

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

9-84-868

Х.Бергандер,¹ В.Гёлер, Х.Кирхюбель,²
Г.Ландграф,² А.С.Шеулин

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ КОНТЕЙНЕРА
МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ АДГЕЗАТОРА КУТИ-20

¹ Высшее техническое училище, Карл-Маркс-Штадт, ГДР

² Технический университет, Дрезден, ГДР

В работе^{/1/} приведено описание конструкции стапеля адгезатора КУТИ-20^{/7/}, схематично показанной на рис.1. Катушки 4 оконечной ступени сжатия электронного кольца охлаждаются проточным трансформаторным маслом. Для организации протока требуются внешние герметичные кожухи. Такими кожухами служат контейнеры 3. Они же являются силовыми элементами крепления катушек. Контейнеры должны удовлетворять ряду достаточно противоречивых требований. С одной стороны, во избежание экранирования импульсного магнитного поля /длительность импульса 2 мс/ в качестве конструкционного материала желательнее использовать диэлектрик. С другой стороны, на контейнер действуют значительные статические /взаимодействие между катушками/ механические нагрузки при температуре окружающей среды 100°С.

В настоящей работе приводится расчет деформаций контейнера и на его примере иллюстрируется методика оценки условий долговременной работы оболочечных конструкций при экстремальных значениях параметров /температуры, нагрузок и т.д./.

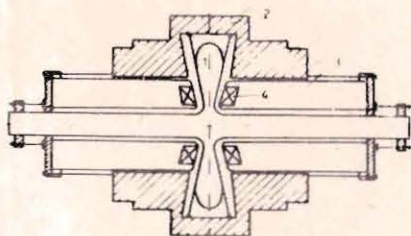


Рис.1. Упрощенная схема адгезатора КУТИ-20; 1 - камера, 2 - стапель, 3 - контейнер, 4 - катушка IV ступени.

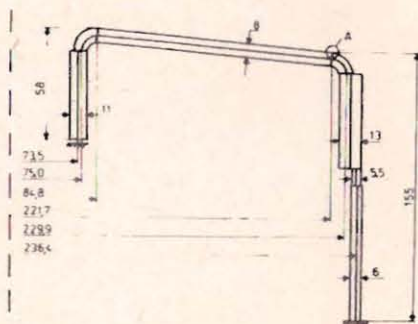


Рис.2. Геометрия модели при статических расчетах.

1. РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ КОНТЕЙНЕРА ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Конструктивно контейнер представляет собой систему из двух коаксиальных труб, соединенных между собой профилированным дном. Дно является наиболее напряженным элементом как по температурным, так и по механическим нагрузкам.

Расчеты статических деформаций проводились на ЭВМ с использованием программы NISCHA^{3/}, созданной в Техническом университете Дрездена. Программа позволяет исследовать равновесные состояния тонких ($h \ll R$) оболочек вращения путем решения системы канонических уравнений методом передаточных матриц. В нашем случае $R_{\text{мин}} = 73,5$ мм, $h_{\text{макс}} = 13$ мм, и условие $h \ll R$ выполняется с хорошей точностью.

Геометрия расчетной модели показана на рис.2. Возможность такого упрощения была проверена на расчетах контейнера полной длины 1100 мм, которые в зоне максимальных деформаций /дно/ привели к результатам, совпадающим с достаточной для практических применений точностью. Зависимость свойств материала от внешних параметров /например температуры/ могла учитываться в каждой точке контейнера с помощью соответствующих уравнений состояния.

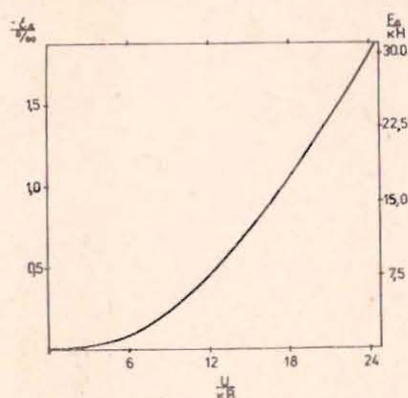


Рис.3. Экспериментальная зависимость деформации в точке А /рис.2/ на контейнере от напряжения на катушках IV ступени.

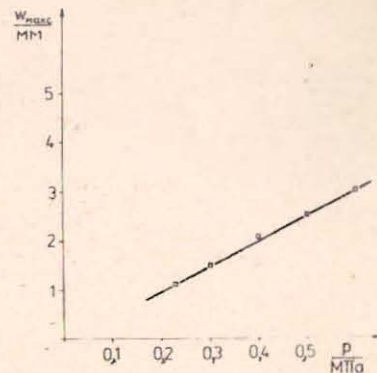


Рис.4. Калибровочная кривая деформации в точке А.

Экспериментально распределение температуры вдоль стенок контейнера было измерено с недостаточной точностью. Поэтому мы приняли ее значение равным 70°C , что следовало из предварительных испытаний. При этом основные параметры конструкционного материала /полиэстр, армированный стеклотканью/ составляли: модуль упругости $E = 1,1 \cdot 10^4$ н.мм⁻², коэффициент поперечного сжатия $\nu = 0,3$.

Все расчеты проводились в предположении упругих деформаций.

Проектом ускорителя предусмотрено охлаждение катушек оконечных ступеней сжатия прокачкой трансформаторного масла при давлении $p \approx 2$ атм = 0,2 МПа. Динамические нагрузки, возникающие в течение рабочего цикла ускорителя, являются достаточно медленными и фактически складываются со статическими. При максимальных динамических нагрузках суммарное эффективное давление на стенки контейнера может достигать $p_{\text{макс}} \approx 0,42$ МПа. На рис.3,4 приведены результаты предварительных тензометрических измерений в точке А. На рис.5 показаны расчетные распределения деформации ϵ на внутренней поверхности дна контейнера и смещения w при давлении $p_{\text{макс}}$. На внешней поверхности амплитудные значения ϵ и w оказываются приблизительно на 10% меньше. Как и следовало ожидать, наиболее опасными, с точки зрения механической прочности, оказываются зоны максимальной кривизны. Максимальное расчетное значение напряжения составляет $\sigma_{\text{макс}} = 78,6$ МПа.

Сравнение с экспериментальными^{2/} данными в точке А /рис.2/ приводит к хорошему согласию измеренных и расчетных параметров.

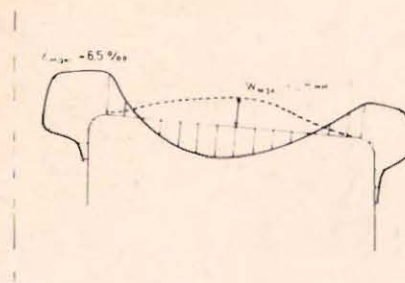


Рис.5. Деформация и прогиб контейнера при статическом давлении $p = 0,42$ МПа.

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Исследование динамических процессов при импульсных нагрузках проводилось с помощью расширенного варианта программы

NISCHA^{15/}. В целях экономии машинного времени геометрия расчетной модели была упрощена /рис.6/ без существенного влияния на результаты. Принципиальными моментами при моделировании являлись:

- 1/ выбор временной программы динамических нагрузок,
- 2/ введение затухания колебаний в паузе между импульсами ускорителя.

В реальных условиях временная зависимость силы, действующей на дно контейнера, близка к закону $F = F_{\text{макс}} \sin^2 \omega t / \omega$ - круговая частота тока в катушках/. При расчетах она аппроксимировалась импульсами треугольной формы /рис.7/. Расчетный период собственных колебаний контейнера /период 1-й гармоники разложения в ряд Фурье/ близок к длительности импульса тока в катушках и составляет $T = 1,33$ мс / $f = 1/T = 752$ Гц/. Без учета затухания это обстоятельство может привести к резонансу /рис.8, пунктирная кривая/. Экспериментальные данные^{12/} позволяют оце-

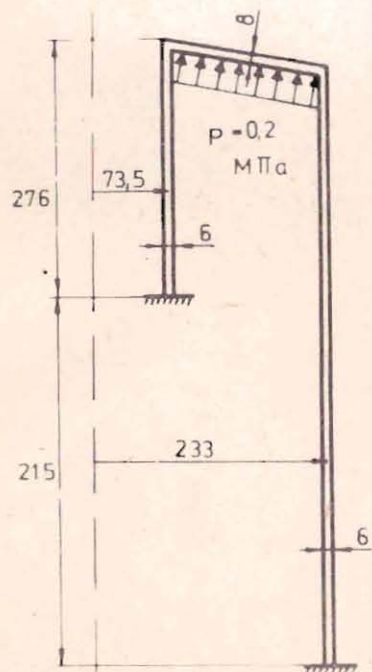


Рис.6. Геометрия модели при динамических расчетах.

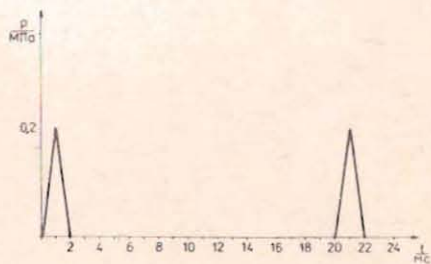


Рис.7. Временная зависимость динамических нагрузок.

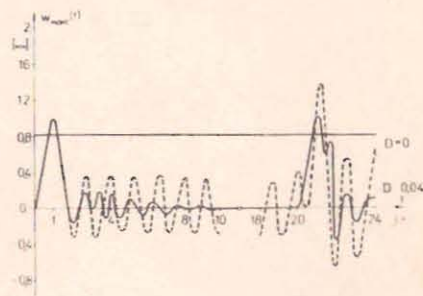


Рис.8. Расчетная временная зависимость прогиба дна контейнера: сплошная кривая - $D = 0,04$; пунктирная - $D = 0$.

нить нижнюю границу логарифмического декремента затухания $D = 0,04$. При введении этого значения в расчетную схему резонансных явлений не наблюдается. Для масштаба на этом же рисунке показана деформация, возникающая при статическом давлении $p_{\text{ст}} = 0,2$ МПа. Видно, что в момент наибольших деформаций влияние статических и динамических сил оказывается сравнимым.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты численного моделирования поведения контейнера магнитной системы при различных воздействиях относятся к области упругих деформаций данного конкретного материала. Однако при введении некоторых коэффициентов область применимости данных расчетов может быть существенно расширена, а главное, появляется возможность прогнозировать поведение контейнера в экспериментальных условиях и при долговременной работе. Наиболее существенными параметрами являются: $K_M = 1 \div 2$ - коэффициент, связанный со структурой материала и зависящий от времени работы изделия; $K_T = 1 \div 1,5$ - температурный коэффициент^{16/}. При введении этих параметров наблюдаемые значения основных характеристик /деформаций ϵ , напряжений σ , смещений w / связаны с расчетными простыми соотношениями:

$$\epsilon = K_M K_T \cdot \epsilon_{\text{теор}}, \quad w = K_M K_T w_{\text{теор}}, \quad \sigma = \frac{1}{K_M K_T} \sigma_{\text{теор}}$$

Конкретные значения K_M , K_T выбираются из соответствующих таблиц либо определяются экспериментально на образцах, а долгосрочные прогнозы строятся из сравнения реализующихся деформаций с предельными для данного конструкционного материала /в нашем случае $\epsilon_{\text{доп}} \leq 7 \div 10\%$ /.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аугустин А. и др. ОИЯИ, 9-83-846, Дубна, 1983.
2. Tittel S., Beanspruchungsmessungen in der Festkörpermechanik. Diss.B, TU Dresden, 1983.
3. Röhle H., Ulbricht V. Berechnung von Rotationschalen bei nichtlinearem Deformationsgesetz. Diss.A, TU Dresden, 1975.
4. Мяченко В.И., Григорьев И.В. Расчет составных оболочечных конструкций на ЭВМ. "Машиностроение", М., 1981.

5. Kirchhübel H. Numerische Behandlung transien-
ter Bewegungsvorgänge in Rotationsschalen. Diss.B, TU Dresden,
1982.
6. Knauer B. Plaste und Kautschuk, 1981, 28, p.541-549.
7. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.

СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

*1. Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, Р2-84-649,
Дубна, 1984.*

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн.,"
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Бергандер Х. и др.

9-84-868

Расчет деформаций контейнера магнитной системы адгезатора КУТИ-20

Контейнер магнитной системы адгезатора КУТИ-20 представляет собой диэлектрическую тонкостенную оболочку вращения, нагруженную внутренним статическим давлением, периодическими ударами при температуре до 100°C. На основе метода передаточных матриц проведен численный анализ упругих деформаций контейнера при статических и динамических нагрузках. Получен простой способ долгосрочного прогноза работоспособности подобных устройств, исходя из статического решения и свойств материала.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Bergander Ch. et al.

9-84-868

Computer Calculation of Deformations of KUTI-20 Adhesator Magnetic System Container

The magnetic system of the compression chamber (adhesator) of the heavy-ion accelerator is contained in a thin-walled rotational shell of viscoelastic material. This container is stressed by the static pressure of the cooling media from within and by a periodic impact loading. It is heated upto about 100°C in the course of which all parameters of the material are changed with temperature. Elastic solutions for static and dynamic loading have been calculated using computer programs which apply the transmission matrix method. A simple method to estimate the influence of the temperature and of the long-time behaviour of the material is demonstrated.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR. Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984