

С 344.4

К-84

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3351/1-71

P 13-5967



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

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

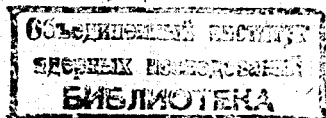
СОЗДАНИЕ СИЛЬФОНОВ  
ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА  
И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1971

P 13-5967

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

СОЗДАНИЕ СИЛЬФОНОВ  
ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА  
И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК



---

\* Ленинградский государственный университет

## Введение

Элементы системы расширения современных пузырьковых криогенных камер работают в тяжелых условиях, обусловленных низкой температурой рабочей среды ( $\sim 25^{\circ}\text{K}$ ), сильными магнитными полями со значительной неоднородностью и ускорениями (в момент расширения), достигающими до  $150 \text{ g}$ . Для работы в этих условиях целесообразно применение металлических торообразных сильфонов в системе расширения камеры, что позволяет упростить конструкцию камеры и улучшить ее рабочие характеристики /1/. Еще более значительные преимущества дает использование сильфонов из стеклопластика. В этом случае практически полностью исключается возникновение индукционных и вихревых токов при движении немагнитической ободочки в магнитном поле (и, следовательно, ее нагрев и торможение), уменьшается вес подвижных частей, что позволяет при равных условиях сократить время расширения камеры и уменьшить энергетические затраты.

Перед нами стояла задача разработать технологию изготовления торообразных сильфонов из стеклопластика, изготовить их и проверить на работоспособность, а также провести сравнение напряжений, возникающих при деформации (под влиянием внутреннего давления и осевого растягивающего усилия) с расчетными и убедиться в степени надежности предложенной расчетной методики /2/. Предварительно проведенная работа по определению физико-механических характеристик стеклопластика ЭДТ-10 /3/ позволила задать для расчета значения модуля упругости  $E_1 = 2,7 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$ ;  $E_2 = 1,76 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$  и коэффициента Пуассона  $\nu_{12} = 0,115$ ;  $\nu_{21} = 0,172$ .

Такой сильфон предполагалось использовать для модели жидководородной пузырьковой камеры  $\varnothing 800 \text{ мм}$ . Он характеризуется следующими геометрическими параметрами (рис.1):  $a$  - радиус осевой ли-

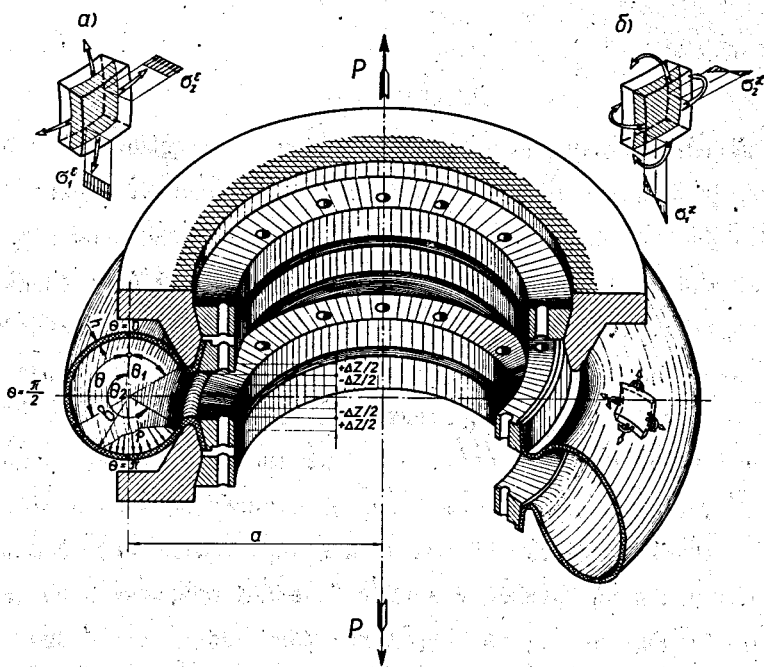


Рис.1. Поперечное сечение тороидального сифона из стеклопластика ( закрепленного к фланцам ).

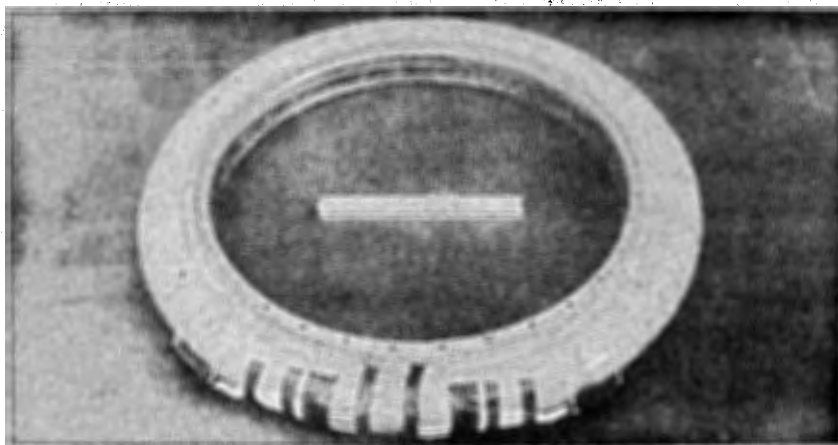


Рис.2. Тороидальный сифон из стеклопластика с наклеенными тензодатчиками.

нии тора 342,5 мм;  $\delta$  - радиус поперечного сечения тора 33,25 мм;  $h$  - толщина оболочки 1,5 мм. Расхождение кромок сиффона  $\Delta z = \pm 3$  мм было выбрано из условия обеспечения расширения рабочего объема камеры  $\sim 1\%$ . Толщина оболочки  $h = 1,5$  мм была предварительно определена по асимптотическим формулам (5.1) + (5.4) /2/ в предположении жесткой заделки кромок сиффона при  $\theta_1 = -60^\circ$  и  $\theta_2 = 240^\circ$ .

### Технология изготовления тороидальных сиффонов

Тороидальный сиффон из стеклопластика (рис.2) был изготовлен методом прямого прессования в жесткой металлической прессформе, которая состоит из пуансона и двух полуматриц. Оформляющий пуансон выполнен разборным. Такая конструкция пуансона позволяла извлекать его из готового изделия и, кроме того, многократно использовать. Прессформа в собранном виде обеспечивает между пуансоном и полуматрицами рабочий зазор, равный по величине толщине стенки сиффона. Пуансон по отношению к полуматрицам является плавающим, что гарантирует равномерную пропрессовку стеклоткани при затяжке прессформы.

Для изготовления сиффона использовалась стеклоткань марки ТС 8/3-250, предварительно пропитанная связующим ЭДТ-ИОП (содержание связующего 28-30%, летучих - 1,2+1,5%). С целью обеспечения максимальной прочности сиффона в меридиональном направлении основа стеклоткани располагалась вдоль образующей сиффона. Заготовки стеклоткани выкладывались встык на нижнюю полуматрицу; стыки в смежных слоях смещались на 10 + 15 мм относительно стыков предыдущего слоя. Для получения заданной толщины оболочки набирался пакет из шести слоев стеклоткани. Затем устанавливался предварительно собранный пуансон, концы заготовок с натягом выкладывались на нем и устанавливалась верхняя полуматрица. После этого произ-

водилась затяжка прессформы. Отверждение стеклопластика проводилось в течение 4-х часов при температуре 120°C и затем в течение 2-х часов при температуре 140°C. При таком режиме термообработки деформации прессформы и изделия не наблюдалось.

В верхнем слое оболочки силфона располагались тензодатчики (защищенные поливинилхлоридной пленкой) с шагом  $\theta = 15^\circ$  в меридиональном и кольцевом направлениях.

### Расчет ортотропного тороидального силфона

Расчет силфона выполнен в предположении, что оболочка изготовлена из однородного ортотропного материала. Изложение теории расчета таких оболочек содержится в работе [2], на формулы которой и даны ниже ссылки.

Рассматривался ортотропный тороидальный силфон, симметричный относительно плоскости  $\theta = 90^\circ$ , постоянной толщины, находящийся под действием равномерного внутреннего давления  $p$  и осевой растягивающей силы  $P$ . Под такой нагрузкой оболочка деформируется симметрично и в ней возникают лишь нормальные меридиональные  $\sigma_1$  и окружные  $\sigma_2$  напряжения (рис. I).

Величины  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  определяются как сумма тангенциальных напряжений  $\sigma_1^\epsilon$ ,  $\sigma_2^\epsilon$ , равномерно распределенных по толщине оболочки, и изгибных  $\sigma_1^x$  и  $\sigma_2^x$ , линейно меняющихся по толщине:

$$\sigma_1 = \sigma_1^\epsilon + \frac{zt}{h} \sigma_1^x \quad \sigma_2 = \sigma_2^\epsilon + \frac{zt}{h} \sigma_2^x, \quad (1)$$

где:  $-\frac{h}{2} < t \leq \frac{h}{2}$ .

На наружной ( $t = \frac{h}{2}$ ) и внутренней ( $t = -\frac{h}{2}$ ) поверхностях оболочки напряжения соответственно равны:

$$\begin{aligned} \sigma_1^H &= \sigma_1^\epsilon + \sigma_1^x & \sigma_2^H &= \sigma_2^\epsilon + \sigma_2^x \\ \sigma_1^B &= \sigma_1^\epsilon - \sigma_1^x & \sigma_2^B &= \sigma_2^\epsilon - \sigma_2^x \end{aligned} \quad (2)$$

Тангенциальные  $\sigma_1^{\epsilon}$ ,  $\sigma_2^{\epsilon}$  и изгибные  $\sigma_1^{\kappa}$ ,  $\sigma_2^{\kappa}$  напряжения вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_1^{\epsilon} &= \sigma_1^{0\epsilon} + \sigma_1^{\kappa\epsilon} & \sigma_2^{\epsilon} &= \sigma_2^{0\epsilon} + \sigma_2^{\kappa\epsilon} \\ \sigma_1^{\kappa} &= \sigma_1^{0\kappa} + \sigma_1^{\kappa\kappa} & \sigma_2^{\kappa} &= \sigma_2^{0\kappa} + \sigma_2^{\kappa\kappa} \end{aligned} \quad (3)$$

где величины с индексом "0" описывают основное напряженное состояние (формулы (6.2)) /2/, а с индексом "К" - краевой эффект (формулы (6.8), (6.9)) /2/.

При расчете были приняты обозначения согласно рис. I, а также:  $E_1, E_2$  - модули Юнга в направлении меридиана и параллели;  $\nu_{12}, \nu_{21}$  - коэффициенты Пуассона, соответственно;  $\lambda = \frac{b}{ac} \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}$  - основной торовой параметр /2/, где  $c = \frac{h}{\sqrt{12(1-\nu_{12}\nu_{21})}}$ .

При растяжении (сжатии) сильфона осевой силой  $P$  определяющими являются меридиональное изгибное  $\sigma_1^{0\kappa}$  и тангенциальное окружное  $\sigma_2^{0\epsilon}$  напряжения. Поэтому в прикидочных расчетах можно ограничиться лишь вычислением этих величин по асимптотическим формулам (5.2), (5.3) /2/.

Для определения величины осевого расхождения краев сильфона  $\Delta z$ , имеющего  $\theta_1$  близкий к  $-90^\circ$ , служит асимптотическая формула:

$$\Delta z = \frac{Pb}{hc\sqrt{E_1 E_2}} \quad (4)$$

Окончательный расчет производился на ЭВМ с учетом уточненных в дополнительных экспериментах значений  $E_1$  и  $E_2$ , равных, соответственно,  $2,66 \cdot 10^5$  кг/см<sup>2</sup> и  $1,73 \cdot 10^5$  кг/см<sup>2</sup>.

При расчете сильфона принималось условие жестко закрепленного края в сечении  $\theta_1 = -60^\circ$  и  $\theta_2 = 240^\circ$ .

Рассматривались отдельно два случая:

а) на сильфон действует только внутреннее давление  $p$ . Осевое перемещение краев сильфона отсутствует. Величина "эталонного" напряжения  $\sigma_v = \frac{P}{2\pi ah}$  находится по формуле (6.11) /2/ с учетом

того, что  $\Delta Z = 0$

$$\sigma_r = \frac{\alpha^2 c}{4h} \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} p, \quad (5)$$

где:  $\alpha = \frac{b}{a}$

б) давления  $p$  на сиффон нет. Задано расхождение кромок сиффона  $\Delta Z$ . В этом случае из (6.11) <sup>/2/</sup> для напряжения

$$\sigma_r = \frac{P}{2\sqrt{ah}} \text{ получаем: } \sigma_r = \frac{c}{2\sqrt{ab}} \sqrt{E_1 E_2} \Delta Z. \quad (6)$$

### Определение напряжений и жесткости сиффона

Испытания сиффонов проводились при комнатной температуре на специальном стенде. Методика определения напряжений и жесткости сиффона описана в работе /4/. Использовались тензодатчики с базой 4 мм.

Было проведено четыре серии испытаний с целью:

а) Определения жесткости сиффона (рис.3). Жесткость определялась из соотношения  $F = \frac{P}{\Delta Z}$  и оказалась равной 42,5 кг/мм.

б) Определения напряжений в оболочке под действием растягивающей силы  $P$ . На установке (рис.4) перемещение подвижных кромок сиффона  $\Delta Z$  измерялось с помощью трех индикаторов I4 и растягивающая сила  $P$  отсчитывалась по шкале динамометра 13. Одновременно с помощью прибора ИСД-3 измерялась относительная деформация в меридиональном  $\epsilon_1$  и в окружном  $\epsilon_2$  направлениях сиффона I;

в) Определения напряжений в оболочке под действием внутреннего давления  $p$ . На установке (рис.5, левая половина) подвижная кромка сиффона надежно стопорилась втулками 3. Давление  $p$  создавалось сжатым воздухом и измерялось образцовым манометром. При этом измерялись относительные деформации  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  (см. пункт б).

г) выяснения работоспособности оболочки. На установке (рис.5, правая половина) один из сиффонов был подвергнут испытаниям на



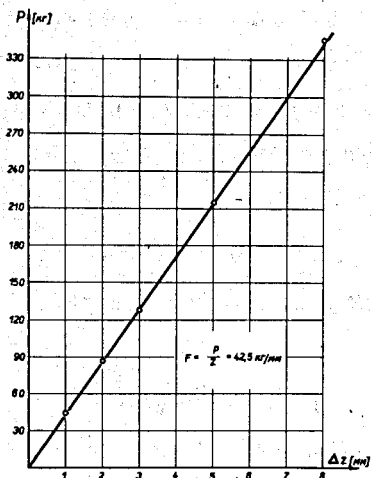


Рис.3. Жесткость сильфона

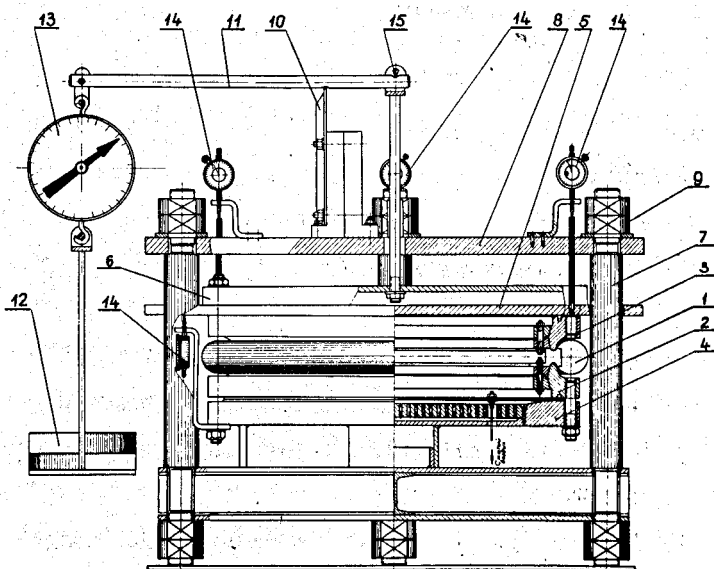


Рис.4. Установка для нагружения сильфона растягивающей силой (1-сильфон; 2,3-фланец; 4,5,8-плита; 7-стойка; 9-гайка; 10-опора; 11-плечо; 12-груз; 13-динамометр; 14-индикатор).

усталостную прочность. Амплитуда колебаний  $\Delta z$  составляла  $\pm 1,5$  мм при частоте 16 герц. После 100 000 циклов никаких видимых дефектов оболочки не обнаружено.

Для ортотропной оболочки деформации в меридиональном направлении  $\epsilon_1$  и в окружном направлении  $\epsilon_2$  определяются соотношениями /5/:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{1}{E_1} (\sigma_1 - \nu_{21} \sigma_2) \\ \sigma_2 &= \frac{1}{E_2} (\sigma_2 - \nu_{12} \sigma_1),\end{aligned}\quad (7)$$

где:  $\sigma_1$  — напряжение в меридиональном направлении и  $\sigma_2$  в окружном.

Тогда:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left( \epsilon_1 + \nu_{21} \frac{E_2}{E_1} \epsilon_2 \right) \\ \sigma_2 &= \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left( \epsilon_2 + \nu_{12} \frac{E_1}{E_2} \epsilon_1 \right)\end{aligned}\quad (8)$$

Принимая, что в силу упругой симметрии имеет место соотношение /5/:

$$E_1 \nu_{12} = E_2 \nu_{21},$$

из (8) получим напряжения в оболочке для любого значения  $\theta$ , выраженные через измеренные величины:

$$\begin{aligned}\sigma_1(\theta) &= \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left[ \bar{\epsilon}_1(\theta) + \nu_{21} \bar{\epsilon}_2(\theta) \right] = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T} \left[ \bar{\epsilon}_1(\theta) + \nu_{21} \bar{\epsilon}_2(\theta) \right] = K_1 \Delta_1(\theta) \\ \sigma_2(\theta) &= \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \left[ \bar{\epsilon}_2(\theta) + \nu_{12} \bar{\epsilon}_1(\theta) \right] = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T} \left[ \bar{\epsilon}_2(\theta) + \nu_{12} \bar{\epsilon}_1(\theta) \right] = K_2 \Delta_2(\theta),\end{aligned}\quad (9)$$

где:

$$\begin{aligned}K_1 &= \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T} & \Delta_1(\theta) &= \bar{\epsilon}_1(\theta) + \nu_{21} \bar{\epsilon}_2(\theta) \\ K_2 &= \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} n \frac{S_D}{S_T} & \Delta_2(\theta) &= \bar{\epsilon}_2(\theta) + \nu_{12} \bar{\epsilon}_1(\theta)\end{aligned}\quad (10)$$

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

$S_D$  — чувствительность тензодатчиков;

$\bar{\epsilon}_1(\theta)$ ,  $\bar{\epsilon}_2(\theta)$  — разность между текущим и начальным показаниями прибора ИСД-3 для тензодатчика в меридиональном и окружном направлениях.

По вычисленным  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\sigma_1$  и экспериментально полученным значениям  $\Delta_1(\theta)$  и  $\Delta_2(\theta)$  определялись  $\sigma_1(\theta)/\sigma_1$ ,  $\sigma_2(\theta)/\sigma_1$  от действия

растягивающей силы  $P$ . Аналогично определялись значения  $\epsilon_{1(\theta)}/p$  и  $\epsilon_{2(\theta)}/p$  - от давления  $p$ .

Сопоставление расчетных и экспериментальных значений напряжений в тороидальном сильфоне при действии осевой растягивающей силы и давления

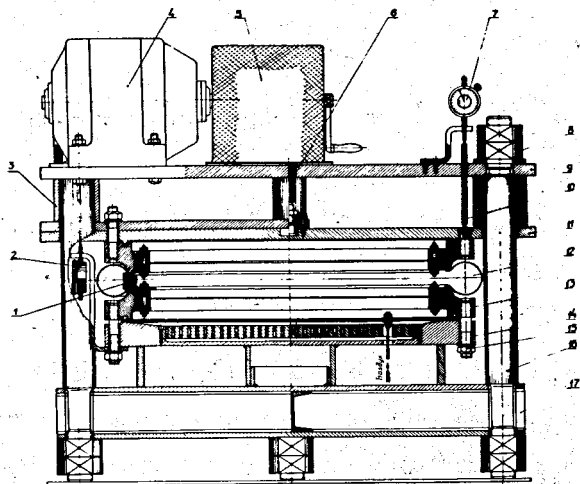
Для сильфона, растягиваемого осевой силой, на рис. 6 и 7 приведены графики меридиональных  $\epsilon_1(\theta)$  и окружных  $\epsilon_2(\theta)$  напряжений, отнесенных к "эталонному" напряжению  $\epsilon_v = \frac{P}{2\pi a h}$ , в зависимости от угла  $\theta$  в меридиональном сечении сильфона.

Сравнение показывает, что расчетные значения напряжений достаточно хорошо согласуются с экспериментальными. Наблюдаемое в некоторых точках расхождение порядка 15% для меридионального напряжения  $\epsilon_{1(\theta)}/\epsilon_v$  может быть объяснено следующими причинами:

1) При расчете принималась упрощенная схема, по которой сильфон рассматривался как однослойный, изготовленный из однородного ортотропного материала, тогда как реальная оболочка была изготовлена из шести слоев стеклопластика.

2) Расхождение расчетных и экспериментальных данных в окрестности точек закрепления краев сильфона (при  $\theta_1 = -60^\circ$  и  $\theta_2 = 240^\circ$ ), возможно, обусловлено недостаточно плотным прилеганием края сильфона к фланцу, вследствие чего может возникнуть дополнительный изгибающий момент по краям сильфона. В расчете же принимались условия жесткого закрепления края.

3) В области экстремальных значений напряжений (при  $\theta = \pm 40^\circ; 90^\circ; 140^\circ; 220^\circ$ ), где напряжения резко изменяются, на погрешность экспериментальных результатов влияет величина базы датчиков (дат-



Исходные размеры  
на внутреннее давление

Исходные размеры  
на циклическую нагрузку

Рис. 5. Установка для нагружения сальфона внутренним давлением и циклической растягивающей силой. 1-прокладка; 2,7-индикатор; 3-втулка; 4-электродвигатель; 5-редуктор; 6-стяжка; 8,15-гайка; 9,11,14,17-плита; 10-упор; 12-сильфон; 13-фланец; 16-стойка.

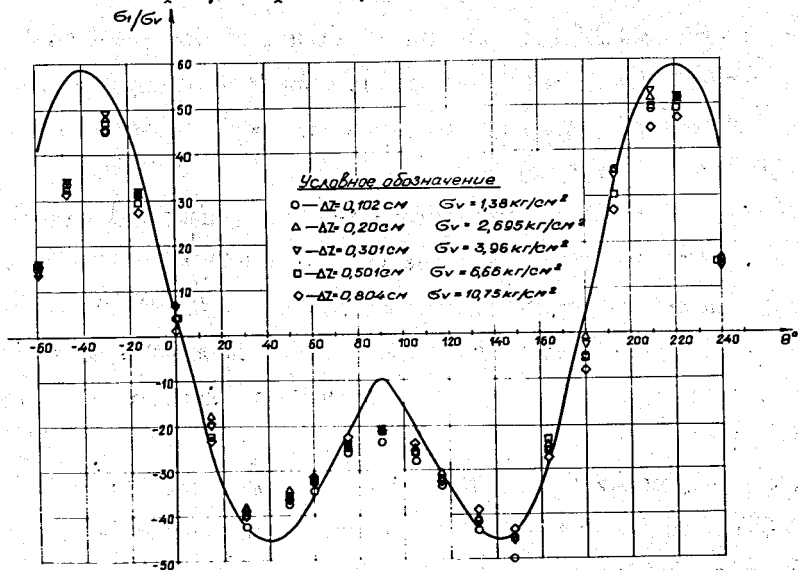


Рис. 6. Меридиональные напряжения в оболочке под действием растягивающей силы ( — — расчетная кривая; ○△▽□◇ — экспериментальные значения ).

чики дают показания, усредненные по их длине ).

Расчетная величина окружного напряжения  $\epsilon_2^{(0)}/\epsilon_r$  (рис.7) хорошо согласуется с экспериментом и в экстремальных точках. Объясняется это тем, что здесь распределение напряжений более плавное и по абсолютной величине окружные напряжения  $\epsilon_2^{(0)}/\epsilon_r$  меньше меридиональных  $\epsilon_1^{(0)}/\epsilon_r$ .

Разброс экспериментальных точек, отвечающих различным осевым перемещениям краев сиффона  $\Delta z$ , указывает на неодинаковое натяжение стеклоткани при укладке слоев. Этот разброс более заметен для меридиональных напряжений  $\epsilon_1^{(0)}/\epsilon_r$  и увеличивается с возрастанием величины  $|\epsilon_1^{(0)}/\epsilon_r|$ , что свидетельствует о постепенном включении в работу отдельных слоев стеклоткани.

Для сиффона, нагруженного внутренним давлением  $p$ , графики меридионального  $\epsilon_1^{(0)}/p$  и окружного  $\epsilon_2^{(0)}/p$  напряжений представлены на рис. 8 и 9. Видно, что расчетные кривые недостаточно хорошо согласуются с экспериментальными значениями напряжений, особенно в окрестности краев сиффона. Такие факторы, как отличие граничных условий на краях, реализуемых в эксперименте, от принятых в расчете и неоднородность материала сиффона, связанная с его многослойностью, влияют на величину напряжений и характер их распределения в поперечном сечении сиффона значительно сильнее, чем для нагружения осевой силой (рис.6,7). Об этом свидетельствует и большой разброс экспериментальных точек, отвечающих различным уровням давления.

Сравнивая экспериментальные значения напряжений, представленных на рис.6,7 и на рис.8,9, видим, что в средней части сиффона характер изменения примерно одинаков. Это говорит о том, что в эксперименте с давлением края сиффона расходятся, что ведет к появлению дополнительной растягивающей осевой силы  $P$ , не учитываемой

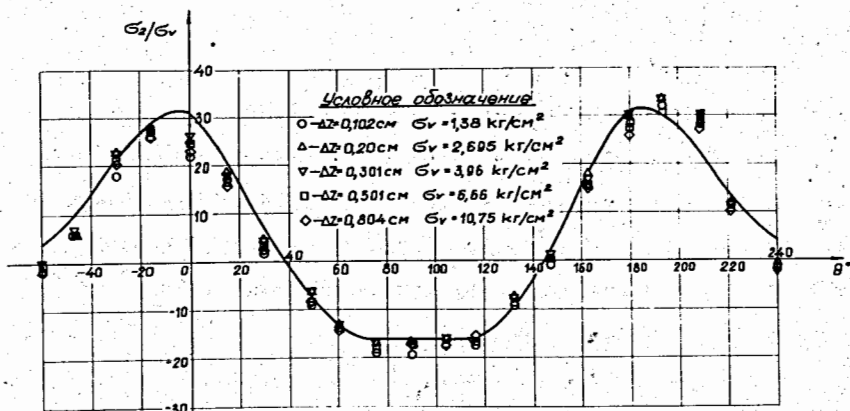


Рис.7. Окружные напряжения в оболочке под действием растягивающей силы. (— расчетная кривая; ○△▽□◇—экспериментальные значения).

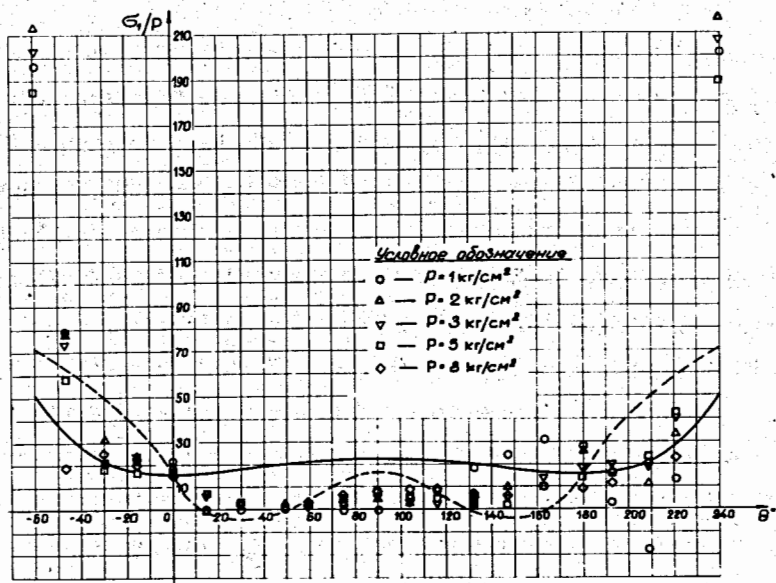


Рис.8. Меридиональные напряжения в оболочке под действием внутреннего давления (— расчетная кривая, ○△▽□◇—экспериментальные значения; - - - - расчетная кривая для  $\sigma_v = 0,5 p$  ).

в расчете. Расхождение краев объясняется тем, что сильфон недостаточно плотно прилегает к фланцам.

Если принять  $\epsilon_r = \frac{P}{2\gamma a h} = 0,5 p$  и, произведя перерасчет теоретических напряжений с графиков на рис. 6 и 7, затем наложить их на расчетные кривые напряжений на рис. 8 и 9, то получим, что в средней части сильфона напряжения будут близки качественно и количественно к экспериментальным. Величина  $\epsilon_r = 0,5 p$  получена путем вычисления с использованием данных эксперимента. На основании формулы (6.II) работы [2] ей соответствует расхождение краев сильфона  $\Delta z = 30p$  (мм), в частности, при  $p = 0,01$  кг/мм<sup>2</sup>;  $\Delta z = 0,3$  мм. В действительности зависимость величины  $\Delta z$  от давления  $p$  нелинейная, при увеличении давления  $\Delta z$  стремится к постоянной величине, равной зазору между краем сильфона и фланцем. Так что формулу  $\epsilon_r = 0,5 p$  следует понимать как усредненную зависимость, справедливую при небольших давлениях.

Заметим, что при  $\Delta z = 0$ , как это было принято в расчете (рис. 8, 9),  $\epsilon_r = 6 \cdot 10^{-4} p$  и не влияет на величину напряжений.

Напряжения вблизи краев сильфона мало корректируются указанным выше предположением о расхождении краев сильфона. Это говорит о том, что условия закрепления краев значительно отличаются от жесткой заделки. Из графиков на рис. 8 и 9 видно, что для экспериментальных напряжений условие на краях  $\epsilon_z = 0$  ( $\epsilon_2 - \nu_2 \epsilon_r = 0$ ) не выполняется. Кроме того, видно, что на краях сильфона действуют значительные изгибающие моменты, что приводит к большим изгибным напряжениям местного характера, то есть условие отсутствия угла поворота ( $\theta = 0$ ) также не выполняется. Несимметричность кривых на рис. 8 и 9 показывает, что имеют место различные условия закрепления по краям сильфона.

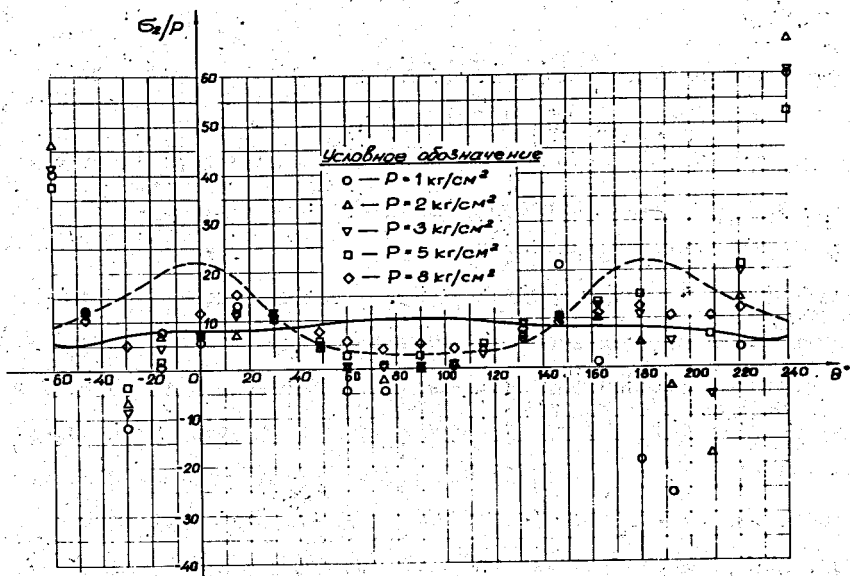


Рис.9. Окружные напряжения в оболочке под действием внутреннего давления (— расчетная кривая; ○ △ ▽ □ ◇ — экспериментальные значения; - - - - - расчетная кривая для  $\nu = 0,5$ )

Точная формулировка граничных условий, отвечающих эксперименту, является невозможной по ряду неподдающихся учету причин: неплотное прилегание силфона к фланцам, наличие отбортовки малого радиуса и др.

В целом сопоставление расчета с экспериментом показывает, что тороидальный многослойный силфон из стеклопластика может с достаточной степенью надежности рассчитываться по методике, предложенной в работе /2/.

В заключение авторы выражают благодарность за участие в изготовлении силфона из стеклопластика М.И.Душину, А.Е.Новикову, В.Г.Игнатьеву, Б.В.Иванову, О.А.Морозову, М.Салому, а также Е.М.Мельничук, Т.С.Тихоновой, Л.Н.Кузнецовой за помощь в проведении измерений и 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.

Design Study for a High Magnetic Field Hydrogen Bubble Chamber for use on NIMROD. Report RHFL/S/101, January 1967.

D.B.Thomas. Progress Report for 1967 on the Research and Development Programme for the High Field Bubble Chamber AP/DS/HFC/10 Rutherford High Energy Laboratory.

Г.М.Александров и др. ОИЯИ, I3-3322, Дубна, 1967.

2. В.И.Круглякова, В.М.Мальков, И.Полах и др. ОИЯИ, PI3-5848, Дубна, 1971.
3. П.Ф.Кошелев и др. Пузырьковые камеры. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер, Дубна, I3-4466, I98, 1969.
4. Полах И., Филиппов А.И., Шамина В.А. ОИЯИ, I3-5393, Дубна, 1970.
5. В.Л.Бажанов и др. Сопротивление стеклопластиков.Машиностроение, Москва, 1968 г.

Рукопись поступила в издательский отдел

28 июля 1971 года.