

С 344.12

5/41-72

К-84

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 6374

1894/2-72



В.И.Круглякова , В.М.Мальков , И.Полах,
Л.В.Слепнева , А.И.Филиппов

РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ ПЕРЕГОРОДКА
ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА
ДЛЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

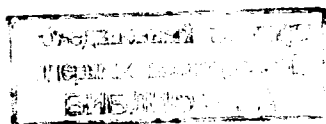
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

P13 - 6374

В.И.Круглякова*, В.М.Мальков*, И.Полах,
Л.В.Слепнева*, А.И.Филиппов

РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ ПЕРЕГОРОДКА
ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА
ДЛЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ



* Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова.

Обычно в пузырьковых камерах поршень механизма расширения непосредственно контактирует с рабочей средой. При этом продукты истирания уплотнения поршня имеют возможность проникать в рабочий объем, создавая мутную среду в нем и способствуя паразитному образованию пузырьков. Вследствие их осаждения на отражательных элементах системы освещения камеры снижается эффективность работы этой системы. Кроме того, в зоне поршня имеет место теплоприток со стороны более теплых областей камеры и тепловыделения за счет трения в уплотнении поршня. Поэтому весьма целесообразно подпоршневую зону камеры переохладить, но это приводит к возникновению крайне нежелательных конвекционных потоков в рабочем объеме, борьба с которыми затруднительна.

Применение разделительной перегородки (размещаемой между поршнем и рабочим объемом камеры), выполненной из термоизолирующего материала, например стеклопластика, позволяет надеяться на значительное уменьшение или исключение рассмотренных выше нежелательных эффектов. Так, при наличии разделительной перегородки полностью исключается возможность проникновения продуктов истирания уплотнения в рабочий объем и имеется возможность переохладить подпоршневой объем камеры.

Перегородка в виде круглой пластины переменного сечения, плавно переходящей по периферии в тороидальный сильфон, выполнена из стеклопластика (рис. 1 и 2). Во время расширения камеры разделительная перегородка перемещается на величину $\pm \Delta z$ и испытывает динамическое нагружение (ускорение может достигать $150g$). Для уменьшения инерционных сил центральная часть перегородки выполняется из стекломата с объемным весом $\gamma = 0,52 \text{ г/см}^3$.

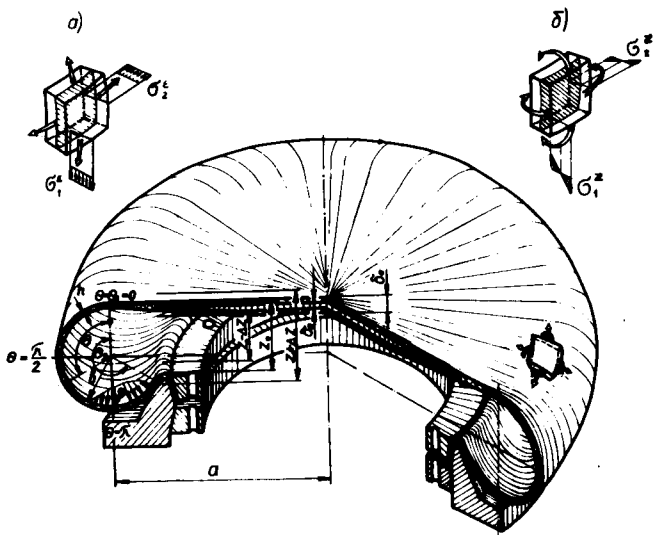


Рис.1. Разделительная перегородка.

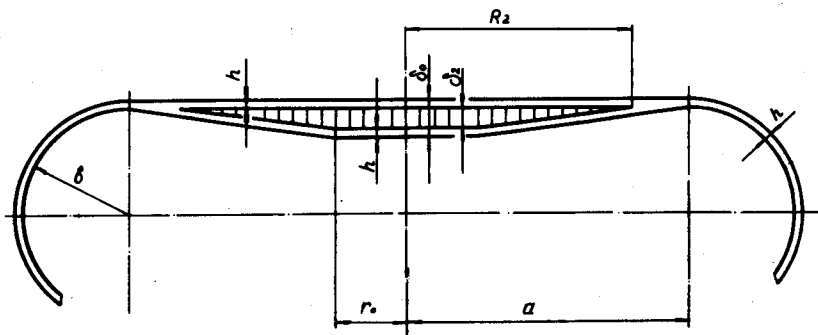


Рис.2. Поперечное сечение пластинки перегородки.

К рис.1 и 2. a - радиус осевой линии тора 342,5 мм; δ - радиус поперечного сечения тора 33,25 мм; h - толщина стеклопластика 1,5 мм; δ_0 - толщина пластинки 9 мм; радиусы вкладыша $R_2 = 292,5$ мм и $r_0 = 110$ мм; δ_2 - толщина вкладыша 6 мм; Δz - перемещение пластинки; α_1, α_2 - координаты сильфона 0° и 240° .

Подобная конструкция может быть использована в виде днища-поршня камеры, аналогично тому как это было сделано в конструкции 12-футовой водородной камеры A.N.L. (США) /1/.

В данной работе приводится описание технологии изготовления многослойной разделительной перегородки из стеклопластика. Дана методика расчета такой оболочки. Получены данные, касающиеся механических характеристик перегородки, и приведено их сравнение с расчетными.

Разделительная перегородка, размеры которой приведены на рис. 1 и 2, предназначается для модели многокубовой жидководородной пузырьковой камеры ϕ 800 мм /2/. Стеклопластик ЭДТ-10, который использовался для изготовления оболочки, является ортотропным материалом (модули упругости $E_1 = 2,7 \cdot 10^5$ кг/см² и $E_2 = 1,76 \cdot 10^5$ кг/см²; коэффициенты Пуассона $\nu_{12} = 0,115$ и $\nu_{21} = 0,172$). Предполагалась жесткая заделка сальфона в $\theta_2 = 240^\circ$.

I. Технология изготовления разделительной перегородки

Перегородка (см. рис. 3) изготавливалась методом прямого прессования в жесткой металлической прессформе, которая состоит из пуансона и двух полуматриц. Пуансон был выполнен разборным, что позволяло извлекать его из готового изделия по частям и, кроме того, многократно использовать. Пуансон по отношению к полуматрицам является плавающим, что гарантирует равномерную пропрессовку стеклоткани при затяжке прессформы.

Для изготовления перегородки использовалась стеклоткань ТС 8/3-250, предварительно пропитанная связующим ЭДТ-10П (содержание связующего 28-30%, летучих I,2 + I,5%). Основной слой собирался из 24 лепестков клинообразной формы. Конфигурация лепестков была тако-

ва, что позволяла производить укладку в стык без зазора. Раскрой производился с соблюдением направления основы и утка стеклоткани вдоль радиального и окружного направлений перегородки. Выкладка стеклоткани проводилась на собранном пуансоне. Нечетные слои выкладывались из заготовок круглой формы: первый \varnothing 675 мм, второй - \varnothing 615 мм с последующим увеличением диаметра каждого следующего диска на 15 мм и с поворотом основы стеклоткани на 30° по отношению к каждому предыдущему нечетному слою.

Четные слои набирались из заготовок круглой формы, располагаемых в центре пластины, и заготовок клинообразной формы, укладываемых в стык по лучевой схеме. Диаметр круглых заготовок, начиная с \varnothing 100 мм, в последующих слоях увеличивался на 20 мм, а их основа поворачивалась на угол 30° ; клиновые заготовки смещались от слоя к слою на 10-15 мм по параллели $\theta = 0$.

После набора шести слоев по центру пластины укладывался диск жесткости (из стекломата). Затем укладка заготовок продолжалась до получения заданной толщины. После укладки каждого слоя проводилась прикатка по пуансону с добавлением связующего ЭДТ-10 (при 40°C). Затем на пуансон устанавливалась полуматрица с дном и концы лепестков стеклоткани натягивались на тороидальную часть пуансона^{/3/}. В процессе выкладки (в случае необходимости) кромки заготовки подрезались по месту. На последний слой наклеивались тензодатчики (рис.3) для измерения деформаций в точках вдоль радиуса перегородки. Затем прессформа закрывалась и производилась ее затяжка, при этом избыток связующего выдавливался.

Отверждение связующего производилось при температуре 120°C в течение 4-х часов и затем при температуре 140°C в течение 2-х часов^{/3/}. После охлаждения прессформы (вместе с печью до комнатной темпе-

ратуры) она нагревалась снова до 60° , и в горячем состоянии из нее извлекалась готовая перегородка.

2. Расчет разделительной перегородки

Для теоретического определения напряжений и деформаций рассматриваемой конструкции используем результаты, полученные в работе^{/4/}. При расчете удобно выделить три элемента перегородки: сальфон, кольцевую симметричную пластину переменной толщины и сплошную пластину постоянной толщины (рис.4). Материал перегородки предполагается ортотропным и однородным. Рассматривается осесимметричная деформация. Обозначения и геометрические размеры приняты согласно рис.1,2 и 4.

Пластина постоянной толщины

Обозначим угол поворота этой пластины в радиальном направлении через $\vartheta(r)$, где r - расстояние от центра пластины. Тогда из первого уравнения системы (3.3) (см. работу^{/4/}) для плоской пластины, нагруженной равномерным давлением интенсивности p , при $R_1 d\theta - dr$, $R_2 \sin\theta - r$, $\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} = 0$, $\theta = 0$.

$$\text{получаем } \frac{d^2 \vartheta^I}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d \vartheta^I}{dr} - \frac{1}{r^2} \frac{E_2}{E_1} \vartheta^I = -\frac{pr}{2D_1}, \quad (1)$$

где $D_1 = \frac{E_1 h^3}{12(1-\nu_{12}\nu_{21})}$, h - толщина пластины.

Из уравнения (1) находим:

$$\begin{aligned} \vartheta^I &= \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta} \vartheta^I(r_0) + \frac{pr_0^3}{2D_1} \frac{1}{9-\beta^2} \left[\left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta} - \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\beta} \right], \\ \frac{d \vartheta^I}{dr} &= \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta-1} \frac{\beta}{r_0} \vartheta^I(r_0) + \frac{pr_0^2}{2D_1} \frac{1}{9-\beta^2} \left[\beta \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta-1} - 3 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\beta} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $\beta = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}$, $\vartheta^I(r_0)$ - неизвестная постоянная (вторая постоянная в решении (2) равна нулю из условия конечности угла поворота $\vartheta(r)$ при $r = 0$).

Напряжения на наружной поверхности пластины подсчитываются по формулам

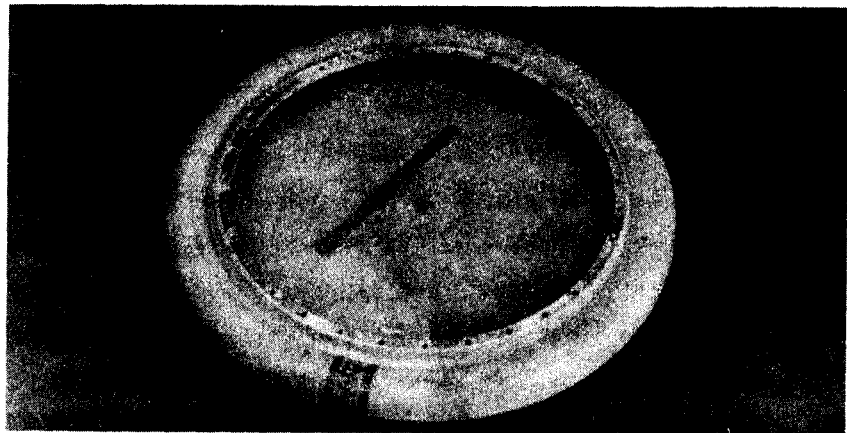


Рис.3. Разделительная перегородка из стеклопластика с наклеенными тензодатчиками.

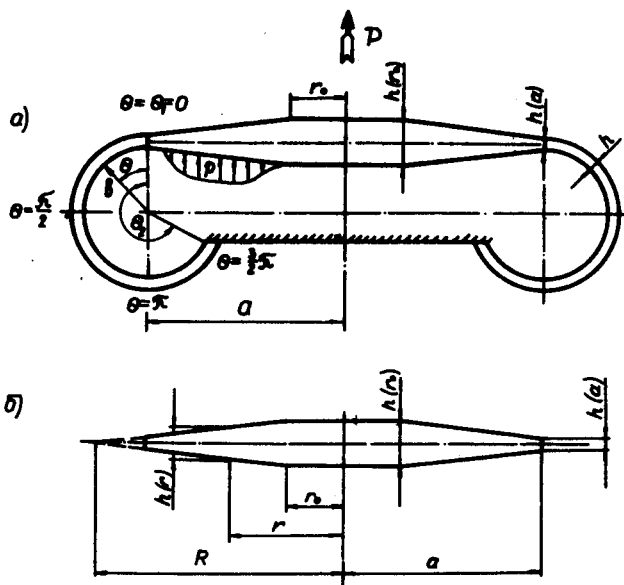


Рис.4. Расчетная схема перегородки $a = 342,5$ мм; $b = 33,25$ мм;
 $h - h(a) = 1,5$ мм; $h(r_0) = 9$ мм; $r_0 = 110$ мм; P -
 растягивающая сила.

$$\sigma_1^x = \frac{E_1 h}{2(1-\nu_{12}\nu_{21})} \left(\frac{d^2 \nu^I}{dr^2} + \nu_{12} \frac{\nu^I}{r} \right), \quad \sigma_2^x = \frac{E_2 h}{2(1-\nu_{12}\nu_{21})} \left(\frac{\nu^I}{r} + \nu_{21} \frac{d^2 \nu^I}{dr^2} \right) \quad (3)$$

(напряжения на внутренней поверхности отличаются лишь знаком).

Из формулы (2) видно, что при $r = 0$ функции $\frac{\nu^I}{r}$, $\frac{d^2 \nu^I}{dr^2}$ и, следовательно, напряжения (3) обращаются в бесконечность. Это известно из теории ортотропных пластин факт. Он объясняется тем, что в окрестности $r = 0$ модули упругости E_1 и E_2 должны быть одинаковы и $\beta = 1$, так как в самой точке $r = 0$ все направления равнозначны. Следовало бы считать характеристики материала (E_1 , E_2 , ν_{12} , ν_{21}) не постоянными, а зависящими от r таким образом, чтобы при $r \rightarrow 0$ $E_1 = E_2$, $\nu_{12} = \nu_{21}$. Это обстоятельство теорией не учитывается. Формулами (2), (3) можно пользоваться всюду, за исключением точки $r = 0$ и ее малой окрестности.

Пластина переменной толщины

Рассматривается кольцевая пластина $r_0 < r < a$, толщина которой меняется по линейному закону (рис.4 б)

$$h(r) = h(r_0) \frac{R-r}{R-r_0}, \quad (4)$$

$$R = \frac{ah(r_0) - r_0 h(a)}{h(r_0) - h(a)}, \quad (5)$$

Уравнение (3.3) работы /4/ для угла поворота ν^I пластины переменной толщины принимают вид

$$\frac{d^2 \nu^I}{dr^2} + \left(\frac{1}{r} + \frac{3}{h} \frac{dh}{dr} \right) \frac{d \nu^I}{dr} - \left(\frac{1}{r^2} \frac{E_2}{E_1} - \frac{\nu_{12}}{r} \frac{3}{h} \frac{dh}{dr} \right) \nu^I = - \frac{p r}{2D_1}. \quad (6)$$

Здесь учтено, что, помимо распределенного давления, к краю пластины $r = r_0$ приложена сила $\pi r_0^2 p$.

Перейдем в (6) к новой переменной $\eta = \frac{r}{a}$:

$$\frac{1}{\varrho^2} \frac{d^2 \nu^I}{d\eta^2} + \left(\frac{1}{\varrho \eta} - \frac{3}{1-\varrho \eta} \right) \frac{1}{\varrho} \frac{d \nu^I}{d\eta} - \left(\frac{1}{\varrho^2 \eta^2} \frac{E_2}{E_1} + \frac{3 \nu_{12}}{\varrho \eta (1-\varrho \eta)} \right) \nu^I = - \frac{6(1-\nu_{12}\nu_{21})(1-r_0)^3 R^3}{E_1 h^3(r_0)} \frac{p_1 \eta}{(1-\varrho \eta)^3} p, \quad (7)$$

где $\rho_1 = \frac{a}{R}$, $\rho_0 = \frac{r_0}{R}$, $\rho_0 < \rho < 1$, $\rho = \frac{r}{a}$.

Решение уравнения (7) может быть получено в гипергеометрических функциях, представляемых бесконечными рядами. В настоящей работе уравнение (7) решалось численно на ЭВМ. Уравнение (7) заменялось конечно - разностным, и применялся метод прогонки. Полученное решение имеет вид:

$$v^{\text{II}}(\rho) = f_1(\rho)v^{\text{II}}(1) + f_2(\rho)v^{\text{II}}(\rho_0) + f_3(\rho)\rho, \quad (8)$$

где $v^{\text{II}}(1)$, $v^{\text{II}}(\rho_0)$ - неизвестные постоянные, f_1, f_2, f_3 - функции переменной ρ , удовлетворяющие уравнению (7) и условиям

$$f_1(\rho_0) = 0, \quad f_1(1) = 1, \quad f_2(\rho_0) = 1, \quad f_2(1) = 0, \quad f_3(\rho_0) = f_3(1) = 0. \quad (9)$$

Напряжения вычисляются по формулам:

$$\sigma_1^{\alpha} = \frac{E_1 h}{2(1-\nu_{12}\nu_{21})a} \left(\frac{dv^{\text{II}}}{d\rho} + \nu_{12} \frac{v^{\text{II}}}{r} \right), \quad \sigma_2^{\alpha} = \frac{E_2 h}{2(1-\nu_{12}\nu_{21})a} \left(\frac{v^{\text{II}}}{\rho} + \nu_{21} \frac{dv^{\text{II}}}{d\rho} \right), \quad (10)$$

$$h = h(\rho_0) \frac{1-\rho_0\rho}{1-\rho_0}.$$

С ЭВМ напряжения получали в виде суммы трех слагаемых, аналогично (8). Вычислялся прогиб пластины:

$$w = w(a) - \int_a^r v^{\text{II}} dr = w(a) - a \int_1^{\rho} v^{\text{II}} d\rho. \quad (11)$$

Торoidalный сиффон

Теория расчета сиффонов, представляющих собой торoidalную оболочку кругового сечения (рис.4 а), достаточно подробно изложена в работе^{/4/} и уже имела практическое приложение в работе^{/3/}. Поэтому здесь мы не будем подробно останавливаться на методике расчета сиффона.

Край сиффона $\theta = 240^\circ$ жестко заделан (равны нулю угол поворота и относительное удлинение края), а по край $\theta = 0^\circ$ сиффон сопрягается с пластиной.

Нагрузкой на сиффон является равномерное давление p и осевая сила $P = p r a^2$, приложенная к край $\theta = 0^\circ$ и создаваемая давле-

нием, действующим на пластины. Заметим, что, как и следовало ожидать, напряжения, возникающие в сильфоне от действия осевой силы P , значительно превосходят по величине напряжения от давления, приходящегося собственно на сильфон.

Расчет сильфона, как и в работе^{/4/}, производился на ЭМ. Напряжения краевого эффекта вычислялись с точностью до двух постоянных:

$$A = \frac{Q_r(0) - Q_r^0(0)}{h}, \quad B = \frac{c\sqrt{E_1 E_2} [\mathcal{V}(0) - \mathcal{V}^0(0)]}{a},$$

определяемых из граничных условий на краю $\theta = 0^0$. Для вычисления напряжений использовались формулы (1) - (3)^{/3/}.

Условия сопряжения

Из условий упругого сопряжения трех рассмотренных порознь элементов разделительной перегородки подлежат определению следующие постоянные:

$$\mathcal{V}^I(r_0), \quad \mathcal{V}^{II}(r_0), \quad \mathcal{V}^I(1), \quad A, \quad B.$$

На рис.5 показаны положительные направления величин, приравняваемых на краях пластин и сильфона - углов поворота и моментов. При $r = r_0$ имеем:

$$\mathcal{V}^I(r_0) = \mathcal{V}^{II}(r_0), \quad M_1^I(r_0) = M_1^{II}(r_0). \quad (I2)$$

При $r = a$ и $\theta = 0$

$$\mathcal{V}^I(1) = \mathcal{V}(0), \quad M_1^I(1) = M_1(0) \quad (I3)$$

(величины $\mathcal{V}(0)$, $M_1(0)$ относятся к сильфону).

Кроме этих условий, принималось приближительное условие - отсутствие относительного удлинения края сильфона при $\theta = 0^0$:

$$\sigma_2^E - \nu_2 \sigma_1^E = 0. \quad (I4)$$

Условия (I2) - (I3) эквивалентны следующим:

$$\begin{aligned} \mathcal{V}^I(r_0) = \mathcal{V}^{II}(r_0), \quad \frac{d\mathcal{V}^I}{dr} \Big|_{r=r_0} = \frac{d\mathcal{V}^{II}}{dr} \Big|_{r=r_0}, \\ \mathcal{V}^I(1) = \mathcal{V}(0), \quad \sigma_1^{II}(1) = \sigma_1(0). \end{aligned} \quad (I5)$$

3. Определение напряжений в перегородке под влиянием деформирующих сил

На установке (рис.6) измерялась деформация в перегородке от растягивающей силы $P = \pi a^2 p$, созданной внутренним давлением p . Деформация измерялась в радиальном и окружном направлениях тензодатчиками с базой 10 мм (на пластине) и с базой 4 мм (на сильфоне).

Было произведено:

1. Определение величины жесткости F из соотношения

$$F = \frac{P}{\Delta Z} = \frac{\pi a^2 p}{\Delta Z} \frac{кг}{мм}$$

2. Определение прогибов w пластинки перегородки под действием давления p .

3. Определение напряжений в оболочке под действием растягивающей силы P .

Перемещения пластинки ΔZ (в точке $\theta = 0$) отсчитывались по индикатору I. Остальные индикаторы (II - VI) измеряли прогиб w в точках с шагом $\eta \approx 0,2$. Относительная деформация в радиальном ϵ_r и окружном ϵ_z направлениях перегородки измерялась прибором ИСД-3. Напряжения в перегородке определялись по формулам для ортотропной оболочки [3]:

$$\sigma_1(\theta, \eta) = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left[\epsilon_1(\theta, \eta) + \nu_{21}\epsilon_2(\theta, \eta) \right] = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T} \left[\bar{\epsilon}_1(\theta, \eta) + \nu_{12}\bar{\epsilon}_2(\theta, \eta) \right] - k_1 \Delta_1(\theta, \eta),$$

$$\sigma_2(\theta, \eta) = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left[\epsilon_2(\theta, \eta) + \nu_{21}\epsilon_1(\theta, \eta) \right] = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T} \left[\bar{\epsilon}_2(\theta, \eta) + \nu_{21}\bar{\epsilon}_1(\theta, \eta) \right] = k_2 \Delta_2(\theta, \eta).$$

Где $k_1 = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T}$; $k_2 = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T}$;

$$\Delta_1(\theta, \eta) = \bar{\epsilon}_1(\theta, \eta) + \nu_{12}\bar{\epsilon}_2(\theta, \eta); \quad \Delta_2(\theta, \eta) = \bar{\epsilon}_2(\theta, \eta) + \nu_{21}\bar{\epsilon}_1(\theta, \eta);$$

θ - координата сильфона (рис.1);

η - безразмерная координата пластинки ($\eta = \frac{r}{a}$; r - расстояние точки от центра пластинки);

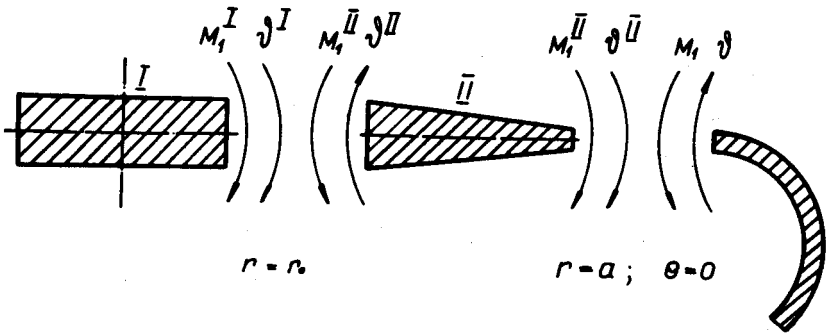


Рис.5. Положительные направления моментов M и углов поворота φ на краях.

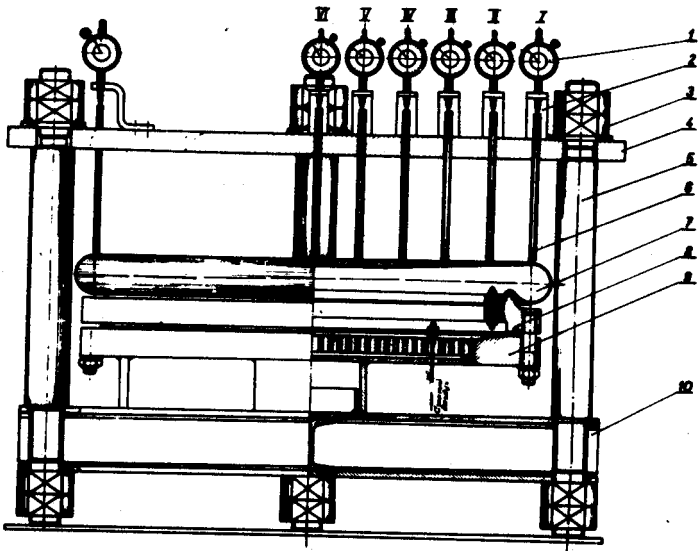


Рис.6. Установка для нагружения перегородки.
 1 - индикатор; 2 - держатель; 3 - гайка;
 4, 9, 10 - плиты; 5 - стойка; 6 - стержень;
 7 - перегородка; 8 - фланец.

$n = 10^{-5}$ - цена деления прибора ИСД-3 при чувствительности тензодатчиков $S_T = 2$;

S_D - чувствительность наклеенных тензодатчиков;

$\varepsilon_1(\theta, p)$, $\varepsilon_2(\theta, p)$ - разность между текущим и начальным показаниями прибора ИСД-3 для тензодатчика в меридиональном и окружном направлениях.

По вычисленным значениям $\kappa_1(\theta, p)/p$, $\kappa_2(\theta, p)/p$ и $\Delta_1(\theta, p)$, $\Delta_2(\theta, p)$ определялись $\sigma_1(\theta, p)/p$, $\sigma_2(\theta, p)/p$ от воздействия растягивающей силы $P = \pi a^2 p$.

Экспериментальные результаты представлены на рис.7 - 10.

4. Обсуждение результатов

Расчетное значение величины жесткости перегородки $^{1/4}/ F_{\text{рас}} = 61,25$ кг/мм хорошо согласуется с экспериментально найденным значением $F = 60,85$ кг/мм (рис.8).

Графики меридиональных и окружных напряжений в разделительной перегородке, отнесенных к величине давления p , приведены на рис.9, 10. По оси абсцисс для пластин постоянной и переменной толщины откладывается величина $\rho = \frac{r}{a}$, а для силфона - величина угла θ .

Сравнение расчетных и экспериментальных значений напряжений показывает, что качественная картина распределения напряжений примерно одинакова. Достаточно хорошо совпадают напряжения и по величине всюду, за исключением части силфона, которой соответствуют значения углов $10^\circ < \theta < 45^\circ$. Значительное расхождение напряжений в указанной области объясняется тем, что принятая расчетная схема для кольцевой пластины переменной толщины не соответствует реальной модели. Реальная пластина имеет вкладывш и плоскую наружную поверхность (рис.2), следовательно, ее срединная поверхность, к рассмотрению

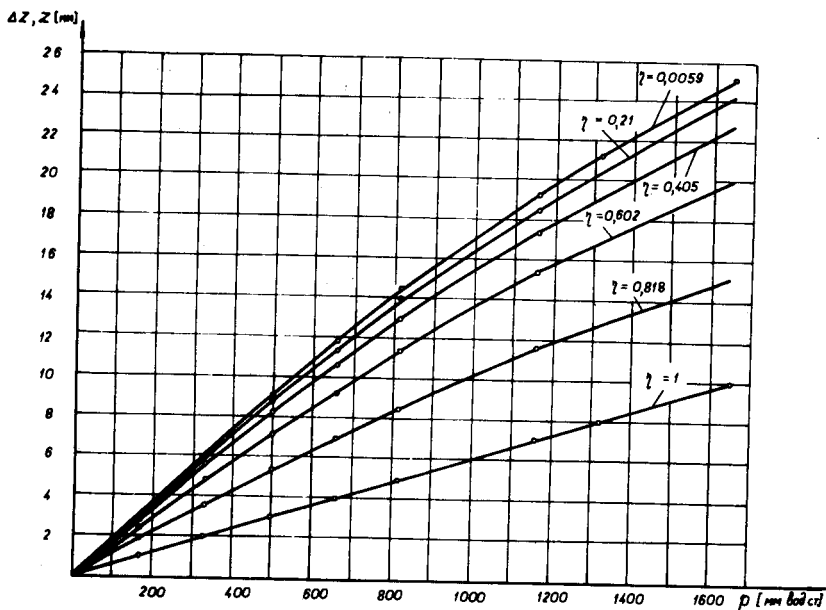


Рис.7. Экспериментальное значение расхождения сильфона ΔZ ($\gamma=1$) и перемещение пластины с прогибом $z = \Delta Z + w$ ($\gamma = 0,818-0,0059$).

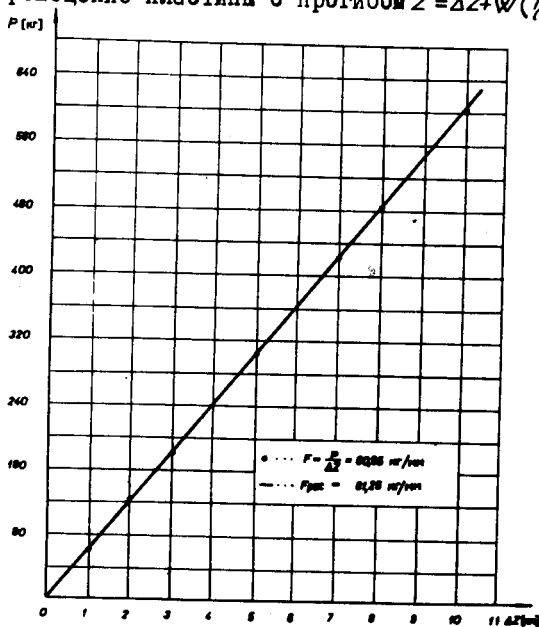


Рис.8. Жесткость перегородки (\circ -экспериментальное значение, — -расчетное значение).

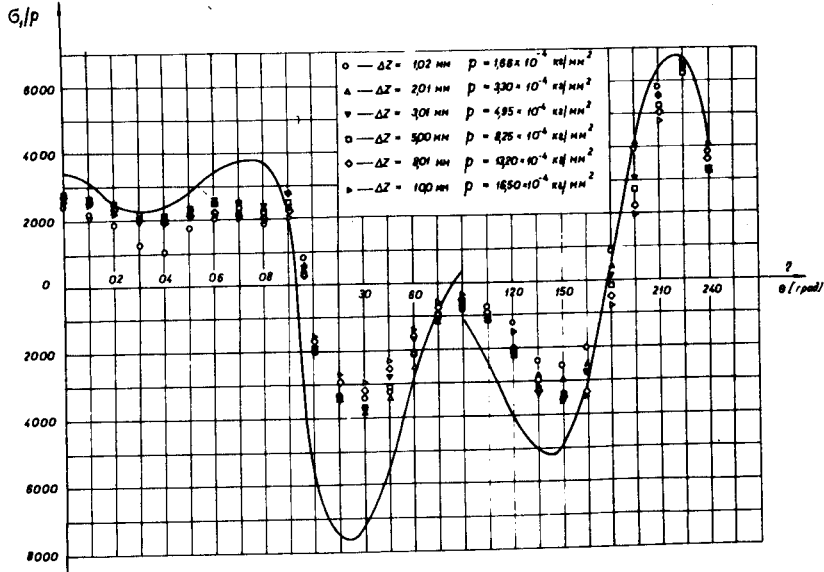


Рис.9. Меридиональные напряжения в перегородке под действием растягивающей силы (— расчетные кривые, $\circ \triangle \nabla \square \diamond \blacktriangleright$ — экспериментальные значения).

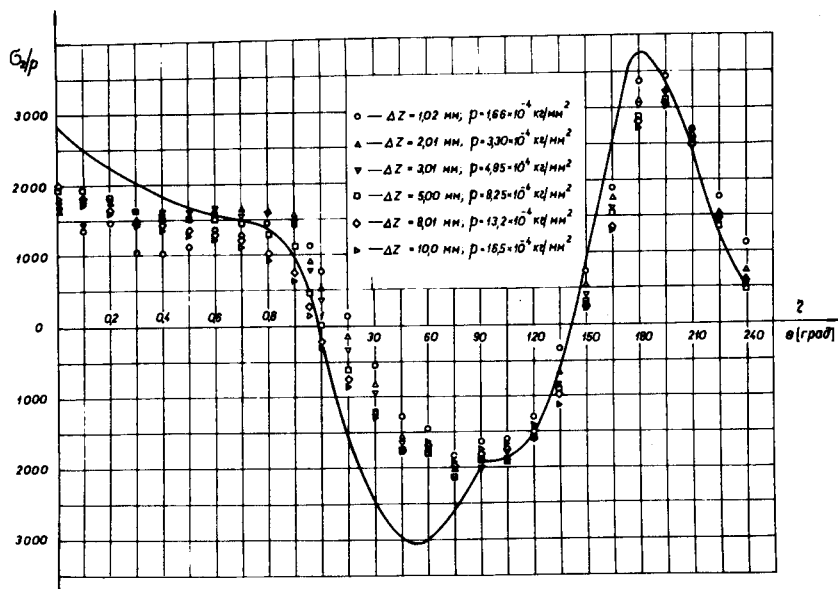


Рис.10. Окружные напряжения в перегородке под действием растягивающей силы (— расчетные кривые, $\circ \triangle \nabla \square \diamond \blacktriangleright$ — экспериментальные значения).

равновесия которой сводится расчет пластины, будет иметь некоторую конусность: $\tan \psi = 0,0161$, ψ - угол конусности. Хотя эта конусность не велика, она коренным образом влияет на характер работы пластины. Это проявляется прежде всего в том, что состояния изгиба

и растяжения в плоскости не разделяются, как это имеет место для плоской пластины. Отмеченное обстоятельство усложняет расчет. Приходится решать совместно два уравнения вида (2.6)^{/4/}. Появляющийся в уравнениях (большой для тонкостенных оболочек) параметр здесь не так уж велик, чтобы можно было воспользоваться асимптотическим методом интегрирования.

Конусность существенно влияет на величину жесткости края пластины, сопряженного с сильфоном: жесткость края уменьшается относительно радиального перемещения и увеличивается относительно угла поворота. За счет неточного определения напряжений краевого эффекта в окрестности края сильфона $\theta = 0$ происходит расхождение расчетных и экспериментальных напряжений. Оказывая большое влияние на напряжения краевого эффекта в сильфоне, величина жесткости края пластины $r = a$ в меньшей степени сказывается на напряжениях в пластине. Следует ожидать, что если бы мы выполнили более точно расчет пластины переменной толщины, учтя ее конусность, это позволило бы уточнить напряжения в сильфоне, напряжения же в самой пластине изменились бы незначительно.

Напряжения в сплошной пластине вычислялись, начиная со значения координат $r = \frac{r}{a}$, отличных от нуля (на графиках они приведены, начиная с $r = 0,0059$); как уже было сказано, при $r \rightarrow 0$ напряжения стремятся к бесконечности.

Отметим одну особенность графиков напряжений на рис. 9, 10. При $\theta = 90^\circ$ кривые напряжений терпят разрыв. Объясняется это способом расчета сильфона. Если сильфон содержит обе точки, $\theta = 0$ и $\theta =$

π , как в нашем случае, или близкие окрестности обеих точек, то рассматриваются порознь две части сальфона, разделенного плоскостью $\theta = 90^\circ$. Естественно, что при этом напряжения на краях двух частей сальфона могут не совпасть. Необходимо далее сопрягать решения для двух частей. Но поскольку величина разрыва напряжений мала по сравнению с максимальными напряжениями, то такое сопряжение не было сделано.

В заключение можно сделать следующий вывод. Несмотря на отмеченные выше недостатки, предлагаемая методика расчета дает правильное представление о характере работы разделительной перегородки и возникающих в ней напряжениях. Некоторое несовпадение расчетных и экспериментальных значений напряжений объясняется не погрешностями расчета, а конструктивным отличием реальной модели от рассчитываемой. Однако учет всех конструктивных особенностей модели приведет к серьезному усложнению расчета.

Авторы пользуются случаем выразить признательность за участие в изготовлении разделительной перегородки из стеклопластика В.Г.Игнатьеву и А.П.Новикову, за помощь в проведении измерений Е.М.Мельничук, а также Т.С.Тихоновой и Л.Н.Кузнецовой за помощь в оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Proposal for the Construction of a 12ft Bubble Chamber ANL, Title I, report July 1966; Proc. 1966 Int. Conf. on Instrumentation for High Energy Physics, p. 104.
2. У.Кундт, А.В.Плескач, М.Салок, Г.И.Селиванов, А.И.Филиппов. Четырехметровая жидководородная пузырьковая камера. ОИЯИ, 13-4466, Дубна, 1969.
3. В.И.Круглякова, В.Н.Мальков, И.Полах, Л.В.Слепнева, А.И.Филиппов. ОИЯИ, Р13-5967, Дубна, 1971.
4. В.И.Круглякова, В.М.Мальков, И.Полах, Л.В.Слепнева, А.И.Филиппов. ОИЯИ, Р13-5848, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 апреля 1972 г.