} = \frac{J_л}{y_{вх}}$ — момент сопротивления сечения лопаток относительно входной кромки, см^3;

$W_{вых} = \frac{J_л}{y_{вых}}$ — момент сопротивления сечения лопатки относительно выходной кромки, см^3;

$W_р^{вх}$, $W_р^{вых}$ — моменты сопротивления сечения ребра относительно входной и выходной его кромок соответственно, см^3;

p — перепад давления на диафрагме, МПа;

E — модуль Юнга, МПа;

ν — коэффициент поперечной деформации (Пуассона);

σ — напряжение, МПа;

ε — деформация, %;

w — прогиб, см;

$w_у$ — упругий прогиб, см;

$w_{ост}$ — остаточный прогиб, вызванный ползучестью, см;

M — изгибающий момент, Н·м;

T — продольная сила, Н;

K_σ, K_w, $K_м$, $K_п$ — безразмерные коэффициенты.

2.2. Расчет упругих прогибов и напряжений в теле диафрагмы

2.2.1. Максимальный упругий прогиб диафрагмы имеет место на внутреннем контуре у разъема. Он вычисляется по формуле

$$w_у = \frac{4h^3a^2p}{EJ} K_w. \qquad (1)$$

Коэффициент прогиба K_w определяется по черт. 2.

2.2.2. Максимальное нормальное напряжение в теле диафрагмы имеет место на внутреннем контуре в среднем сечении. Оно определяется по формуле

$$\sigma_т = \pm \frac{ph^2a}{(1 - \nu^2)J} \frac{t_т}{2} K_\sigma. \qquad (2)$$

Коэффициент напряжения K_σ определяется по черт. 2.

2.3. Расчет напряжений в направляющих лопатках

2.3.1. Наиболее напряженной является крайняя лопатка. Максимальный изгибающий момент в этой лопатке, действующий у заделки в тело диафрагмы, определяется по формуле

$$M = K_м \frac{pR^3}{192}. \quad (3)$$

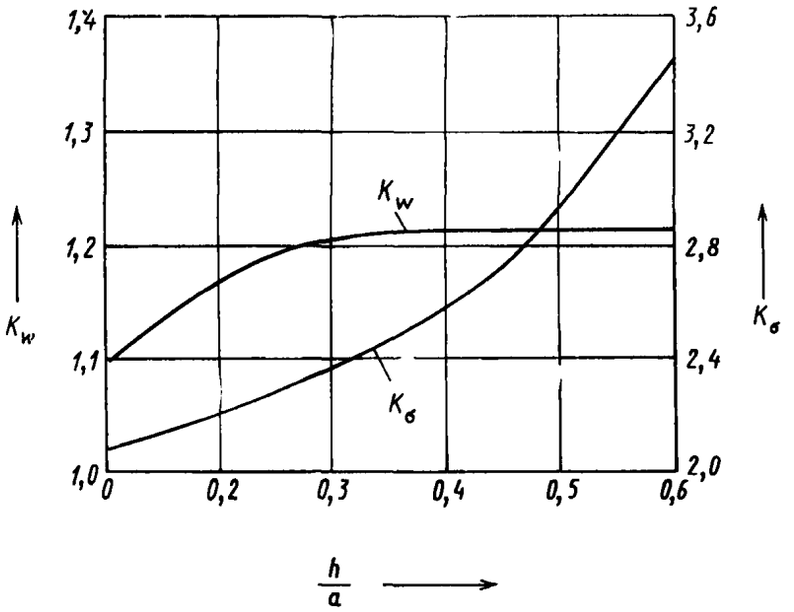
Коэффициент момента $K_м$ определяют по черт. 3 в зависимости от значения отношения r_2/R и углового шага $\Delta\varphi$.

2.3.2. Напряжения в лопатке на входной и выходной кромках вычисляют по формулам:

$$\sigma_{вх} = -\frac{M}{W_{вх}}; \quad (4)$$

$$\sigma_{вых} = \frac{M}{W_{вых}}. \quad (5)$$

Зависимость коэффициентов K_w, K_σ от отношения h/a



Черт. 2

Напряжение на входных кромках лопаток сжимающее, на выходных — растягивающее.

2.3.3. Приведенная формула расчета лопаток применяется независимо от того, как выполнен разъем, причем величины $W_{вх}$, $W_{вых}$ всегда вычисляются для полного сечения лопатки, а угловой шаг $\Delta\varphi$ во всех случаях определяется по формуле $\Delta\varphi = 180°/n$. Это обеспечивает дополнительный запас прочности для случая, когда крайняя лопатка усеченная или ослабленная (без вытеснителя).

2.4. Расчет ребер жесткости

2.4.1. Расчет проводится для расчетного отсека диафрагмы, приходящегося на одно ребро, ближайшее к разъему диафрагмы (черт. 4).

2.4.2. Полный изгибающий момент M, воспринимаемый расчетным отсеком (ребром и лопатками), определяется по формуле (3) и черт. 3, при этом вместо углового шага лопаток $\Delta\varphi$ следует использовать угловой шаг ребер $\Delta\varphi_р$ на участке, примыкающем к разъему диафрагмы.

2.4.3. Изгибающие моменты в ребре $M_р$ и в лопатках $M_л$ на расчетном отсеке определяются по формулам:

$$M_р = \frac{M}{1 + a + \frac{b}{1+b}\frac{S_р d^2}{J_р}}; \quad (6)$$

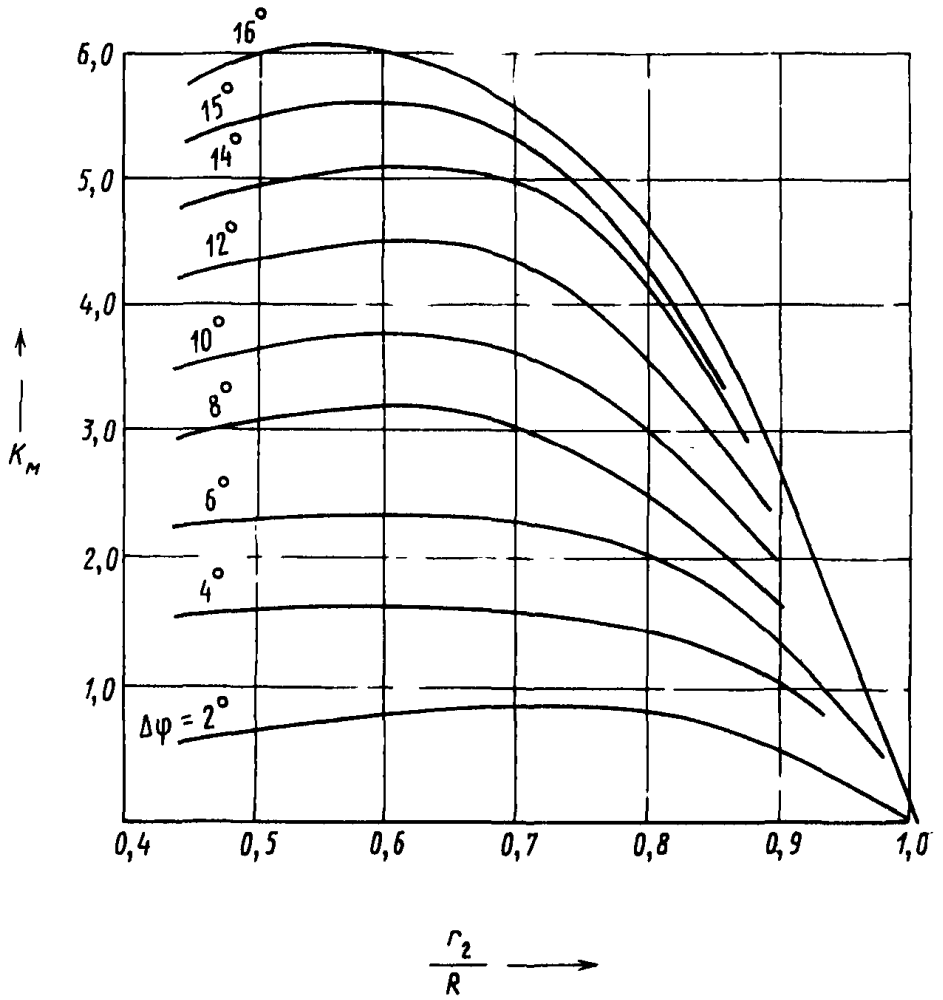
$$M_л = \frac{a}{z} M_р, \quad (7)$$

где $a = z \frac{l_р}{l_л} \frac{E_л}{E_р} \frac{J_л}{J_р}$;

$b = z \frac{l_р}{l_л} \frac{E_л}{E_р} \frac{S_л}{S_р}$;

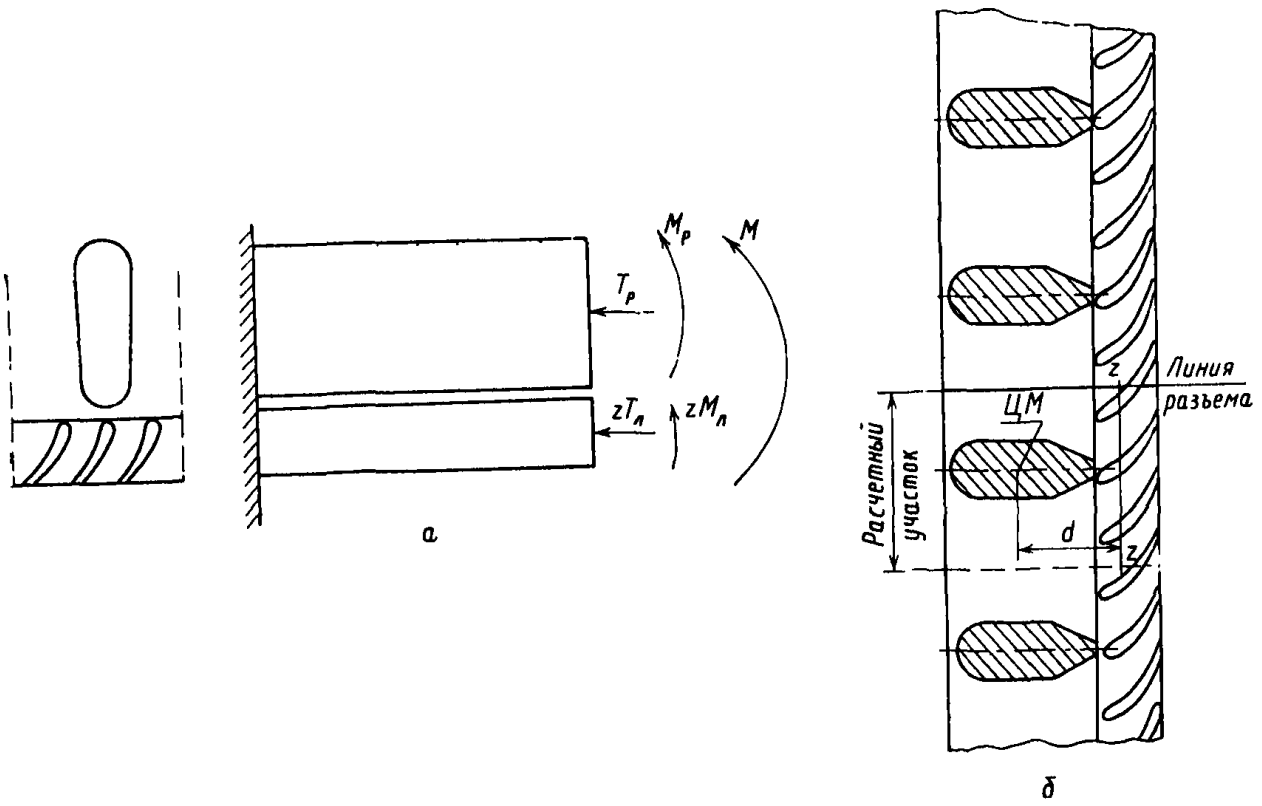
d — расстояние между плоскостями, проходящими через центры лопаток и ребер (см. черт. 4), см.

Зависимость коэффициента $K_м$ от отношения r_2/R



Черт. 3

Схема диафрагмы с ребрами жесткости



а — схема расчетного участка; *б* — развертка по лопаточному венцу

Черт. 4

2.4.4. Продольные усилия в лопатке $T_л$ и в ребре $T_р$ определяются по соотношениям:

$$T_р = \frac{b}{1+b}\frac{d S_р}{J_р} M_р; \tag{8}$$

$$T_л = \frac{T_р}{z}. \tag{9}$$

Принятые положительные направления усилий и моментов показаны на черт. 4.

Продольное усилие $T_р$ в ребре всегда сжимающее, усилие $T_л$ в лопатке — растягивающее.

2.4.5. При расчете напряжений в ребрах поддерживающее влияние лопаток не учитывается, поэтому следует принимать:

$\sigma_р^{вх} = -\frac{M}{W_р^{вх}}$ — для напряжений на входной кромке ребра,

$\sigma_р^{вых} = \frac{M}{W_р^{вых}}$ — для напряжений на выходной кромке ребра.

2.4.6. Напряжения в лопатках подсчитываются по формулам:

$$\sigma_л^{вх} = \frac{T_л}{S_л} - \frac{M_л}{W_л^{вх}} \text{ — на входной кромке лопатки,} \tag{10}$$

$$\sigma_л^{вых} = \frac{T_л}{S_л} + \frac{M_л}{W_л^{вых}} \text{ — на выходной кромке лопатки.} \tag{11}$$

Величины $M_р$, $T_р$, $M_л$, $T_л$ всегда положительны, поэтому напряжения на входной кромке ребра всегда сжимающие, на выходной кромке лопатки — всегда растягивающие.

Напряжения на выходной кромке лопатки могут быть как положительными, так и отрицательными. Их знак определяется в результате вычислений согласно формулам (10) и (11).

2.5. Расчет прогибов диафрагмы, вызванных ползучестью

2.5.1. Для вычисления остаточных прогибов диафрагмы, вызванных ползучестью, вначале необходимо определить по формуле (1) упругий прогиб диафрагмы $w_у$. Остаточный прогиб, вызванный ползучестью, определяется по формуле

$$w_{ост} = K_п w_у. \tag{12}$$

Коэффициент ползучести $K_п$, входящий в эту формулу, показывает, какую долю составляет остаточный прогиб $w_{ост}$ от величины упругого прогиба $w_у$.

2.5.2. Для расчета коэффициента ползучести $K_п$ вначале определяется эквивалентное нормальное напряжение σ_0, характеризующее средний уровень напряженности диафрагмы:

$$\sigma_0 = \frac{3}{2}\frac{(3a-h)h}{t_{ср}^2 \psi} p, \tag{13}$$

где ψ — коэффициент ослабления сечения диафрагмы каналами для пропуска пара; коэффициент ψ вычисляется по формуле

$$\psi = \frac{2h - l_л}{2h}.$$

По соответствующим характеристикам ползучести материала диафрагмы (тела и обода) определяется эквивалентная деформация ползучести $\varepsilon_п(\sigma_0, \tau)$, которая накапливается за расчетное время τ при стандартном испытании на ползучесть цилиндрического образца в условиях растяжения при постоянном напряжении σ_0.

Затем определяется упругая деформация растяжения при том же напряжении

$$\varepsilon_у = \frac{\sigma_0}{E}, \tag{14}$$

где значение модуля упругости E берется для температуры, равной расчетной температуре диафрагмы $t_{расч}$.

С учетом найденных величин определяется коэффициент ползучести по формуле

$$K = \frac{\varepsilon_п(\sigma_0, \tau)}{\varepsilon_у(\sigma_0)}. \tag{15}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочное

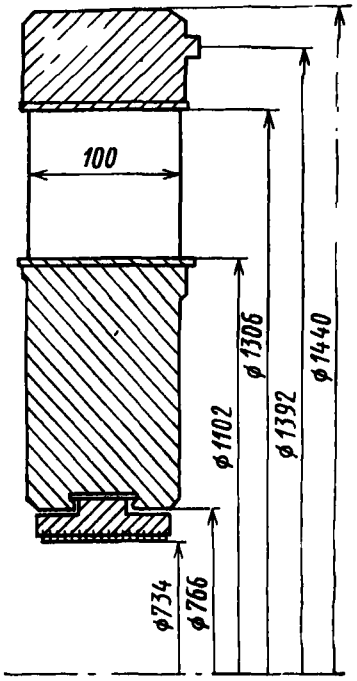
ПРИМЕРЫ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

1. ДИАФРАГМЫ БЕЗ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ (черт. 1)

1.1. Исходные данные

1.1.1. Геометрические характеристики:

Пример рассчитываемой диафрагмы



Черт. 1

Наружный радиус R, см	72,0
Внутренний радиус r_1, см	38,3
Наружный радиус тела r_2, см	55,1
Момент инерции поперечного сечения диафрагмы J, см^4	2081
Расчетная толщина тела диафрагмы $t_т$, см	9,8
Средняя расчетная толщина диафрагмы $t_{ср}$, см	10,0
Длина лопатки $l_л$, см	10,2
Момент сопротивления профиля лопатки относительно входной кромки $W_{вх}$, см^3	28,3
Момент сопротивления относительно выходной кромки $W_{вых}$, см^3	34,6
Число лопаток (на половину диафрагмы) n	19
Средний радиус диафрагмы a, см	55,2
Полуширина диафрагмы h, см	16,9
Коэффициент ослабления ψ	0,698
Отношение h/a	0,306

1.1.2. Условия нагружения:

Перепад давления p, МПа	0,57
Температура Θ, °С	520

1.1.3. Данные о материале диафрагмы:

Материал тела и обода	Сталь марки 12Х1МФ по ГОСТ 5632—72
Модуль Юнга E, МПа	$1{,}75 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона ν	0,3
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	314
Предел прочности $\sigma_в$, МПа	432
Предел длительной прочности $\sigma_{д.п}$, МПа:	
для $\tau = 5 \cdot 10^4$	163
для $\tau = 10^5$	154
Материал лопаток	Сталь марки 15Х11МФ по ГОСТ 5632—72
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	412
Предел прочности $\sigma_в$, МПа	500

1.2. Упругий расчет

1.2.1. По черт. 2 стандарта находим для отношения $h/a = 0{,}306$ коэффициент $K_w = 1{,}21$. Подставляя в расчетную формулу (1) соответствующие численные значения, получаем величину прогиба

$$w = \frac{4h^3a^2p}{EJ} K_w = \frac{4 \cdot 16{,}9^3 \cdot 55{,}2^2 \cdot 0{,}57}{1{,}75 \cdot 10^5 \cdot 2081} 1{,}21 = 0{,}11 \text{ см} = 1{,}1 \text{ мм}.$$

1.2.2. По черт. 2 стандарта находим $K_\sigma = 2{,}36$. Подставляя в расчетную формулу (2) соответствующие числовые значения, получаем

$$\sigma_т = \frac{ph^2a}{(1-\nu^2)J} \frac{t_т}{2} K_\sigma = \frac{0{,}57 \cdot 16{,}9^2 \cdot 55{,}2}{(1-0{,}3^2)\,2081} \frac{9{,}8}{2} 2{,}36 = 55 \text{ МПа}.$$

1.2.3. Вычисляем угловой шаг лопаток

$$\Delta\varphi = \frac{180}{n} = \frac{180}{19} = 9{,}5°$$

и отношение

$$\frac{r_2}{R} = \frac{55,1}{72,0} = 0,77,$$

по черт. 3 стандарта находим $K_м = 3,1$.

Изгибающий момент в крайней лопатке определяем по формуле (3)

$$M = K_м \frac{pR^3}{192} = 3,1 \frac{0,57 \cdot 72^3}{192} = 3435 \text{ Н·м}.$$

Напряжения на входной кромке лопатки вычисляем по формуле (4)

$$\sigma_{вх} = -\frac{M}{W_{вх}} = -\frac{3435}{28,3 \cdot 10^{-6}} = -121 \text{ МПа}.$$

Напряжения на выходной кромке лопатки находим по формуле (5)

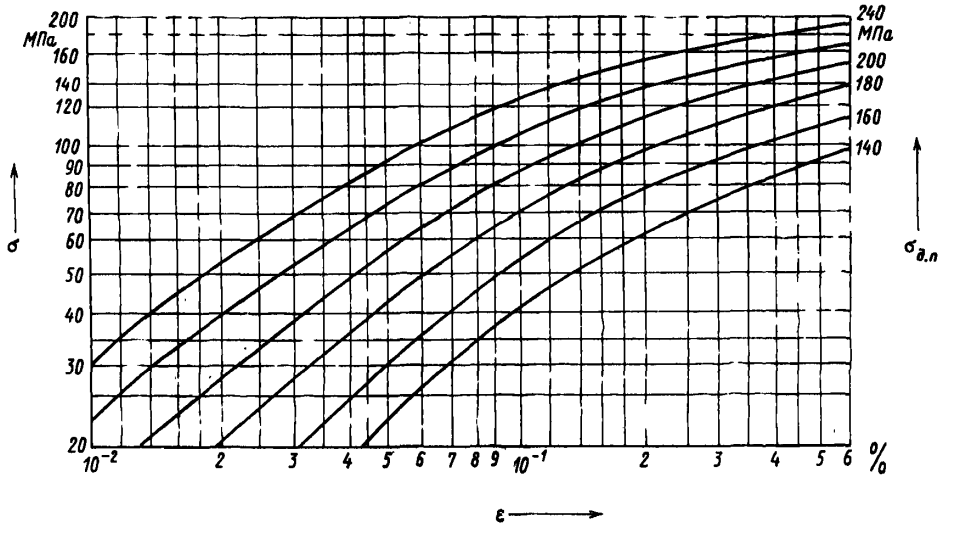
$$\sigma_{вых} = \frac{M}{W_{вых}} = \frac{3435}{34,6 \cdot 10^{-6}} = 99 \text{ МПа}.$$

1.3. Расчет остаточных прогибов при ползучести

1.3.1. Вычисляется эквивалентное напряжение в диафрагме по формуле (13)

$$\sigma_0 = \frac{3(3a - h)h}{2t_{ср}^2 \psi} p = \frac{3}{2} \frac{(3 \cdot 55,2 - 16,9)\ 16,9}{10^2 \cdot 0,698} 0,57 = 31 \text{ МПа}.$$

Обобщенная диаграмма ползучести



Черт. 2

1.3.2. Для определения эквивалентной деформации ползучести $\varepsilon_п$ (σ_0, τ) необходимо располагать соответствующими данными о свойствах ползучести материала. На черт. 2 справочного приложения 1 приведены в двойных логарифмических координатах обобщенные изохронные кривые ползучести для сталей марок 12ХМФ, 15Х1М1Ф, 20ХМ, 15ХМ, 12МХ по ГОСТ 5632—72 при сроках службы τ от 40 до 100 тыс. ч и температурах 450—550°С. Этими кривыми можно пользоваться для приближенной оценки обобщенной деформации ползучести $\varepsilon_п$ при отсутствии прямых экспериментальных данных.

Чтобы пользоваться кривыми черт. 2, необходимо знать величину предела длительной прочности $\sigma_{д.п}$ данной стали для принятой температуры и расчетного срока службы. Найдя на черт. 2 кривую, отвечающую данному значению $\sigma_{д.п}$, и откладывая по оси ординат значение σ_0, определяем по оси абсцисс соответствующее значение $\varepsilon_п$.

Для материала диафрагмы — сталь 12ХМФ при сроке службы $\tau = 100$ тыс. ч имеем $\sigma_{д.п} = 154$ МПа.

Указанным способом по черт. 2 находим:

для $\tau = 50$ тыс. ч $\varepsilon_п = 4,3 \cdot 10^{-2}$ %;

для $\tau = 100$ тыс. ч $\varepsilon_п = 5,1 \cdot 10^{-2}$ %.

1.3.3. Вычисляем упругую деформацию, отвечающую эквивалентному напряжению σ_0,

$$\varepsilon_у = \frac{\sigma_0}{E} = \frac{31}{1,75 \cdot 10^5} = 1,77 \cdot 10^{-2} \%$$

и соответствующие значения коэффициента ползучести диафрагмы:
для $\tau=50$ тыс. ч

$$K_{\text{п}}=\frac{4{,}3\cdot10^{-2}}{1{,}77\cdot10^{-2}}=2{,}43;$$

для $\tau=100$ тыс. ч

$$K_{\text{п}}=\frac{5{,}1\cdot10^{-2}}{1{,}77\cdot10^{-2}}=2{,}88.$$

1.3.4. По формуле (12) находим остаточные прогибы:

для $\tau=50$ тыс. ч

$$w_{\text{ост}}=K_{\text{п}}w_{\text{у}}=2{,}43\cdot1{,}1=2{,}7\text{ мм};$$

для $\tau=100$ тыс. ч

$$w_{\text{ост}}=K_{\text{п}}w_{\text{у}}=2{,}88\cdot1{,}1=3{,}2\text{ мм}.$$

2. ДИАФРАГМА С РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

2.1. Исходные данные

2.1.1. Геометрические характеристики:

Наружный радиус диафрагмы R, см	49,8
Наружный радиус тела r_2, см	40,6
Отношение r_2/R	0,817
Момент сопротивления ребра, см³:	
относительно входной кромки $W_{\text{р}}^{\text{вх}}$	27,4
относительно выходной кромки $W_{\text{р}}^{\text{вых}}$	25,0
Момент сопротивления лопатки, см³:	
относительно входной кромки $W_{\text{л}}^{\text{вх}}$	1,213
относительно выходной кромки $W_{\text{л}}^{\text{вых}}$	1,376
Момент инерции сечения ребра $J_{\text{р}}$, см⁴	130,7
Момент инерции сечения лопатки $J_{\text{л}}$, см⁴	1,935
Площадь поперечного сечения ребра $S_{\text{р}}$, см²	18,18
Площадь поперечного сечения лопатки $S_{\text{л}}$, см²	3,26
Число ребер (на половину диафрагмы) $n_{\text{р}}$	39
Число лопаток (на крайнее ребро) z	1
Перепад давления p, МПа	1,78
Угловой шаг ребер $\Delta\varphi\ldots^\circ$	$\frac{180}{39}=4^\circ36'$
Расстояние d, см	7,5

Наличие в диафрагме ребер жесткости при предварительном расчете влияет только на напряжения в элементах направляющего аппарата, поэтому ниже приводится пример расчета напряжений в лопатках и ребрах жесткости.

2.2. Расчет напряжений в ребрах

2.2.1. Изгибающий момент в расчетном отсеке определяем в соответствии с п. 2.4.2 стандарта:

$$M=1{,}83\cdot10^{3}\text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2.2.2. По формулам п. 2.4.5 стандарта вычисляем:
напряжения на входной кромке ребра

$$\sigma_{\text{р}}^{\text{вх}}=-\frac{M}{W_{\text{р}}^{\text{вх}}}=-\frac{1{,}83\cdot10^{3}}{27{,}4\cdot10^{-6}}=-67{,}0\text{ МПа};$$

напряжения на выходной кромке ребра

$$\sigma_{\text{р}}^{\text{вых}}=\frac{M}{W_{\text{р}}^{\text{вых}}}=\frac{1{,}83\cdot10^{3}}{25{,}0\cdot10^{-6}}=73{,}0\text{ МПа}.$$

2.3. Расчет напряжений в лопатках

2.3.1. По формулам п. 2.4.3 стандарта подсчитываем вспомогательные величины (при $l_р = l_л$, $E_р = E_л$):

$$a = z \frac{l_р}{l_л} \frac{E_л}{E_р} \frac{J_л}{J_р} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1{,}935}{130{,}7} = 0{,}0148;$$

$$b = z \frac{l_р}{l_л} \frac{E_л}{E_р} \frac{S_л}{S_р} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{3{,}26}{18{,}18} = 0{,}179$$

и находим изгибающие моменты:

$$M_р = \frac{M}{1 + a + \frac{b}{1+b} \frac{S_р d^2}{J_р}} = \frac{1{,}83 \cdot 10^3}{1 + 0{,}0148 + \frac{0{,}179}{1{,}179} \frac{18{,}18 \cdot 7{,}5^2}{130{,}7}} = 834 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_л = \frac{a}{z} M_р = 0{,}0148 \cdot 8{,}34 = 12{,}3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.3.2. По формулам (8), (9) стандарта определяем продольные усилия:

$$T_р = \frac{b}{1+b} \frac{dS_р}{J_р} M_р = \frac{0{,}179}{1{,}179} \frac{7{,}5 \cdot 18{,}18}{130{,}7} 834 = 1{,}33 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$T_л = \frac{T_р}{z} = 1{,}30 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

По формулам (10), (11) стандарта находим напряжения в лопатках:

$$\sigma_л^{вх} = \frac{T_л}{S_л} - \frac{M_л}{W_л^{вх}} = \frac{13\,000}{3{,}26 \cdot 10^{-6}} - \frac{12{,}3}{1{,}213 \cdot 10^{-6}} = 29{,}8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_л^{вых} = \frac{T_л}{S_л} + \frac{M_л}{W_л^{вых}} = 50{,}1 \text{ МПа}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Обязательное

ПОВЕРОЧНЫЙ УПРУГИЙ РАСЧЕТ

1. МЕТОД РАСЧЕТА

1.1. Поверочный расчет основан на обобщении схемы Г. И. Пахомова. Принимаются следующие основные положения:

диафрагма рассматривается как два полукольцевых стержня: тело и обод, связанные стержнями-лопатками, лопатки жестко соединены с телом и ободом;

сосредоточенные усилия, передаваемые со стороны лопаток на тело и обод, заменяются статически эквивалентными непрерывно распределенными усилиями;

учитывается как поперечный изгиб диафрагмы, так и деформация в плоскости диафрагмы и их взаимодействие (косой изгиб);

учтено смещение опорного контура относительно края диафрагмы;

напряженно-деформированное состояние диафрагмы для принятой схемы описывается теорией криволинейных стержней Кирхгофа — Клебша.

В итоге расчет диафрагмы сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, для которых ставится краевая задача. Последняя решается методом ортогональной прогонки С. К. Годунова с использованием метода Рунге — Кутта.

2. ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

2.1. Геометрия диафрагмы:

RY — радиус диафрагмы по уплотнению, м;

R0 — внутренний радиус тела диафрагмы, м;

R1 — радиус по корню лопаток, м;

R2 — внутренний радиус обода, м;

R3 — радиус опорного контура диафрагмы, м;

R4 — внешний радиус обода, м;

XK — число лопаток в полукольце диафрагмы.

2.2. Характеристики поперечных сечений тела, обода и лопаток (задаются в качестве исходных данных или передаются из программы расчета геометрических характеристик сечений):

NSBL — число поперечных сечений лопаток, для тела и обода

$$NSBL = 1;$$

N — число точек, заданных на контуре сечения;

BT — угол между осью *X* системы координат, в которой задано сечение, и плоскостью диафрагм, ...°;

SCL — масштаб задания координат *x*, *y*;

XC, *YC*, *SCLC* — координаты и масштаб центра масс сечения;

BYC — расстояние по оси *Y* между центром масс и Y_{max} сечения, м;

MODE — способ задания контура сечения;

CONT — массив, описывающий контур сечения;

ZBL — расстояние сечения лопатки от корня лопатки, м;

SBL — площадь сечения, м^2;

JX — момент инерции сечения относительно оси *X'*, лежащей в плоскости диафрагм, м^4;

JY — момент инерции сечения относительно оси *Y'*, перпендикулярной оси *X'*, м^4;

JXY — центробежный момент инерции, м^4;

JT — геометрическая жесткость при упругом кручении, м^4.

2.3. Физические характеристики:

EYi — модуль упругости, МПа;

EMi — коэффициент Пуассона;

DLTi — коэффициент линейного расширения;

TMi — температура, °С;

$i = 1, 2, 3$ соответственно для тела, обода и лопаток.

2.4. Внешняя нагрузка на диафрагму:

Θ — равномерная, нормальная к плоскости диафрагмы, нагрузка на единицу площади тела и обода, МПа;

P — равномерная, нормальная к плоскости диафрагмы, нагрузка, распределенная по уплотнению на единицу длины дуги, Н/м;

NF — число точек по оси лопатки, где заданы нагрузки, действующие на единицу длины одной лопатки;

zFi — координаты этих точек, отсчитываемые от корня лопатки, м;

FX — нагрузка на единицу длины одной лопатки, нормальная к плоскости диафрагмы, Н/м;

ΘX — равномерная нормальная нагрузка на единицу площади, распределенная по всему полукольцу области лопаток, обычно $\Theta X=\Theta$; окончательно в программе принимается:

$$FXi'=FXi+\frac{\pi}{XK}(R1+ZFi)\,\Theta X;$$

FY — боковая нагрузка в плоскости диафрагмы, рассчитанная на единицу длины лопатки, Н/м;

KZ — крутящий момент, действующий на единицу длины лопатки, Н.

В случае равномерной нагрузки можно задавать $NF=2$.

$$ZF1=0,\ ZF2=R2-R1,$$

$$FX1=0,\ FX2=0,\ \Theta X=\Theta.$$

2.5. Закрепление диафрагм в своей плоскости задается параметром $I0$. Всегда $w_2=0$ при $\varphi=\pm\pi/2$ и, кроме того, если

$$I0=\begin{cases}-1, \text{ то } v_2=0 \text{ при } \varphi=-\frac{\pi}{2};\\ 0, \text{ то } w_2=0 \text{ при } \varphi=0;\\ +1, \text{ то } v_2=0 \text{ при } \varphi=\frac{\pi}{2};\end{cases}$$

$I0=2$ для осесимметричной (неразъемной) диафрагмы.

Здесь w_2 — осевое смещение оси обода, м; v_2 — радиальное смещение оси обода, м.

2.6. Нерадиальность установки лопаток:

PSI — угол отклонения оси лопатки от радиального направления, ...°.

2.7. Вспомогательные исходные величины:

NS — число равных углов, на которые делится 1/2 полукольца диафрагмы для решения дифференциальных уравнений по методу Рунге — Кутта;

REG — массив признаков печати промежуточных результатов, используется при отладке программ, для стандартных расчетов задается нуль или пробелы;

RES — шкала признаков печати результатов расчета;

$$RES=L_1, L_2, L_3, L_4, L_i=T \text{ или } F,$$

T — означает *true* (да), F — *false* (нет). При выдаче результатов всегда печатаются перемещения и напряжения: L_1 — печать во всех точках интегрирования; L_2 — печать усилий и моментов; L_3 — печать интерполированных значений в точках шкалы результатов (см. ниже); L_4 — зарезервировано;

NFI — задает автоматическое формирование шкалы результатов или число точек в шкале результатов;

$NFI=0$ — шкала результатов формируется автоматически — начинается на расстоянии 1/2 шага установки лопаток от —90° и продолжается с шагом $180°/XK$ до 90°. В этом случае массив FII в исходных данных отсутствует;

$NFI=1$ — в массиве FII задано одно значение, которое считается началом шкалы результатов относительно края (—90°) и продолжается с шагом $180°/XK$;

$NFI\geqslant 2$ — в массиве FII задано NFI точек, которые представляют собой шкалу результатов;

FII — массив шкалы результатов, задается при $NFI\geqslant 2$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

3.1. Режим выдачи результатов определяется шкалой печати RES и параметрами NFI и FII, как это описано в п. 2.7.

3.2. Всегда выдаются максимальные напряжения в элементах диафрагмы и максимальные прогибы, причем применяются обозначения:

FI — центральный угол, отсчитываемый от вертикальной оси диафрагмы, ...°;

$ALFA$ — номер точки на контуре сечения, в которой выдается напряжение, нумерация точек соответствует массиву координат точек контура, полученных в программе;

$SIGMA$ — соответствующее напряжение, МПа;

$WY, W0, W1, W2$ — перемещение диафрагмы в направлении от турбины, соответственно на радиусах $RY, R0, R1, R2$, м;

ASji — угол между осью *X* системы координат, в которой задано сечение, и прямой, соединяющей центр тяжести сечения с точкой, в которой выдается напряжение;
ANji — номер точки на контуре сечения;
SZji — напряжение, МПа;
$i=1$ — в теле;
$i=2$ — в ободе;
$i=3$ — в лопатках у тела;
$i=4$ — в лопатках у обода;
$j=1$ — самая левая точка контура сечения;
$j=2$ — максимальное положительное напряжение;
$j=3$ — самая правая точка сечения;
$j=4$ — максимальное отрицательное напряжение.

Когда печатаются усилия и моменты, то применяются обозначения:
VXK, VYK, VZK — усилия, Н;
MXK, MYK, MZK — моменты, Н·м; причем $K=1$ для тела, $K=2$ для обода, $K=3$ для лопаток у тела, $K=4$ для лопаток у обода.

Аналогичные обозначения используются для углов поворота и перемещений.

4. ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА И ТРЕБОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

4.1. Для устойчивости счета требуется, чтобы расстояние по радиусу между центром тяжести сечения обода и опорным контуром составляло не менее 1% от радиуса опоры.

Радиус центров тяжести сечений обода можно вычислить после определения геометрических характеристик, он равен $A2=R4-BYC$, и условие устойчивости имеет вид $|A2-R3|>0{,}01R3$.

Если требуется рассчитать диафрагму, опертую вблизи центра тяжести сечения обода, то можно произвести два расчета для положения опоры, отстоящей от центров тяжести сечений обода на расстоянии больше предельного в большую и меньшую стороны, а затем произвести линейную интерполяцию решения (напряжений и прогибов).

Точность расчета диафрагмы зависит от величины *NS*, для точности порядка 1% обычно достаточно задать $NS=30$, для прикидочных расчетов $NS=20$, предельное значение $NS=50$.

5. ЗАПИСЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПЕРФОРАЦИЯ

5.1. Исходные данные для расчета диафрагмы записываются на любых стандартных бланках, имеющих 80 позиций в одной строке. Содержимое каждой строки будет помещено на одну перфокарту.

Для ввода исходных данных используются следующие группы данных:
карта с наименованием диафрагм или варианта расчета;
блоки именованных списков *&NR*, *&RSL*, *&FBL*, *&END*;
геометрические характеристики для сечений тела, обода и лопаток (обычно вводятся из файла 8, куда они записаны программой расчета геометрических характеристик, используются следующие данные: наименование сечения, блоки списков: *&H*, *&POL*, *&GH*).

На черт. 1 показано содержание блоков данных и приведены умалчиваемые значения некоторых переменных.

Шаблон исходных данных для расчета диафрагмы

```
          НАИМЕНОВАНИЕ ДИАФРАГМЫ
&NR NS=5Ø, PSI=    , IØ=    , NOC= , RY=    , R1=    , R2=    , R3=
R4=    , XK=    , Q=    , P=    ,   &END
&RSL RES=F,F,F,F,   NF1=    , FI1=     ,      &END
&FBL NB=    ,   ZF=    , FX=    , FY=    , KZ=        , QX=     ,  &END
&EDT EY=        , EM=        , DLT=      , TM=      ,     &END
```

Черт. 1

Содержимое блоков *&H*, *&POL* объяснено в рекомендуемом приложении 4, блок *&GH* содержит: *XC, SCLC, BYC, ZBL, JX, JY, JXY* и др.

6. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ДИАФРАГМЫ В ОС ЕС ЭВМ

6.1. При расчете диафрагм используется процедура ВТК, представленная на картах во входном потоке. Текст процедуры приведен на черт. 2. Задание для расчета диафрагмы приведено на черт. 3, где представлены данные для расчета геометрических характеристик и диафрагмы.

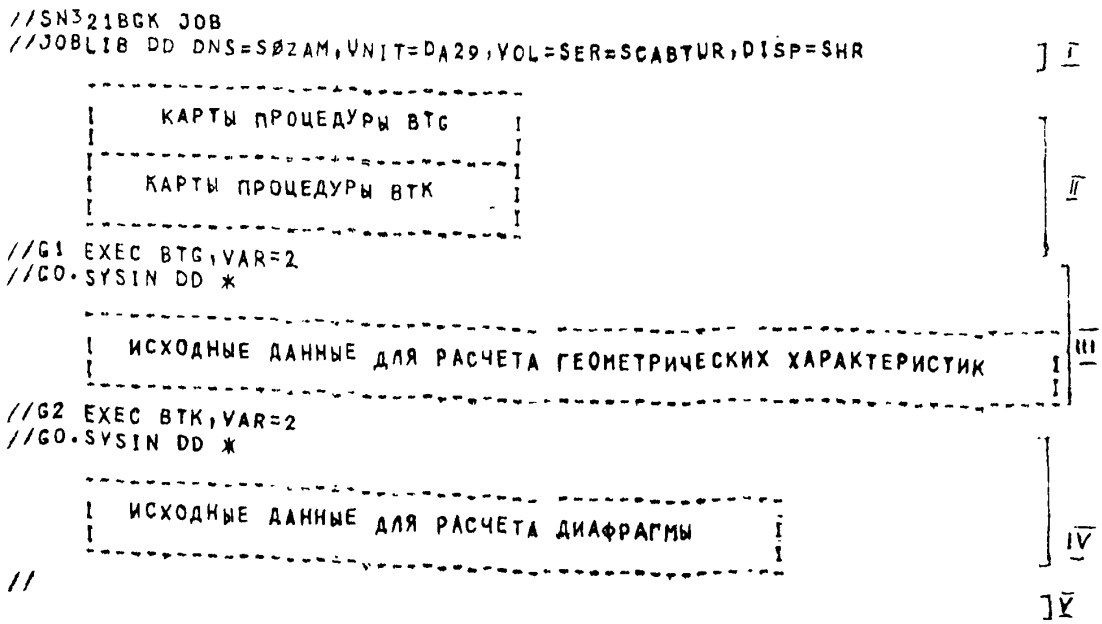
Если геометрические характеристики рассчитаны предварительно и результат хранится на диске, то для расчета диафрагмы можно удалить из задания (см. черт. 3) группы перфокарт III.

Процедура расчета диафрагмы

```
//BTK PROC PREF=BT,PROG=KR4,U=5Ø61,V=PTOMØ1,VAR=1
//GO EXEC PGM=&PREF&PROG,REGION=12ØK
//FTØ5FØØ1 DD DDNAME=SYSIN
//FTØ6FØØ1 DD SYSOUT=A,DCB=(RECFM=VBA,LRECL=133,BLKSIZE=352Ø)
//FTØ8FØØ1 DD DSN=&PREF&VAR,UNIT=&U,VOL=SER=&V,DISP=SHR
//FTØ9FØØ1 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(1924,1Ø2)
//FT1ØFØØ1 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(96,1Ø2)
//FT11FØØ1 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(96,1Ø2)
// PEND
```

Черт. 2

Задание для расчета геометрических характеристик и расчета диафрагмы



Черт. 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Обязательное

ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ

1. МЕТОД РАСЧЕТА

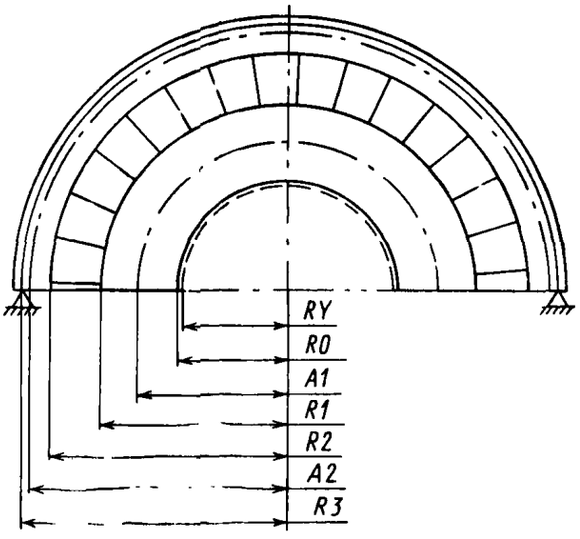
По сравнению с упругим расчетом (см. обязательное приложение 2) постановка задачи несколько упрощена: рассматривается только поперечный изгиб, деформации в плоскости диафрагмы не учитываются, что вполне допустимо для ступеней высокого и среднего давления. Для ползучести становятся нелинейными физические соотношения, связывающие деформации изгиба и кручения стержней, за счет этого дифференциальные уравнения становятся также нелинейными. Для их решения применяется метод Ньютона — Канторовича, с помощью которого нелинейная задача преобразуется в последовательность линейных задач. Последние решаются так же, как упругая задача. Исходные данные для расчета ползучести отличаются от данных упругого расчета (см. обязательное приложение 2) по форме и частично по существу.

В это же время по программе расчета ползучести можно произвести также упрощенный упругий расчет.

2. ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Расчетная схема диафрагмы и обозначения размеров представлены на черт. 1.

Расчетная схема диафрагмы



RY — радиус диафрагмы по уплотнению, м; *R0* — внутренний радиус тела диафрагмы, м; *A1* — радиус оси тела, м; *R1* — наружный радиус тела, м; *R2* — внутренний радиус обода, м; *A2* — радиус оси обода, м; *R3* — радиус опорного контура, м Осью тела (обода) считается окружность, проходящая через центры тяжести поперечных сечений

Черт. 1

Для расчета также требуются величины:

XNL — число лопаток в одной половине диафрагмы;

DFI — угол, равный π/XNL, рад;

ΘS — коэффициент ослабления крайних сечений лопаток;

$$\Theta S = \sqrt[3]{\frac{I_1}{I_2}},$$

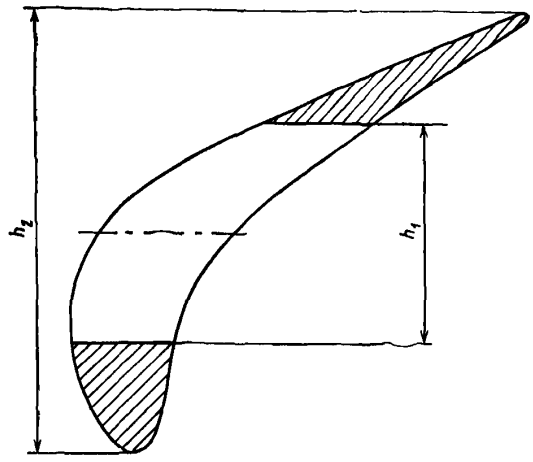
где I_1 и I_2 — соответственно моменты инерции неприваренной части и полного сечения относительно оси (прямого) изгиба, м^4. Приближенно можно принимать $\Theta S = h_1/h_2$, где h_1 и h_2 — соответственно высоты неприваренной части и полного сечения (черт. 2);

Θ — перепад давления пара на диафрагме, МПа;

P — сила, приложенная по внутреннему краю тела диафрагмы, Н/м;

i — индекс элемента диафрагмы; для тела $i=1$, для обода $i=2$, для лопаток $i=L$;
Si — площадь сечения, м^2;
ABi — геометрическая жесткость при упругом изгибе, м^4;
CTi — геометрическая жесткость при упругом кручении, м^4;
XMi — расстояние от оси изгиба до крайних волокон сечения, м;
XML — расстояние от оси изгиба до входной кромки лопатки, м;
$XL2$ — расстояние от оси изгиба до выходной кромки лопатки, м;
$XKPi$ — коэффициент Пуассона;
SPi — модуль упругости, МПа;
IEL — переменная, определяющая характер расчета; для упругого расчета $IEL=1$; для расчета ползучести $IEL=0$;
IPR — переменная, определяющая режим выдачи результатов расчета; $IPR=1$ — для полной выдачи; $IPR=0$ — выдаются только максимальные прогибы, максимальные напряжения и погрешности решения;
IVL — величина, определяющая переменность сечения лопаток; для лопаток переменного сечения $IVL=1$; для лопаток постоянного сечения $IVL=0$;
NVL — переменная, определяющая количество сечений лопатки в случае переменного сечения; в программе принято $NVL \leqslant 9$;
k — номер сечения лопатки: $k=1, 2, \ldots, NVL$;
$ZZ(k)$ — расстояние сечения от корня лопатки, м;
$SZ(k)$ — площадь сечения, м^2;
$AZ(k)$ — геометрическая жесткость при упругом изгибе, м^4;
$CZ(k)$ — геометрическая жесткость при упругом кручении, м^4.

К вычислению напряжений в сварном шве лопатки



Черт. 2

В случае переменного сечения величины SL, ABL, CTL, упомянутые ранее, соответствуют корневому сечению, причем $SZ(1)=SL$, $AZ(1)=ABL$, $CZ(1)=CTL$.

Если геометрические характеристики получены по программе, описанной в рекомендуемом приложении 4, то наименование исходных данных для расчета ползучести находится в соответствии с результатами расчета геометрических характеристик, как это показано в табл. 1.

Таблица 1

Данные для расчета ползучести	S	AB	ABP_{μ}	CT	CP	SZ	AZ	CZ
Результаты расчета геометрических характеристик	SBL	JY	JXP_{μ}	JT	JTP	SBL	JXP_{00}	JT

Расчет диафрагмы в условиях ползучести основан на степенном законе, при этом может быть использована теория течения или старения. По теории течения исходным будет соотношение

$$\dot{\varepsilon}^c = B_1 \sigma^m, \tag{1}$$

где $\dot{\varepsilon}^c$ — скорость деформации ползучести при одноосном растяжении;
σ — соответствующее нормальное напряжение;
B_1 — коэффициент ползучести;
m — показатель ползучести.

Иногда при серийных расчетах удобно соотношение (1) представить в виде:

$$\dot{\varepsilon}^c = \frac{10^{-7}}{\sigma_n^m} \sigma_i^m, \tag{2}$$

где σ — предел ползучести материала, т. е. напряжение, вызывающее за 100 тыс. ч деформацию в 1%.

Для теории старения исходным будет уравнение

$$\varepsilon^c = \Omega_1 \sigma^m , \qquad (3)$$

где ε^c — деформация ползучести.

При расчете ползучести для каждого элемента диафрагмы задаются величины:

XKPi — показатель ползучести, который в формулах (1)—(3) обозначается m;

SPi — коэффициент ползучести (B_{1i}) или предел ползучести (σ_{ni}), $i=1, 2, L$.

Задание B_{1i} или σ_{ni} различается в программе с помощью переменной *IWH*: если $IWH=1$, то $SPi=B_{1i}$; если $IWH=0$, то $SPi=\sigma_{ni}$.

При использовании теории старения задают $SPi=\Omega_{1i}$.

При расчете ползучести, кроме уже перечисленных данных, необходимы следующие:

XIZ0 — массив из 5 величин $\mu_k=\frac{1}{m_k}$ (при $k=1, \ldots, 5$; $\mu_1=0$; $\mu_2=0{,}25$; $\mu_3=0{,}5$; $\mu_4=0{,}75$; $\mu_5=1$);

XIZ1, XIZ2, XIZL — массивы жесткости при изгибе в условиях ползучести для тела, обода и лопаток соответственно; каждый массив состоит из пяти величин жесткости ABP_{μ_k}, рассчитанных для μ_k при $k=1, \ldots, 5$.

Также требуются получаемые из программы расчета геометрических характеристик *CPi* — жесткости при пластическом кручении, где $i=1, 2, L$.

Если была заказана неполная выдача ($IPR=0$), то в результате расчета печатаются величины прогибов разъема диафрагмы на различных радиусах:

WY, W0, W1, W2 — соответственно на радиусах *RY, R0, R1, R2*.

При расчете ползучести по теории течения эти величины выражают скорость ползучести.

Далее выдаются напряжения:

SM1 — максимальные напряжения в теле диафрагмы, МПа;

SM2 — максимальное напряжение в ободе диафрагмы, МПа;

SMI, SM0 — максимальные напряжения на входной и выходной кромках лопаток соответственно, МПа;

SMIS, SM0S — напряжения в сварных швах на входной и выходной кромках лопаток соответственно, МПа.

Максимальные напряжения в теле и ободе подсчитываются на вертикальной оси диафрагмы, в лопатках — в корневом сечении крайней лопатки (у тела).

Следующие две величины характеризуют точность расчета в процентах:

RA — относительная неуравновешенность сил, приложенных к телу диафрагмы, для главного вектора;

RB — то же, для главного момента.

Точность расчета зависит от числа разбиений интервала $(0, \pi/2)$ при интегрировании дифференциальных уравнений (это число в программе фиксировано и равно 50) и от показателя ползучести: программа обеспечивает допустимую точность ($RA, RB \leqslant 5\%$) для показателей ползучести, не превосходящих значения 5,5.

Если заказана подробная выдача ($IPR=1$), то, кроме указанных выше величин, печатаются значения следующих функций угла *FI*:

FI — полярный угол, отсчитываемый от вертикальной оси диафрагмы, рад;

V1 — перерезывающая сила в теле, Н;

V2 — перерезывающая сила в ободе, Н;

T1 — крутящий момент в теле, Н·м;

T2 — крутящий момент в ободе, Н·м;

YM1 — изгибающий момент в теле, Н·м;

YM2 — изгибающий момент в ободе, Н·м;

BT1 — угол поворота сечения тела, рад;

W1 — перемещение оси тела, м;

GM1 — угол наклона оси тела, рад;

GM2 — угол наклона оси обода, рад;

TL — крутящий момент в лопатках, Н·м;

W2 — перемещение оси обода, м;

BT2 — угол поворота сечения обода, рад;

ML1 — изгибающий момент в корневом сечении лопаток, Н·м;

ML2 — изгибающий момент в верхнем сечении лопаток, Н·м;

W_{max} — максимальный для данного угла *FI* прогиб — прогиб по уплотнению, м;

R — реакция опоры, Н.

3. ЗАПОЛНЕНИЕ БЛАНКОВ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПЕРФОРАЦИЯ

Исходные данные можно писать на любом бланке, имеющем в каждой строке 80 позиций; при перфорации каждой строке будет соответствовать одна целая — 80-колонная перфокарта.

В данной программе используются исходные переменные двух типов: целого и вещественного. Все необходимые переменные целого типа записываются в виде одной десятичной цифры, причем каждой переменной этого типа соответствует одна перфокарта с одной пробивкой в первой колонке. Переменные вещественного типа обязательно должны содержать точку и занимать 10 позиций. Если какая-то из переменных вещественного типа является целым числом, то ее все равно следует записать с десятичной точкой, например переменную вещественного типа $XNL=19$ следует записать в виде

1	9	.							



Такие характеристики, как модуль упругости $E=2{,}1\cdot10^5$, записываются в виде

2	.	1						E	5



Выражение $E\pm n$, записанное вслед за числом, означает умножение этого числа на $10^{\pm n}$.

Порядок записи исходных данных приводится в табл. 2.

Таблица 2

Номер строки (номер карты)	Идентификаторы исходных величин	Тип
1	Наименование расчета	Текстовой
2	*RY, R0, A1, R1, R2, A2, R3*	Вещественный
3	*XNL, DFI, ΘS, Θ, P*	»
4	*S1, AB1, CT1, XM1, XKP1, SP1*	»
5	*S2, AB2, CT2, XM2, XKP2, SP2*	»
6	*SL, ABL, CTL, XML, XL2, XKPL, SPL*	»
7	*IEL*	Целый
8	*IPR*	»
9	*IWH*	»
10	Пять компонент массива *XIZ0*	Вещественный
11	» » » *XIZ1*	»
12	» » » *XIZ2*	»
13	» » » *XIZL*	»
14	*CP1, CP2, CPL*	»
15	*IVL*	Целый
16	*NVL*	»
17	Компоненты массива *ZZ*	Вещественный
18	» » *SZ*	»
19	» » *AZ*	»
20	» » *CZ*	»

В конкретном расчете некоторые из приведенных карт могут отсутствовать.

Карты 1—8 и 15 требуются всегда; карты 9—14 — при расчете ползучести; карты 16—20 — при переменном сечении лопаток.

Задание для расчета ползучести в операционной системе ОС ЕС ЭВМ приведено на черт. 3.

Задание для расчета ползучести в операционной системе ОС ЕС ЭВМ

```
//BTDXX JOB "26-2Ø4","ЦЕЙТЛИН", CLASS=C,TIME=Ø5,MSGCLASS=A
//GO EXEC PGM=BTD,REGION=75K,TIME=5
//STEPLIB  DD DSN=BTKR4,DISP=SHR,VOL=SER=LIBTVA,UNIT=SYSDA
//GO,FTØ8FØØ1 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(5Ø4,153)
//GO,FTØ6FØØ1 DD SYSOUT=A
//GO,FTØ5FØØ1 DD *

      ------------------------------------------------
      !   ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛЗУЧЕСТИ     !
      !                                              !
      ------------------------------------------------

//
```

Черт. 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Рекомендуемое

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ДИАФРАГМЫ

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1.1. Основные величины, относящиеся к сечению:

X, Y — произвольно расположенная относительно сечения прямоугольная система координат;

BT — угол между осью X и осью X',...°; ось X' проходит через центр масс сечения параллельно плоскости диафрагмы, образуя правую систему координат с осью Y', направленной навстречу потоку пара;

XC, YC — координаты центра масс сечения, м;

BYC — расстояние по оси Y между центром масс и Y_{max} сечения, м;

ZBL — расстояние сечения лопатки от корня лопатки, м;

S — площадь сечения, м^2;

JX — момент инерции сечения относительно оси X', м^4;

JY — момент инерции сечения относительно оси Y', м^4;

JXY — центробежный момент инерции, м^4;

JT — геометрическая жесткость при упругом кручении, м^4.

Для расчета ползучести дополнительно необходимы величины:

JTP — геометрическая жесткость при идеально-пластическом кручении, м^3;

JXP — геометрическая жесткость при идеально-пластическом изгибе относительно оси X', м^3;

JXP_μ — геометрическая жесткость изгиба при ползучести, м^3; $\mu=1/m$ (m — показатель ползучести).

1.2. Для определения геометрических характеристик сечений элементов диафрагмы могут использоваться различные численные методы решения уравнения Лапласа, в частности методы граничной коллокации, конечных элементов и граничных интегральных уравнений. В настоящем стандарте для расчета геометрических характеристик контур сечения представляется в виде последовательности точек, соединенных прямыми отрезками или дугами. Расчет основан на построении семейства вложенных эквидистантных полигонов, которые разбивают сечение на узкие кольца. Такое разбиение позволяет вычислить характеристики, выражающиеся интегралами по сечению, а также построить поверхность равного ската для вычисления JTP. Решение уравнения Лапласа для вычисления JT достигается методом граничной коллокации, причем в качестве координатных функций берутся вещественные и мнимые части комплексной переменной $(x\pm iy)^n$ ($n=0, \pm1, \pm2,...$), граничные условия удовлетворяются в заданном ряде точек на контуре сечения.

1.3. Контур поперечного сечения может быть задан прямолинейными отрезками или дугами (или комбинацией дуг и отрезков). Способ задания определяется переменной:

$MODE=1$ — заданы (x, y) — точки, которые должны соединяться отрезками;

$MODE=2$ — заданы $(x, y, \pm r)$ — точки сопряжения дуг и радиусы, знак (+) у радиуса означает, что центр дуги радиуса лежит справа от дуги; $r=0$ соответствует прямолинейному отрезку; знак (—) — центр лежит слева от дуги;

$MODE=3$ — заданы $(x, y, \pm r, u, v)$ — точки сопряжения, радиусы и центры дуг; избыточность данных используется для контроля;

$MODE=4$ — заданы $(\pm r, u, v)$ — радиусы и центры дуг; для прямолинейного участка задается (0, 0, 0); при этом способе задания контура прямолинейный участок может быть только между двумя дугами и только касателен к ним;

N — число точек, задающих контур.

Контур задается с помощью массива $CONT$, состоящего из пар, троек или пятерок чисел (в зависимости от значения $MODE$). Начало перечисления точек произвольно, направление обхода контура по часовой стрелке; при задании координат ($MODE=1, 2, 3$) координаты (x, y) первой точки задаются дважды: в начале и конце массива $CONT$.

1.4. В расчете используются вспомогательные величины:

$NSBL$ — число сечений лопатки, задается в первом сечении, для тела и обода $NSBL=1$;

M — число точек, на которые в программе разбивается контур при построении эквидистантных полигонов ($N\ll M\leqslant400$);

NT — величина, определяющая расстояние H между эквидистантными полигонами ($H=P/NT$, P — периметр сечения; должно быть $NT\geqslant2M$);

$J1$ — число точек, на которые подразбивается контур в методе коллокаций, обычно $J1<M$;

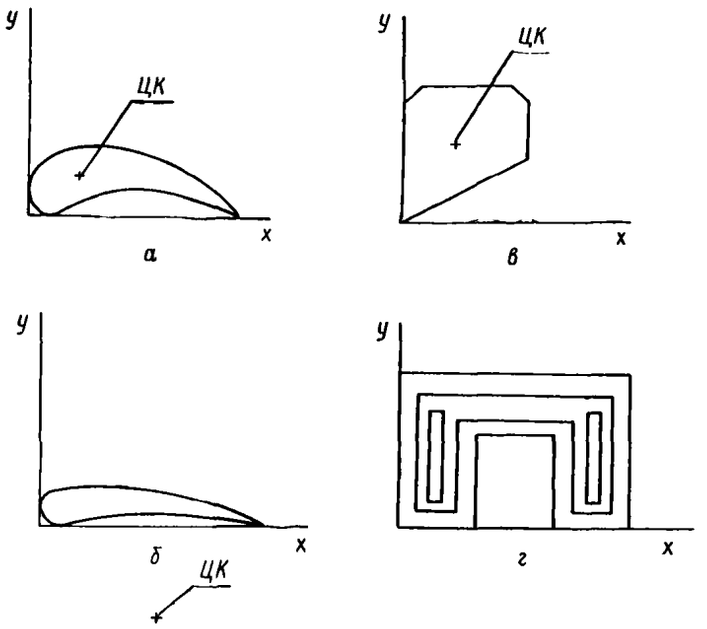
$M1$, $K1$ — число отрицательных и соответственно положительных степеней $(x\pm iy)^n$ в методе коллокаций;

XK, *YK* — начало координат для метода коллокаций (центр коллокации), м;
SCL — масштаб задания координат точек контура и центра коллокации;
R — величина, характеризующая точность расчета жесткости на кручение *JT*.

2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

2.1. Для правильной работы программы сечение должно быть таким, чтобы построенные вложенные полигоны не распадались на отдельные замкнутые части (черт. 1). Точки массива *CONT* выбираются таким образом, чтобы образованная из заданных дуг и отрезков линия аппроксимировала контур сечения. Не следует стремиться представить контур во всех подробностях: для сильно изрезанной границы метод коллокации не дает хороших результатов. Стороны заданной границы подразбиваются на более мелкие части. Величины *M* и *NT* определяют точность вычисления интегралов по сечению. Для обеспечения точности не более 1% достаточно $M=100$, $NT=200$.

Поперечные сечения стержней



а, б, в — допустимое; *г* — недопустимое

Черт. 1

2.2. Центр коллокации (ЦК) для несильно изогнутых сечений принимается вблизи центра масс сечения (см. черт. 1, *а*, *в*), для сечений лопаток, похожих на сегмент кольца (см. черт. 1, *б*), — вблизи центра этого кольца. В соответствии с этим назначаются величины *M1* и *K1*: в первом случае $M1=0$, $K1=8$, во втором $M1=K1=4$; если $M1\neq0$, то центр коллокации должен быть вне сечения.

Величина *R*, которая вычисляется в программе, дает представление о точности метода коллокации для заданного сечения. Если известна погрешность вычисления площади, то приближенно можно принять

$$\delta JT = SR + JT\frac{\delta S}{S},$$

где δS — погрешность вычисления площади сечения; δJT — погрешность вычисления жесткости кручения.

Обычно бывает достаточно взять $M=100$, $NT=200$, чтобы было $\delta S<1\%$; тогда $\delta JT=SR$. Если полученная точность не удовлетворяет, то можно попытаться увеличить *J1*, *M1*, *K1*, если и это не помогает, то необходимо уменьшить изрезанность контура сечения.

3. ЗАПИСЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПЕРФОРАЦИЯ

3.1. Исходные данные для расчета записываются на бланках, имеющих 80 позиций в одной строке. Содержимое каждой строки будет помещено на одну перфокарту.

Для ввода исходных данных используются следующие три группы данных:
карта с наименованием сечения;
блок именованного списка *&H*;
блок именованного списка *&POL*.

Содержимое блоков *&H*, *&POL* показано на черт. 2, для некоторых переменных в программе заданы начальные значения, эти переменные указаны с начальными значениями. Если при подготовке задания в блоке данных какая-то из таких переменных опущена, то для нее будет использовано указанное начальное значение.

Блоки именованных списков (namelist) в «Фортране» записываются по следующим правилам:

все карты должны начинаться с пробела;

начало блока обозначается пробитым со 2-й позиции текстом: ␣ & имя блока ␣;

Шаблон исходных данных для расчета геометрических характеристик сечений

```
                НАИМЕНОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ
&H M=200, K1=0, M1=0, J1=50, NT=400, XK=    , YK=    , &END
&POL BT=    , SCL=1  , MODE=1, NSBL=1, ZBL=0, N=    ,

CONT=X1, Y1, X2, Y2, ...                          |
...                                               | ЕСЛИ MODE=1
XN, YN, X1, Y1,    &END                           |

CONT=X1, Y1, ±R1, X2, Y2, ±R2, ...                |
...                                               | ЕСЛИ MODE=2
XN, YN, ±RN, X1, Y1,    &END                      |

CONT=X1, Y1, ±R1, U1, V1, X2, Y2, ±R2, U2, V2, ...  |
...                                                 | ЕСЛИ MODE=3
XN, YN, ±RN, UN, VN, X1, Y1,    &END                |

CONT=±R1, U1, V1,   ±R2, U2, V2, ...              |
...                                               | ЕСЛИ MODE=4
±RN, UN, VN,       &END                           |
```

Черт. 2

далее следует список переменных и массивов, которым присваиваются значения, разделенные запятыми и возможно пробелами; вслед за идентификатором и знаком «=» следует список значений, причем вещественные значения могут задаваться в любой форме, принятой в программах на «Фортране» (с десятичной точкой, с порядком, в виде целого числа);

заканчиваться блок должен символами *&END*.

(Предостережем от частой ошибки: пробелы в пределах чисел, т. е. между знаком «=» и ближайшей запятой, воспринимаются как нули, поэтому пробелы могут следовать за запятыми, но не должны предшествовать запятым, например $n=12$ ␣, будет воспринято как $n=120$.)

Данные для сечений элементов диафрагмы должны следовать в порядке: тело, обод, сечения лопаток от тела к ободу, причем указатель числа сечений *NSBL* должен быть задан в первом сечении лопатки.

Для тела и обода порядок задания *NSBL* и *ZBL* безразличен.

4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОС ЕС ЭВМ И ВЫДАЧА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

4.1. Для печати используется файл 6, на печать выдаются вводимые исходные данные и результаты расчета. Информация, необходимая для последующего расчета диафрагм, выводится в файл 8; можно использовать для файла 8:

печать;

перфокарты;

запись на ленту или диск.

Описание форматов файла 8 приведено в описании расчета диафрагмы (обязательное приложение 2).

Варианты расчета геометрических характеристик для различных диафрагм могут храниться как на картах, так и на диске. При хранении на диске варианты различаются именами, составленными из двух частей: префикса (*PREF*) и варианта (*VAR*); оба параметра можно изменять при обращении к процедуре, стандартные значения *PREF=SN321*, *VAR=1*, так что полное имя будет *SN3211*.

Следует избегать накопления на диске старых, ненужных вариантов, поэтому рекомендуется пользоваться ограниченным набором значений параметра *VAR*, т. е. записывать новые варианты под именем устаревших.

Задание для расчета геометрических характеристик использует процедуру *BTG* во входном потоке, текст процедуры приведен на черт. 3. Процедура состоит из двух шагов. На первом шаге производится удаление старого экземпляра заданного варианта файла 8; если старого экземпляра не было, то первый шаг все равно заканчивается благополучно. На втором шаге процедуры *BTG* выполняется программа расчета геометрических характеристик, выдающая результаты на печать и в заданный вариант файла 8.

Задание для расчета геометрических характеристик с выдачей в файл 8 на диск приведено на черт. 4, для выдачи результатов файла 8 на карты можно использовать задание, приведенное на черт. 5.

Процедура расчета геометрических характеристик

```
//BTG PROC PREF=BT,PROG=DG4,U=5061,V=PTOM01,VAR=1
//SCR EXEC PGM=IEF=R14
//OLDFILE DD DSN=&PREF&VAR,UNIT=&U,VOL=SER=&V,DISP=(OLD,DELETE)
//GO EXEC PGM=&PREF&PROG,REGION=100K
//FT05F001 DD DDNAME=SYSIN
//FT06F001 DD SYSOUT=A,DCB=(RECFM=VBA,LRECL=133,BLKSIZE=3520)
//FT08F001 DD DSN=&PREF&VAR,UNIT=&U,VOL=SER=&V,DISP=(NEW,KEEP),
// SPACE=1800,(8,8),RLSE),DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=8000)
// PEND
```

Черт. 3

Задание для расчета геометрических характеристик с выдачей результатов на диск

```
//SN321BTG JOB
  ---------------  ---------
  | КАРТЫ ПРОЦЕДУРЫ BTG  |
  |                      |
  ------------------------
//G1 EXEC BTG,VAR=2
//GO.SYSIN DD *
  ----------------------
  |   ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ  |
  |                    |
  ---------------  -----
//
```

Черт. 4

Задание для расчета геометрических характеристик с выдачей результатов на карты

```
//SN321 BTG JOB
  ----------------------------
  |    КАРТЫ ПРОЦЕДУРЫ BTG   |
  |                          |
  ----------------------------
//G1 EXEC BTG
//GO.FT08F001 DD SYSOUT=B,DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=8000)
//GO.SYSIN DD *
  ------------------------
  |    ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ   |
  |                      |
  ------------------------
//
```

Черт. 5

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

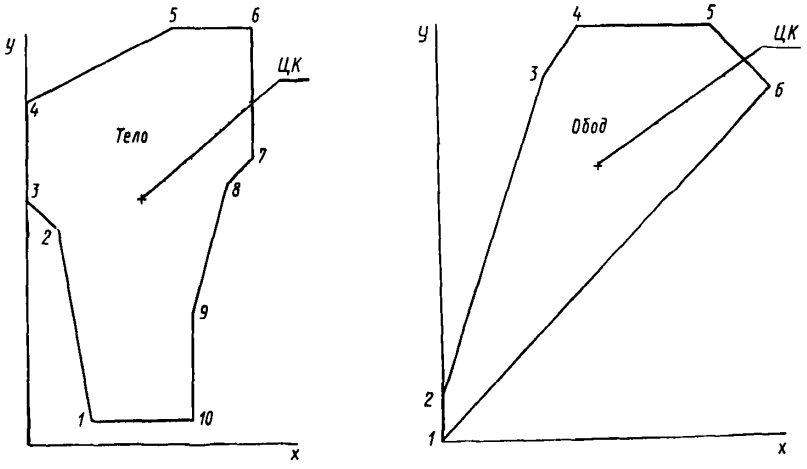
Справочное

ПРИМЕР УПРУГОГО ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ДИАФРАГМЫ

1. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ ДИАФРАГМЫ

1.1. Поперечные сечения тела, обода и лопаток представлены на черт. 1, 2, 3.

Поперечные сечения тела и обода



Черт. 1

Начало координат метода коллокаций для тела и обода принимается вблизи центра масс их сечений, для лопаток — вне сечения (во втором квадранте). Исходные данные представлены на черт. 4, а результаты — на черт. 5, 6.

2. РАСЧЕТ ДИАФРАГМЫ

2.1. Основные размеры диафрагмы:

$RY=0{,}445$ м; $R0=0{,}455$ м; $R1=0{,}7235$ м;

$R2=1{,}1365$ м; $R3=1{,}3825$ м; $R4=1{,}400$ м.

Число лопаток в полукольце диафрагмы $XK=27$.

Перепад давления на диафрагме 0,0185 МПа. Поперечное (к направлению потока) усилие от потока пара в данном примере не учитываем. Таким образом, равномерно распределенная нагрузка на единицу площади тела, обода и лопаток

$$\Theta=0{,}0185 \text{ МПа}, \ \Theta X=0{,}0185 \text{ МПа}.$$

Модули упругости для тела и обода

$$E=1{,}06\cdot 10^5 \text{ МПа};$$

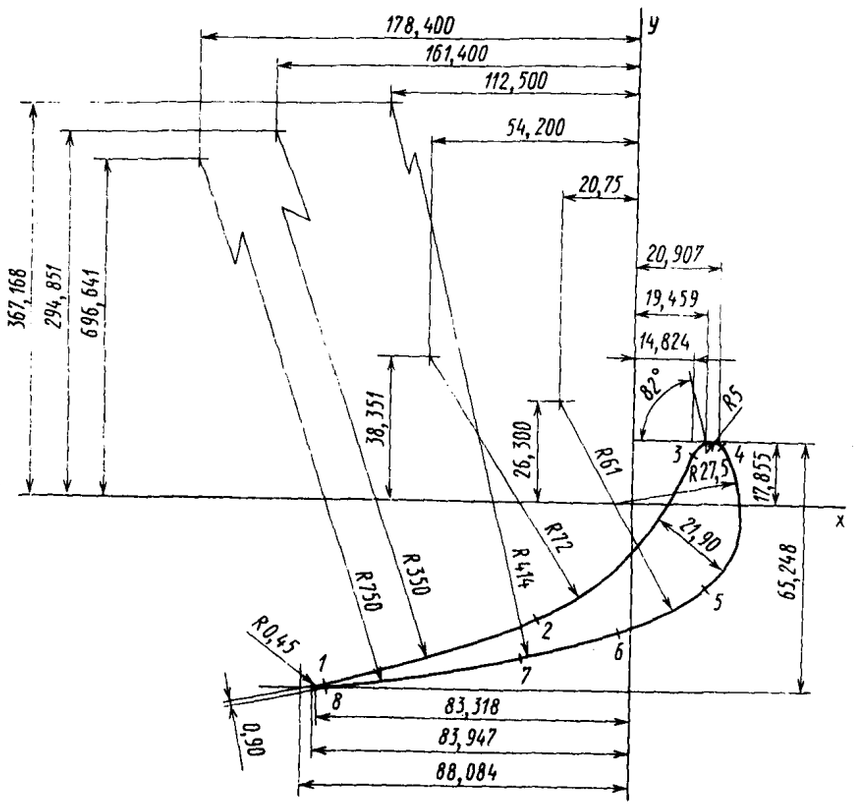
для лопаток

$$E=2{,}16\cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Коэффициент Пуассона $\nu=0{,}3$.

Корневое сечение лопатки

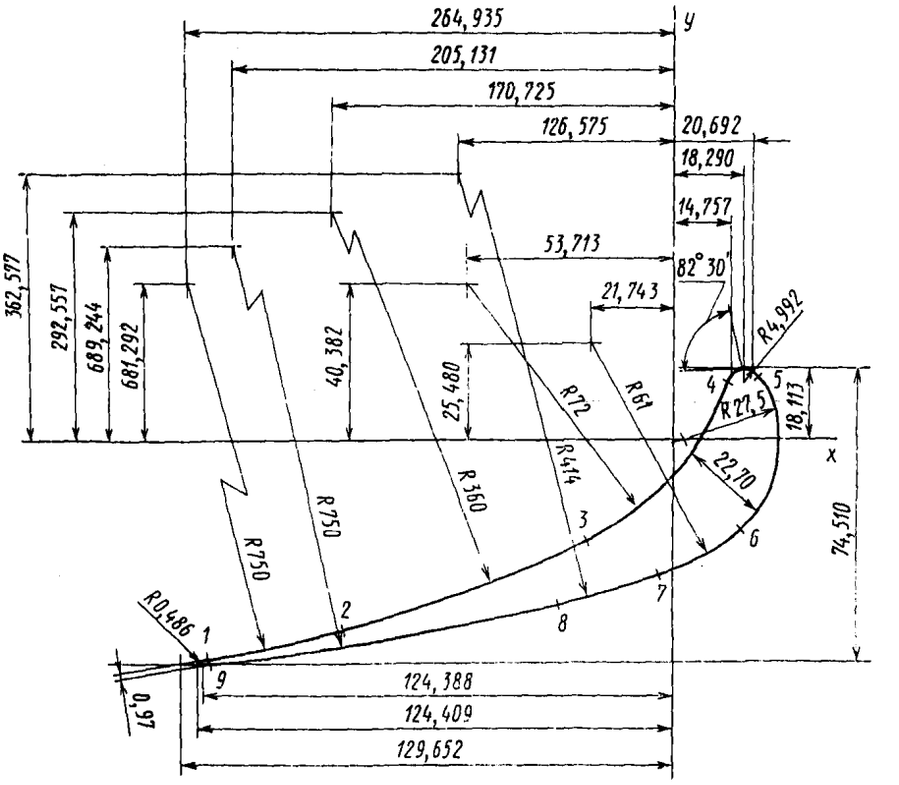
Номер участка	x	y
1	—84,046	—46,528
2	—26,436	—28,081
3	13,741	14,520
4	22,561	15,724
5	17,034	—21,590
6	—4,895	—32,603
7	—31,302	—38,790
8	—83,890	—47,380



Черт. 2

Периферийное сечение лопатки

Номер участка	x	y
1	—124,500	—55,433
2	—82,247	—47,586
3	—23,408	—24,929
4	13,621	14,888
5	—22,346	16,031
6	—17,854	—20,916
7	—3,635	—32,772
8	—29,783	—39,923
9	—124,357	—56,394



Черт. 3

Исходные данные для расчета геометрических характеристик сечений элементов диафрагмы

```
          ТЕЛО
&H      M=100,K1=8,J1=100,NT=200,
          XK= 4.5,YK=7.5,              &END
&POL  BT=90,SCL=50,N=8,CONT=3,0.25, 3,3.7, 0.55,13.4, 3.7,13.4,
      8.05,10.7, 8.05,8.15,
       7.1,6.7, 6,0.25, 3,0.25,  &END
          ОБОД
&H      M=100,K1=8,J1=100,NT=200,
          XK= 6.,YK= 11.4,             &END
&POL  BT=90,SCL=50,N=9,CONT=9.3,0, 5,5.8, 0.1,9.8, 0.1,10.3,
        2.1,13.2, 6.5, 3.2, 7.5,11.4, 11,1.2,
        11,0, 9.3,0,      &END
        СЕЧЕНИЕ Б-Б ЛОПАТКИ
&H    M=100,K1=4,M1=4,J1=100,NT=200,XK=-6,YK=4, &END
&POL  BT=0,     MODE=3,NSBL=2,ZBL=0,N=8,SCL=100,
 CONT=-8,405,-4.653,-35,-16,14,29.49,-2.644,-2.81,-7.2,-5.42,3.835,
1.374,1.452,.5,1,846,1.286,2.256,1.572, 2.75,0,0,
1.703,-2.159,6.1,-2.075,2.63,-.49,-3.26, 41.4,-11.25,36.717,
-3.13,-3.879,75,-17.84,69.664,-8.385,-4.693,.045,-8.332,-4.694,
-8.405,-4.653, &END
        СЕЧЕНИЕ Ж-Ж ЛОПАТКИ
&H   M=100,K1=4,M1=4,J1=100,NT=200,XK=-9.     YK=8,         &END
*
*
*
*
*
 &POL BT=0,     ZBL=41.3,MODE=3,N=9,SCL=100,
 CONT=-12,45,-5.543,-75,-26.499,68.13,-8.825,-4.759,-35,-17.073,29.26,
 -2.341,-2.493,-7.2,-5.371,4,038,1.362,1.489,.499,1.829,1.312,
 2.233,1.603,2.75,0,0, 1.785,-2.092,6.1,-2.175,2.548,
 -.364,-3.277,41.4,-12.658,36.258, -2.978,-3.992,75,-20.513,681924,
 -12.436,-5.639,.0486,-12.439,-5.591,-12.45,-5.543,        &END
```

Черт. 4

Результаты расчета геометрических характеристик сечений тела и обода диафрагмы

```
          ТЕЛО
&H
H=        100,M1=          0,K1=          8,J1=        100,NT=        200,IN=          0,XK=  4.5000000    ,YK=  7.5000000
&END
&POLS
MODE=          1,NCONT=         18,N=          8,SCL= 0.50000000    ,BT=  90.000000    ,NSBL=          1,ZBL= 0.0
&END
CONT=
      3.0000000          0.25000000          3.0000000          3.6999998          0.54999995
      13.400000           3.6999998          13.400000          8.0499992           10.700000
      8.0499992           8.1499996          7.0999994          6.6999998           6.0000000
     0.25000000           3.0000000         0.25000000
   0.93939
&GH
XC=  8.9960747    ,YC=  15.001132    ,SCLC=  1.0000000    ,BYC=  11.798642    ,SBL=  243.16231    ,JX=  11846.371    ,JY=
  2564.1777    ,JXY=  1081.9421    ,JT=  6001.9922    ,JTP=  514.32031    ,JXP00=  659.04346    ,JXP25=  904.87964    ,JXP50=
  1263.3560    ,JXP75=  1788.9617    ,JXP100=  2564.1765
&END
          ОБОД
&H
H=        100,M1=          0,K1=          8,J1=        100,NT=        200,IN=          0,XK=  6.0000000    ,YK=  11.400000
&END
&POLS
MODE=          1,NCONT=         20,N=          9,SCL= 0.50000000    ,BT=  90.000000    ,NSBL=          1,ZBL= 0.0
&END
CONT=
      9.2999992          0.0                 5.0000000          5.7999992          0.99999964E-01
      9.7999992          0.99999964E-01      10.299999          2.0999994           13.200000
      6.5000000           13.200000          7.5000000          11.400000           11.000000
      1.1999998           11.000000         0.0                 9.2999992          0.0
   0.57049
&GH
XC=  11.826068    ,YC=  15.536936    ,SCLC=  1.0000000    ,BYC=  10.862890    ,SBL=  255.98167    ,JX=  11750.684    ,JY=
  6613.2266    ,JXY=  6371.4727    ,JT=  6077.3047    ,JTP=  531.60034    ,JXP00=  1091.0010    ,JXP25=  1675.8918    ,JXP50=
  2615.5730    ,JXP75=  4136.0781    ,JXP100=  6613.2227
&END
```

Черт 5

Результаты расчета геометрических характеристик сечений лопатки

```
        СЕЧЕНИЕ Б-Б ЛОПАТКИ
&H
M=        100,M1=          4,K1=          4,J1=          100,NT=        200,IN=          0,XK= -6.0000000    ,YK=  4.0000000
&END
&POLS
MODE=          3,NCONT=         42,N=          8,SCL=  1.0000000    ,BT= 0.0          ,NSBL=          2,ZBL= 0.0
&END
CONT=
      -8.4049997          -4.6529999          -35.000000          -16.139999          29.489990
      -2.6439991          -2.8099995          -7.1999998          -5.4199991          3.8349991
       1.3739996           1.4519997          0.50000000           1.8459997          1.2859993
       2.2559996           1.5719995           2.7500000          0.0                 0.0
       1.7029991          -2.1589994           6.0999994          -2.0749998          2.6299992
     -0.48999995          -3.2599993           41.399994          -11.250000          36.716995
      -3.1299992          -3.8789997           75.000000          -17.839994          69.663986
      -8.3849993          -4.6929998          0.44999998E-01      -8.3319996         -4.6939993
      -8.4049997          -4.6529999
    0.00704
&GH
XC=-0.31568819    ,YC= -1.7392998    ,SCLC=  1.0000000    ,BYC=  3.5209570    ,SBL=  14.391442    ,JX=  82.464783    ,JY=
  35.282730    ,JXY=  45.357285    ,JT=  11.820742    ,JTP=  5.2688484    ,JXP00=  19.044693    ,JXP25=  21.767014    ,JXP50=
  25.261658    ,JXP75=  29.693344    ,JXP100=  35.282730
&END
        СЕЧЕНИЕ Ж-Ж ЛОПАТКИ
&H
M=        100,M1=          4,K1=          4,J1=          100,NT=        200,IN=          0,XK= -9.0000000    ,YK=  8.0000000
&END
&POLS
MODE=          3,NCONT=         47,N=          9,SCL=  1.0000000    ,BT= 0.0          ,NSBL=          1,ZBL=  41.299988
&END
CONT=
      -12.450000          -5.5429993          -75.000000          -26.498993          68.129990
      -8.8249998          -4.7589998          -35.000000          -17.072998          29.259995
      -2.3409996          -2.4929991          -7.1999998          -5.3709993          4.0379992
       1.3619995           1.4889994          0.49899995           1.8289995          1.3119993
       2.2349997           1.6029997           2.7500000          0.0                 0.0
       1.7849998          -2.0919991           6.0999994          -2.1749992          2.5479994
     -0.36399996          -3.2769995           41.399994          -12.658000          36.257996
      -2.9779997          -3.9919996           75.000000          -20.512905          68.923996
      -12.436000          -5.6389999          0.48599999E-01      -12.438999         -5.5909996
      -12.450000          -5.5429993
    0.01106
&GH
XC= -1.4281626    ,YC= -2.2066174    ,SCLC=  1.0000000    ,BYC=  4.0054302    ,SBL=  17.966614    ,JX=  211.02345    ,JY=
  56.034958    ,JXY=  94.940048    ,JT=  14.630827    ,JTP=  6.3699150    ,JXP00=  26.594940    ,JXP25=  31.357315    ,JXP50=
  37.570602    ,JXP75=  45.622543    ,JXP100=  56.034958
&END
```

Черт. 6

Температура элементов диафрагмы одинакова, поэтому можно принять $T=0$; коэффициент линейного расширения произвольный.

Число разбиений 1/2 полукольца диафрагмы выбираем $NS=50$. Считаем лопатки установленными в радиальном направлении $PSI=0$, диафрагма закреплена от сдвига в точке $\varphi=0$ ($I0=0$).

Заказываем режим выдачи напряжений и прогибов в точках $\varphi=\pm 88°$. Запись исходных данных в разделе библиотеки представлена на черт. 7.

Исходные данные для упругого расчета диафрагмы

```
          ДИАФРАГМА
 &NR RY=44.5Ø,RØ=45.5Ø,R1=72.35,R2=113.65,R3=138.25,R4=14Ø.ØØ,
 XK=27, B=Ø.19Ø, NS=25, &END
 &RSL RES=F,F,T,F, NF1=2,F11=-88,88,  &END
*
 &FBL NB=2,ZF=Ø.41.3, QX=Ø.19,       &END
 &EDT EY=2*2.21E6,.985E6,  EM=3*Ø.3;                    &END
   ЛИНИЯ ОТРЕЗА
```

Черт. 7

Информация о геометрических характеристиках сечений берется с диска из файла 8, полученного в результате предварительного расчета (раздел 1 настоящего приложения).

2.2. Распечатка результатов расчета представлена на черт. 8, 9, 10, откуда, в частности, видно, что максимальный прогиб $w=0{,}9\cdot 10^{-3}$ м (0,9 мм) имеет место на краю $\varphi=90°$ диафрагмы.

Максимальные напряжения растягивающие (+), сжимающие (—): в теле (+11) и (—9) МПа, в ободе (+17) и (—11) МПа, в лопатках (+72) и (—60) МПа, причем максимальные растягивающие напряжения имеют место в лопатках у обода, а максимальные сжимающие — в лопатках у тела при $\varphi=-90°$, эти максимумы достигаются вблизи входной кромки лопатки, в точках 18 и 19.

Напряжения при $\varphi=\pm 88°$ меньше максимальных.

Результаты упругого расчета диафрагмы

```
          ДИАФРАГМА
&NR
NS=          25,PSI= 0,0          ,10=          0,NOC=          0,INREG=          0,RY=  44,500000     ,R0=  45,500000     ,R1=
  72.349991     ,R2=  113.64999     ,R3=  138.25000     ,R4=  140.00000     ,XK=  27,000000     ,Q= 0.19000000     ,P= 0.0
&END
NS= 25   PSI=  0,0  10= 0NOO=0
      RY              R0              R1              R2              R3              R4
    44,500000       45,500000       72.349991       113.64999       138.25000       140.00000
      XK              Q               P
    27,000000       0,19000000      0,0
&RSL
RES=F,F,T,F;NFI=          2,FI]= -88,000000     ,  88.000000     ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
 0,0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0.0          ,  0.0          ,  0,0          ,  0,0          ,  0,0
&END
РЕЖИМЫ ВЫДАЧИ РЕЗУЛЬТАТОВ=FFTF    NFI= 2
FII=
      -88,000000          88,000000
N          X                FX              FY              KZ
 2
       0,0                1,5994768       0,0             0,0
        41,299988         2,5125160       0,0             0,0
                           E               NU              DLT                T
ТЕЛО                      2210000,0       0,29999995      0,99999997E-05     0,0
ОБОД                      2210000,0       0,29999995      0,99999997E-05     0,0
ЛОПАТКИ                   985000,00       0,29999995      0,99999997E-05     0,0
          ТЕЛО 1
NSBL=1BT=  90,0     SCL= 0,500
КОНТУР: NCONT= 18 CONF=
 3,00      0.250      3.00      3,70      0,550      13,4      3,70      13.4
 8,05       10,7      8,05      8,15       7.10      6.70      6.00      0.250
 3,00      0.250
 43
  6.0000     0,50000     6,0000     2.2250     6,0000     5,9500     6.0000     5,6750     6,0000     7.4000
  5.5917      9,0167     5,1833     10,633     4,7750     12,250     6,3667     13,867     3,9583     15.483
  3.5500     17,100      3,1417     18,717     2,7333     20,333     2,3250     21,950     1,9167     23.567
  1.5083     25,183      1,1000     26,800     2,6750     26,800     4,2500     26,800     5,8250     26,800
  7.4000     26,800      8,8500     25,900     10,300     25,000     11,750     24,100     13,200     23.200
  14,650     22,300      16,100     21,400     16,100     19,700     16,100     18,000     16,100     16,300
  15,150     14,850      14,200     13,400     13,925     11,787     13,650     10,175     13,375     8.5623
  13,100      6,9498     12,825      5,3373    12,550      3,7248     12.275     2,1123     12,000     0.49982
  10.500     0.49982     9,0000     0,49982    7,5000     0.49982
&GH
XC=  8,9960747     ,YC=  15.001131     ,SCLC=  1,0000000     ,BYC=  11.798641     ,ZBL= 0,0          ,SBL=  243.16231     ,JX=
  11846.367     ,JY=  2564,1775     ,JXY=  1081,9419     ,JT=  6081,9922     ,JTP=  514.32087     ,JXP= 0.61485753E-53,JXP90=
  659,04346     ,JXP25=  904.87964     ,JXP50=  1263,3560     ,JXP75=  1768,9617     ,JXP100=  2564,1763
&END
```

Результаты упругого расчета диафрагмы

```
        ОБОД
NSBL=1BT=  90.0      SCL= 0,500
KOHTYP; NCONT= 20 CONT=
 9.30      0.0        5.00       5.80      0.100E 00  9.00      8.100E 00  10.3
 2.10      13.2       6.50       13.2       7.50      11.4       11.0       1.20
 11.0      0.0        9.30       0.0
 44
  18.630      0.0          17.525      1.4500      16.450      2.9000      15.375      4.3500      14.300      5.8000
  13.225      7.2500       12.150      8.7000      11.075      10.150      10.000      11.600      8.6000      12.743
  7.2000      13.886       5.0000      15.029      4.4000      16.171      5.0000      17.314      1.6000      18.457
 0.19998      19.600      0.19998      20.600      1.2000      22.050      2.2000      23.500      3.2000      24.950
  4.2000      26.400       5.9600      26.400      7.7200      26.400      9.4800      26.400      11.240      26.400
  13.000      26.400       13.667      25.200      14.333      24.000      15.000      22.800      15.583      21.100
  16.167      19.400       16.750      17.700      17.333      16.000      17.917      14.300      18.500      12.600
  19.083      10.900       19.667      9.1999      20.250      7.4999      20.833      5.7999      21.417      4.0999
  22.000      2.3999       22.000      1.1999      22.000     -0.10395E-03 20.300     -0.10395E-03
&GH
XC=  11.826068     ,YC=  15.536936     ,SCLC=  1.0000000     ,BYC=  10.862889     ,ZBL= 0.0          ,SBL=  255.98166     ,JX=
  1175.684     ,JY=  6613.2266     ,JXY=  6371.4727     ,JT=  6877.3047     ,JTP=  531.60010     ,JXP= 0.61405755E-53,JXP00=
  1091.0010    ,JXP25=  1675.8916     ,JXP50=  2615.5730     ,JXP75=  4136.0742     ,JXP100=  6613.2227
&END
        СЕЧЕНИЕ Б-Б ЛОПАТКИ
NSBL=2BT= 0.0        SCL=  1.00
KOHTYP; NCONT= 42 CONT=
-8.40      -4.65      -35.0      -16.1       29.5      -2.64      -2.81      -7.20
-5.42       3.83       1.37       1.45       .500       1.85       1.20       2.26
 1.57       2.75       0.0        0.0        1.70      -2.16       6.10      -2.27
 2.63     -0.490      -3.26       41.4      -11.3       36.7      -3.13      -3.88
 75.0      -17.8       69.7      -8.38      -4.69      0.450E-01  -8.53      -4.69
-8.40      -4.65
 42
 -8.4050     -4.6510     -7.6686     -4.4775     -6.9362     -4.2862     -6.2080     -4.0790     -5.4846     -3.8562
 -4.7661     -3.6177     -4.0529     -3.3638     -3.3455     -3.0945     -2.6439     -2.8100     -1.9648     -2.4833
 -1.3234     -2.0874     -0.72701    -1.6266     -0.18201    -1.1061     0.30559     -0.53134    0.73044     0.91198E-01
  1.0879      0.75473     1.3740      1.4520      1.6055      1.7248      1.9600      1.7730      2.2560      1.5720
  2.5766      0.96003     2.7346      0.28747     2.7199     -0.40324     2.5336     -1.0685      2.1873     -1.6663
  1.7030     -2.1590      1.1995     -2.5163      0.66244    -2.8209      0.97350E-01 -5.0696     -0.48999    -5.2600
 -1.1468     -3.4309     -1.8048     -3.5911     -2.4662     -3.7404     -3.1298     -3.8790     -3.8769     -4.0181
 -4.5253     -4.1496     -5.3749     -4.2735     -6.1258     -4.3898     -6.8778     -4.4985     -7.6308     -4.5995
 -8.3849     -4.6910     -8.4003     -4.6757
&GH
XC=-0.31568813     ,YC= -1.7392998     ,SCLC=  1.0000000     ,BYC=  3.5209570     ,ZBL= 0.0          ,SBL=  14.391441     ,JX=
  82.464783     ,JY=  35.280715     ,JXY=  45.357285     ,JT=  11.820742     ,JTP=  5.2688475     ,JXP= 0.61405755E-53,JXP00=
  19.044693     ,JXP25=  21.767014     ,JXP50=  25.261658     ,JXP75=  29.693329     ,JXP100=  35.282715
&END
        СЕЧЕНИЕ Ж-Ж ЛОПАТКИ
NSBL=1BT= 0.0        SCL=  1.00
KOHTYP; NCONT= 47 CONT=
-12.4      -5.54      -95.0      -26.5       68.1      -8.82      -4.76      -35.0
-17.1       29.3      -2.34      -2.49      -7.20      -5.37       4.04       1.36
 1.49       0.499      1.83       1.31       2.23       1.60       2.75       0.0
 0.0        1.78      -2.09       6.10      -2.17       2.55      -0.364      -3.28
 41.4      -12.7       36.3      -2.98      -3.99       75.0      -20.5       68.9
-12.4      -5.64      0.1486E-01 -12.4      -5.59      -12.4      -5.54
&GH
XC= -1.4281626     ,YC= -2.2866174     ,SCLC=  1.0000000     ,BYC=  4.0054293     ,ZBL=  41.299988     ,SBL=  17.966614     ,JX=
  211.02344     ,JY=  55.034958     ,JXY=  94.940033     ,JT=  14.650827     ,JTP=  6.3699141     ,JXP= 0.61405755E-53,JXP00=
  26.594925     ,JXP25=  31.337300     ,JXP50=  37.570587     ,JXP75=  45.622528     ,JXP100=  56.034958
&END
```

Черт. 9

Результаты упругого расчета диафрагмы

МАКСИМАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

	В ТЕЛЕ		В ОБОДЕ		В ЛОПАТКАХ У ТЕЛА		В ЛОПАТКАХ У ОБОДА		
	+	-	+	-	+	-	+	-	
FI	3.600	-25.200	50.400	75.600	-90.000	-90.000	-90.000	-79.200	FI
ALFA	27.000	1.000	41.000	16.000	28.000	18.000	19.000	27.000	ALFA
SIGMA	91.041	-65.104	84.062	-117.17	373.67	-459.97	570.91	-284.25	SIGMA

МАКСИМАЛЬНЫЕ ПРОГИБЫ

	WY	W0	W1	W2
FI	-90.000	-90.000	-90.000	90.000
W	0.1054	0.1052	0.0981	0.0193

FI= -88.000

WY	0.1045		W0	0.1043		W1	0.9671E-01		W2	0.1822E-01						
AS11	258.3	AS21	42.01	AS31	42.01	AS41	258.3	AS_{12}	293.6	AS22	66.39	AS32	307.8	AS42	160.7	
AN11	1.000	AN21	27.00	AN31	27.00	AN41	1.000	AN_{12}	1.000	AN22	29.00	AN32	41.00	AN42	16.00	
SZ11	-1.292	SZ21	0.8423	SZ31	0.8423	SZ41	-1.292	SZ_{12}	-7.235	SZ22	33.70	SZ32	15.10	SZ42	-45.06	
AS13	199.8	AS23	312.1	AS33	33.60	AS43	60.99	AS_{14}	197.0	AS24	52.65	AS34	24.26	AS44	337.1	
AN13	1.000	AN23	28.00	AN33	22.00	AN43	18.00	AN_{14}	43.00	AN24	19.00	AN34	23.00	AN44	27.00	
SZ13	-109.3	SZ23	357.8	SZ33	-70.39	SZ43	-459.7	SZ_{14}	349.6	SZ24	556.7	SZ34	45.17	SZ44	-271.7	

FI= 88.000

WY	0.9766E-01		W0	0.9726E-01		W1	0.8658E-01		W2	0.1859E-01						
AS11	258.3	AS21	258.3	AS31	42.01	AS41	97.70	AS_{12}	293.6	AS22	66.39	AS32	307.8	AS42	160.7	
AN11	1.000	AN21	1.000	AN31	27.00	AN41	21.00	AN_{12}	1.000	AN22	29.00	AN32	41.00	AN42	16.00	
SZ11	1.888	SZ21	1.888	SZ31	-0.5739	SZ41	-1.015	SZ_{12}	-4.481	SZ22	32.37	SZ32	17.81	SZ42	-47.11	
AS13	199.8	AS23	243.9	AS33	33.60	AS43	60.99	AS_{14}	197.0	AS24	52.65	AS34	24.26	AS44	314.8	
AN13	1.000	AN23	31.00	AN33	22.00	AN43	18.00	AN_{14}	43.00	AN24	19.00	AN34	23.00	AN44	28.00	
SZ13	154.3	SZ23	245.5	SZ33	+128.7	SZ43	-367.5	SZ_{14}	77.81	SZ24	526.4	SZ34	116.6	SZ44	-203.4	

Черт. 10

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

ПРИМЕР ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ПОЛЗУЧЕСТИ

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1.1. Основные размеры диафрагмы:

$RY=0{,}367$ м; $R0=0{,}383$ м; $A1=0{,}47$ м; $R1=0{,}551$ м; $R2=0{,}653$ м; $A2=0{,}686$ м; $R3=0{,}696$ м.

Число лопаток в половине диафрагмы $XNL=19$. Считаем, что крайняя лопатка занимает угол $\pi/19=0{,}165$ рад. Перепад давления $\Theta=0{,}58$ МПа.

1.2. Тело и обод диафрагмы выполнены из стали марки 12Х1МФ, лопатки — из стали марки 15Х11МФ.

Температура диафрагмы 520°С.

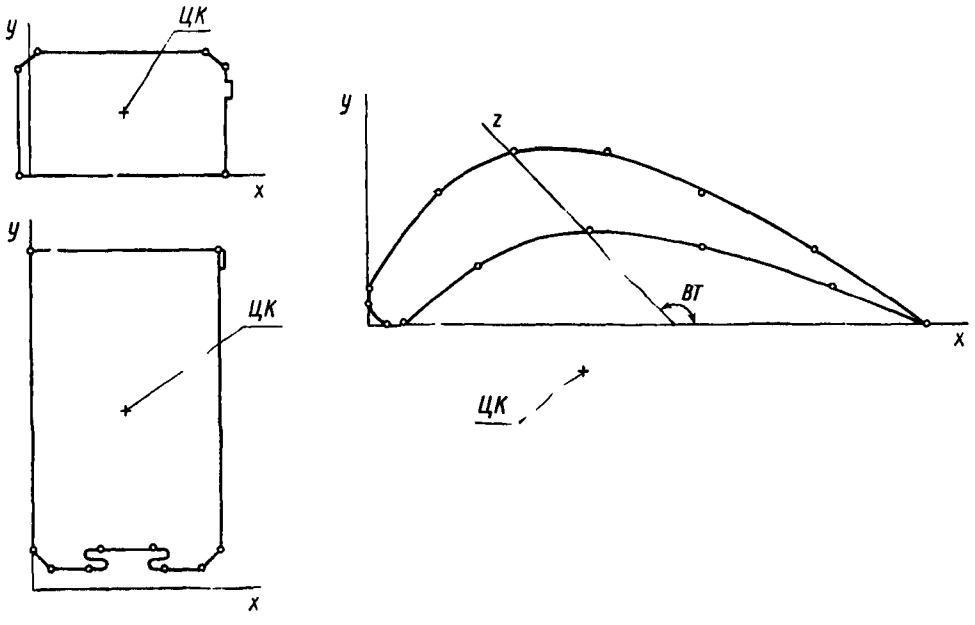
Физические характеристики этих сталей при $t=520$°С приведены в таблице.

Сталь	E, МПа	m	Ω_1
12Х1МФ	$1{,}77\cdot10^5$	1,2	$0{,}79\cdot10^{-5}$
15Х11МФ	$1{,}84\cdot10^5$	1,5	$0{,}235\cdot10^{-5}$

Примечание. Показатель ползучести m и коэффициент ползучести Ω_1 рассчитаны по теории старения на 100 тыс. ч.

1.3. Поперечные сечения элементов диафрагм приведены на черт. 1, по ним составлены исходные данные для расчета геометрических характеристик (черт. 2).

Поперечные сечения тела, обода и лопатки



Черт. 1

Результаты расчета геометрических характеристик сечений привсдены на черт. 3. Выбирая из этого расчета необходимые величины (на черт. 3, 4 они подчеркнуты), формируем данные для расчета ползучести (см. черт. 4).

Исходные данные для расчета геометрических характеристик

```
          ТЕЛО
&H      M=100,K1=8,J1=100,NT=200,
          XK= 2.5,YK=4.7,              &END
&POL  BT=90,SCL=0.5,N=10,CONT=0.1, 0.9, 5.9, 5.1, 4.5,.5, 3.5,.5,
      3.2,1, 1.8,1, 1.5,.5, .5,.5, 0.1, &END
          ОБОД
&H      M=100,K1=8,J1=100,NT=200,
          XK=2.5,YK= 1.6,              &END
&POL  BT=90,SCL=0.5,N=6,CONT=-,3,0, -,3,2,8, .2,3,3, 4.7,3.3,
      5.2,2.9, 5.2,0, -,3,0, &END
          СЕЧЕНИЕ ЛОПАТКИ
&H    M=100,K1=4,M1=4,J1=100,NT=200,XK=7, YK=-2,&END
&POL  BT=136,NSBL=1,ZBL=0,N=14,
 CONT= 0,.5, 0,1, 2,3.5, 4,4.6, 6,5,4.5, 9,3.5, 12,2, 15,0,
    12.5,1, 10,2, 6,2.5, 3,1.5, 1,0, .5,0, 0,.5,  &END
```

Черт. 2

1.4. Результаты расчета ползучести приведены на черт. 5. По сравнению с полной распечаткой здесь опущены промежуточные приближения.

1.5. В результате расчета получаем остаточный прогиб за 100 тыс. ч $W0=0{,}36$ см. Напряжения имеют следующие значения:

$SM1=-46$ МПа; $SM2=-38$ МПа; $SMI=-118$ МПа; $SM0=103$ МПа; $SMIS=-123$ МПа; $SMOS=107$ МПа.

Характеристики точности:

$$RA=-0{,}29\%; \qquad RB=-0{,}02\%.$$

Исходные данные для расчета ползучести

```
                РАСЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ ДИАФРАГМЫ
36,7            38.3            47,             55,1            65,3            68.6            69.6
19,             ,165            Ø,3             5.7
164,1           1369,           3384,           5.              1,2             ,5      E-6
7Ø,5            69Ø,            644,2           5.2             1,2             ,5      E-6
23,Ø            149,            26,2            5.5             4,5             1.5             Ø,74    E-7
Ø
Ø
1
Ø,              Ø.25            Ø,5             Ø.75            1.
41Ø,            546,            735,            999,            1369.
19Ø,            258,            355,            493,            69Ø.
49.             64.             83.             111.            149.
322.3           92.9            9,94
Ø
1       1Ø              2Ø              3Ø              4Ø              5Ø              6Ø              7Ø
```

Черт. 4

Результаты расчета ползучести

```
          РАСЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ ДИАФРАГМЫ
   RY          RØ          A1          R1          R2          A2          R3
 36.7ØØ      38.3Øø      47.ØØØ      53.1ØØ      65,3ØØ      68,6ØØ      69.6ØØ
   XNL         DFI         QS          Q           P
 19.Øøø      Ø.165       Ø.3ØØ       3,7ØØ       Ø.Ø
   S1          AB1         CT1         XM1         KP1         SP1
164.1ØØ1369.ØØØ3384.ØØØ      3.ØØØ       1,2ØØØ.5ØØØØE+Ø4
   S2          AB2         CT2         XM2         KP2         SP2
 7Ø.5ØØ  69Ø.ØØØ  644.2ØØ       3,2ØØ       1,2ØØØ.5ØØØØE+Ø6
   SL          ABL         CTL         XML         XL2         KPL         SPL
 23.ØØØ  149.ØØØ  26.2ØØ       3.5ØØ       4,5ØØ       1.5ØØØ.74ØØØE-Ø7

EL=Ø
IPR=Ø
NH=1
IZØ
     Ø,Ø             Ø,25ØØØE ØØ     Ø,5ØØØØE ØØ     Ø,75ØØØE ØØ     Ø,1ØØØØE Ø1
IZ1
     Ø,41ØØØE Ø3     Ø,546ØØE Ø3     Ø,735ØØE Ø3     Ø,999ØØE Ø3     Ø,1369ØE Ø4
IZ2
     Ø,19ØØØE Ø3     Ø,258ØØE Ø3     Ø,355ØØE Ø3     Ø,493ØØE Ø3     Ø,69ØØØE Ø3
IZL
     Ø,49ØØØE Ø2     Ø,64ØØØE Ø2     Ø,83ØØØE Ø2     Ø,111ØØE Ø3     Ø,149ØØE Ø3
       CP1             CP2             CPL
     Ø,3223ØE Ø3     Ø,929ØØE Ø2     Ø,994ØØE Ø1
VL=Ø
XNC1=1,2Ø XNC2=1,2Ø XNCL=1,5Ø
R=1,ØØ
SM1=-Ø,4399Ø5Ø3E Ø3          SM2=-Ø,35955Ø78E Ø3
NBL=  1FIR=Ø.83Ø2E-Ø1   SM1=-.3154E Ø3   SMO=Ø,2759E Ø3   SM1S=-.3287E Ø3   SMOS=Ø,2875E Ø3
NBL=  2FIR=Ø.2484E ØØ   SM1=-.3Ø99E Ø3   SMO=Ø,2711E Ø3   SM1S=-.323ØE Ø3   SMOS=Ø,2825E Ø3
NBL=  3FIR=Ø.4137E ØØ   SM1=-.2922E Ø3   SMO=Ø,2557E Ø3   SM1S=-.3Ø45E Ø3   SMOS=-,2664E Ø3
NBL=  4FIR=Ø.579ØE ØØ   SM1=-.2584E Ø3   SMO=Ø,226ØE Ø3   SM1S=-.2692E Ø3   SMOS=Ø,2355E Ø3
NBL=  5FIR=Ø.7444E ØØ   SM1=-.2Ø19E Ø3   SMO=Ø,1767E Ø3   SM1S=-.2104E Ø3   SMOS=Ø,1841E Ø3
NBL=  6FIR=Ø.9Ø98E ØØ   SM1=-.1138E Ø3   SMO=Ø,9955E Ø2   SM1S=-.1186E Ø3   SMOS=Ø,1Ø37E Ø3
NBL=  7FIR=Ø.1Ø75E Ø1   SM1=Ø,2623E Ø2   SMO=-,2295E Ø2   SM1S=Ø,2733E Ø2   SMOS=-,2391E Ø2
NBL=  8FIR=Ø.1240E Ø1   SM1=Ø.64Ø9E Ø2   SMO=-,5606E Ø2   SM1S=Ø.6678E Ø2   SMOS=-,5842E Ø2
NBL=  9FIR=Ø.14Ø6E Ø1   SM1=-.2363E Ø3   SMO=Ø,2Ø67E Ø3   SM1S=-.2463E Ø3   SMOS=Ø,2154E Ø3
NBL= 1ØFIR=Ø.1571E Ø1   SM1=-.1175E Ø4   SMO=Ø,1Ø28E Ø4   SM1S=-.1225E Ø4   SMOS=Ø,1Ø71E Ø4

                                                  ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИЛИ СКОРОСТИ
     УПЛ                 ТЕЛО                КОР.ЛОП             ОБОВ
  Ø.34663987          Ø.33185291          Ø.17658919          Ø.Ø5356Ø29
   ПОГРЕШНОСТИ %
     СИЛА                МОМЕНТ
  -Ø,32212138         -Ø.Ø95Ø8729
```

Черт. 5

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ, НА КОТОРЫЕ ДАНЫ ССЫЛКИ В ТЕКСТЕ ОСТ 108.210.01—86

Обозначение документа	Наименование документа	Номер пункта стандарта
ГОСТ 5632—72	Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования	Приложение 1
ОСТ 108.021.04—78	Турбины паровые стационарные. Диафрагмы сварные, аппараты направляющие. Общие технические условия	Вводная часть; 1.9; 1.12
РТМ 24.020.15—73	Металлы турбин атомных электростанций	1.9
И 34—70—010—84	Инструкция по наблюдению и контролю за металлом котлов, турбин и трубопроводов	1.10
Положение СЦНТИ ОРГРЭС	Положение о порядке установления сроков дальнейшей эксплуатации котлов, турбин и паропроводов, проработавших свыше 100 тыс. часов	1.11

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 1
2. Типовой расчет 3
Приложение 1. Примеры типового расчета 8
Приложение 2. Поверочный упругий расчет 12
Приложение 3. Поверочный расчет ползучести 16
Приложение 4. Расчет геометрических характеристик поперечных сечений элементов диафрагмы 20
Приложение 5. Пример упругого поверочного расчета диафрагмы 24
Приложение 6. Пример поверочного расчета ползучести 33

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ОСТ 108.210.01—86

Изм.	Номера листов (страниц)				Номер документа	Подпись	Дата	Срок введения изменения
	измененных	замененных	новых	аннулированных				

Редактор *Г. Д. Семенова*

Технический редактор *А. Н. Крупенева* Корректор *Л. А. Подрезова*

Сдано в набор 06.05.87. Подписано к печ. 26.11.87. Формат бум. 60×90 1/8.

Объем 5 печ. л. Тираж 200. Заказ 477. Цена 1 руб.

НПО ЦКТИ. 194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24

gost.e-ecolog.ru