



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1-95-360

М.Ю.Боголюбский<sup>1</sup>, И.В.Богуславский, А.Валкарова<sup>2</sup>,  
С.Высочил<sup>2</sup>, В.И.Киреев, В.И.Клейменов<sup>1</sup>,  
В.В.Константинов<sup>1</sup>, Л.Л.Курчанинов<sup>1</sup>, А.М.Моисеев<sup>1</sup>,  
П.А.Семенов<sup>1</sup>, В.В.Тихонов<sup>1</sup>, В.Т.Толмачев,  
Ю.В.Хренов, М.Д.Шафранов

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ  
ЖИДКОАРГОНОВОЙ КАЛОРИМЕТРИИ

---

<sup>1</sup>Институт физики высоких энергий, Протвино

<sup>2</sup>Карлов университет, Прага, ЧР

**Стенд для исследований в области жидкоаргоновой калориметрии**

Описан стенд для проведения испытаний различных по конфигурации модулей электромагнитного калориметра (ЭМК). Стенд расположен на канале частиц высоких энергий ускорителя У-70. Рассмотрена конструкция жидкоаргонного криостата и его внешней криогенно-вакуумной системы, структура модуля, с которым проводились испытания, электроники сбора информации и триггерной системы. Представлены результаты испытаний модуля ЭМК в пучке электронов.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1995

**Перевод авторов**

Bogolyubsky M.Yu. et al.

P1-95-360

**The Test Bench for Testing the Electromagnetic Calorimeter (EMC) Modules**

The description of test bench for testing the electromagnetic calorimeter modules of various configurations, is given. The test bench is placed at the high-energy beam area of U-70 accelerator. The construction of the liquid argon cryostat and its outside cryogenic vacuum systems, the module structure and the trigger system are given. The results of electromagnetic calorimeter module tests in electron beam are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

В ИФВЭ создан стенд, состоящий из специализированного криостата, внешней криогенно-вакуумной системы, системы регистрирующей электроники и электроники триггера. Стенд предназначен для исследований модулей жидкоаргонового калориметра, которые первоначально планировалось провести в соответствии с проектом УКД [1]. Стенд расположен в павильоне ПК-1 на пучках канала N22. После выполнения предварительных испытаний стенд используется для исследований характеристик модулей электромагнитного калориметра (ЭМК) в рамках методической программы RD33 [2], основная часть которой выполняется на ускорителе SBS ЦЕРН.

### 1. УСТРОЙСТВО КРИОСТАТА

Выбор схемного решения и общей компоновки криостата определялся необходимостью обеспечения наибольших удобств работы на пучках частиц с исследуемыми модулями ЭМК. В этих целях изготовленному криостату придана форма вертикального криогенного сосуда с верхней съемной крышкой. Ввод всех технологических и электрических коммуникаций осуществлен через эту крышку. Рабочий объем внутреннего сосуда криостата образован цилиндрической обечайкой диаметром 700 мм и днищем, выполненным в форме усеченного конуса. Толщина стенок сосуда равна 2 мм. Глубина внутреннего сосуда — 900 мм. Внутренний сосуд помещен в вакуумный кожух. Объем между стенками кожуха и сосуда заполнен многослойной экранно-вакуумной теплоизоляцией. Конструкция верхней части обеспечивает сохранение в изолированном объеме криостата вакуума при демонтаже крышки криостата. Для ввода пучка частиц к испытуемым модулям ЭМК в стенке кожуха имеется отверстие, закрытое мембраной толщиной 0,5 мм. Все элементы криостата выполнены из нержавеющей стали.

Модуль ЭМК размером до 400x400x400 мм<sup>3</sup> размещается и фиксируется в специальной корзине. Корзина с помощью четырех штанг подвешивается к крышке криостата. Полые штанги служат для подачи хладагента к теплообменникам и отвода обратных паров. Монтаж модуля ЭМК производится на снятой крышке, которая не имеет термоизоляции. Ее отсутствие существенно упрощает ввод всех технологических коммуникаций. Между крышкой и поверхностью жидкого аргона в целях уменьшения радиационного нагрева жидкости расположен медный экран.

© Объединенный институт ядерных исследований. Дубна, 1995

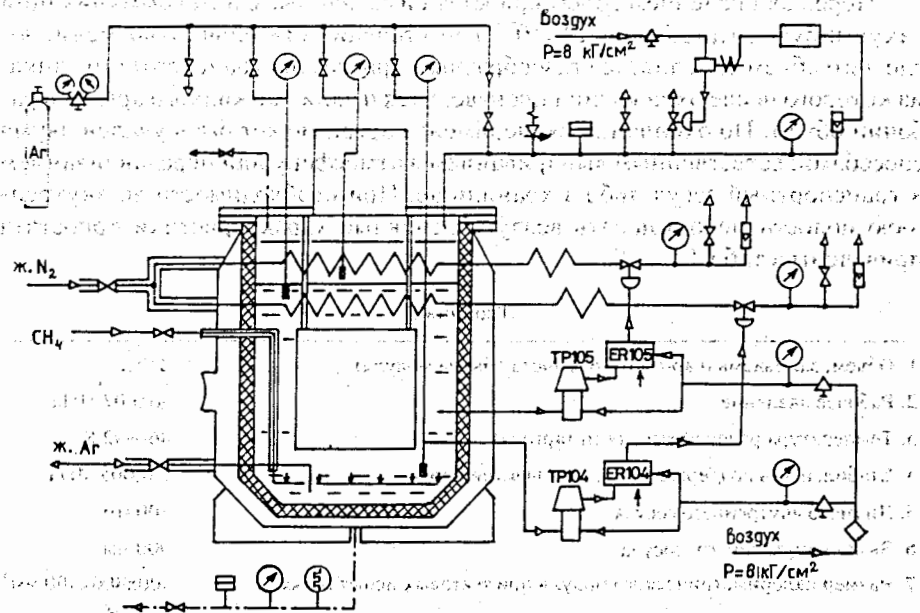


Рис.1. Схема криогенного оборудования

Охлаждение и термостатирование криостата осуществляется двумя теплообменниками, расположенными в верхней зоне криостата друг над другом. Хладагент — жидкий азот — подается из стационарного танка. В процессе охлаждения работают оба теплообменника. Термостатирование обеспечивается только одним верхним теплообменником, находящимся в паровой зоне. Нижний теплообменник в рабочем режиме погружен в жидкий аргон и периодически включается при необходимости понижения температуры. Теплообменники подключены параллельно к общей системе, они имеют на выходе регулирующие вентили с пневматическими приводами. Управление приводами осуществляется стандартными пневморегуляторами типа ПИ или ПИД со станциями управления, допускающими как ручное, так и автоматическое регулирование.

Контроль температуры рабочей среды осуществляется двумя конденсационными термометрами, расположенным у нижней части корзины и над ней. Кроме этого в работе используется третий подвижный конденсационный индикатор. С его помощью контролируется уровень жидкого аргона при заливке. Все контрольные и управляющие приборы расположены на технологическом пульте, установленном на рабочей площадке криостата. Принципиальная схема криостата и его систем приведена на рис.1.

Перед охлаждением объем криостата и связанные с ним коммуникации вакуумируются до давления  $1 \times 10^{-2}$  Тор в течение длительного времени, после чего объем заполняется газообразным аргоном из транспортного танка, из которого после охлаждения производится и заливка жидкого аргона в рабочий объем. По окончании эксперимента аргон может быть удален двумя способами: естественным выпариванием в атмосферу или передавливанием в транспортный сосуд либо в хранилище. При необходимости во внутреннюю полость можно подать воздух. Основные характеристики криостата приведены в табл. 1.

Таблица 1

1. Объем, заливаемый аргоном (без учета объема модуля)	270 л
2. Рабочее давление	до 0,07 МПа
3. Температура рабочей жидкости (аргона)	86—92 К
4. Стабильность поддержания давления в криостате	$\pm 0,005$ МПа
5. Диаметр внутреннего сосуда	700 мм
6. Высота внутреннего сосуда	900 мм
7. Размер калориметрического модуля при тестовых испытаниях	$400 \times 400 \times 400$ мм <sup>3</sup>
8. Начальное разрежение в изоляционном пространстве экранно-вакуумной изоляции	$5 \times 10^{-2}$ Тор

## 2. КОНСТРУКЦИЯ ПРОБНОГО КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Для проведения криогенных испытаний криостата, тестирования системы съема информации и некоторых других систем был изготовлен упрощенный вариант модуля электромагнитного калориметра. Этот модуль был составлен из набора идентичных ячеек. Механические нагрузки воспринимаются четырьмя металлическими болтами, расположенными по углам. Ячейки предварительно собирались и испытывались, каждая из ячеек испытывалась независимо от других. Испытание заключалось в проверке на электрическую прочность в атмосфере воздуха при напряженности поля до 1,7 кВ/мм.

Каждая ячейка состоит из стального конвертера толщиной 22 мм и двухззорной ионизационной камеры, заполняемой в рабочем состоянии жидким аргоном. Межэлектродное расстояние равно 3 мм. Считывающим электродом является двухсторонняя печатная плата, разделенная на девять отдельных квадратных площадок (пэдов) с независимым съемом информации. Размер пэда —  $120 \times 120$  мм<sup>2</sup> (рис. 2). Толщина стеклотекстолита 0,8 мм.

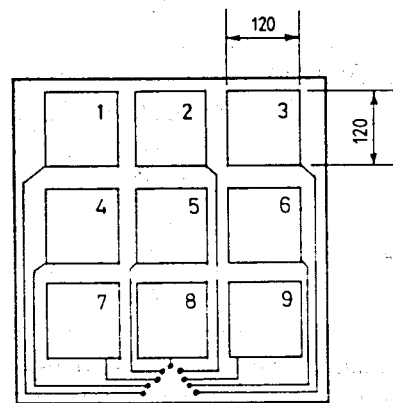


Рис. 2. Фронтальный вид на структуру анодных пэдов, размеры даны в мм. Цифрами указана принятая нумерация пэдов

Применяемый текстолит не загрязняет жидкий аргон электроотрицательными примесями. Это было подтверждено при использовании стеклотекстолита того же способа изготовления и для аналогичных целей в установке Н1 [3]. Из такого стеклотекстолита с односторонним покрытием изготовлены электроды, примыкающие к конвертеру и служащие катодом. Величина необходимого зазора между электродами обеспечивается системой диэлектрических прокладок — спейсеров. Поперечный разрез ячейки представлен на рис. 3. Весь модуль ЭМК состоит из 11 одинаковых ячеек, собранных стопкой. Толщины всех сред ячейки в радиационных длинах приведены в табл. 2. При толщине одной ячейки в 1,32 радиационной длины полная толщина модуля ЭМК равна  $14,52 X^0$  ( $X^0$  — радиационная длина). В продольном направлении модуль разбит на 4 секции. Секция образована идущими подряд ячейками. Их пэды с одинаковыми номерами соединены параллельно между собой и образуют башни, которые подсоединены ко входу одного предусилителя (ПУ). Первая из секций (по пучку) состоит из двух ячеек. Остальные секции содержат по три ячейки. Объединение выводов пэдов происходит на полосковой волновой линии с волновым сопротивлением 50 Ом. Полосковая линия изготовлена на печатной плате.

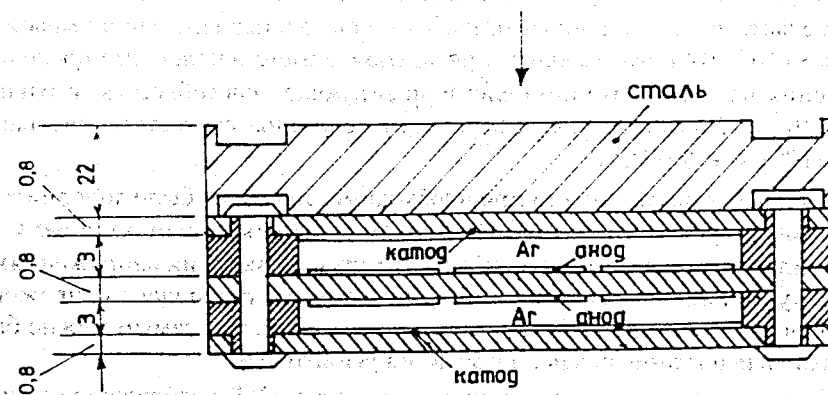


Рис. 3. Поперечный разрез калориметрической ячейки

Таблица 2

Вещество	Толщина	
	в мм	в рад. длинах
Сталь	22	1,25
LAR	$3 \times 2 = 6$	0,043
Стеклотекстолит	$3 \times 0,8 = 2,4$	0,013
Си	$4 \times 0,035 = 0,14$	0,01
Всего	30,5	1,32

Высокое напряжение, отрицательное по знаку, подается на катодные электроды через RC-фильтры. Первый из них размещен непосредственно на calorиметрическом модуле в жидком аргоне ( $R = 15 \text{ мОм}$ ,  $C = 10 \text{ нФ}$ ). Второй RC-фильтр находится перед вводом в криостат ( $R = 100 \text{ мОм}$ ,  $C = 10 \text{ нФ}$ ). Контроль величины напряжения осуществляется непосредственно на катодных электродах, к которым подсоединен выведенный наружу 50 Ом кабель.

### 3. ЭЛЕКТРОНИКА И ТРИГГЕР

Тракт электроники состоит из предусилителя и усилителя. В качестве предусилителей (ПУ) применялись гибридные микросхемы «Гарантия» [4], при этом они работали при пониженном напряжении (4,7 В) вместо стандартного (6В). Это делалось для повышения надежности и стабильности. Первая секция модуля имела емкость пэдвов  $C \cong 230 \text{ пкФ}$ . Такой емкости соответствует (по данным разработчиков) эквивалентный шумовой заряд  $\cong 9 \times 10^3 \text{ е}$  [4], что меньше заряда, собираемого на электрод после прохождения частицы с минимально ионизирующей способностью и равного  $\cong 60 \times 10^3 \text{ е}$ . Для остальных секций эти величины соответственно равны  $\cong 14 \times 10^3 \text{ е}$  и  $\cong 90 \times 10^3 \text{ е}$ .

В процессе исследований при необходимости можно было дополнительно включить усилитель с коэффициентом усиления по напряжению  $\cong 15$ . Эти усилители используются при сравнительно невысоких напряжениях на промежутке анод — катод. В стандартном режиме при подаче напряжения 2,7 кВ величина сигнала была достаточно высокой, тем самым можно было проводить испытания без использования усилителей.

Схема подключения электроники к модулю ЭМК изображена на рис.4. Сигналы от пэдвов поступают по 50 Ом плоскому кабелю длиной 2 м на входы ПУ, расположенные вне охлаждаемого объема. К входу каждого пред-

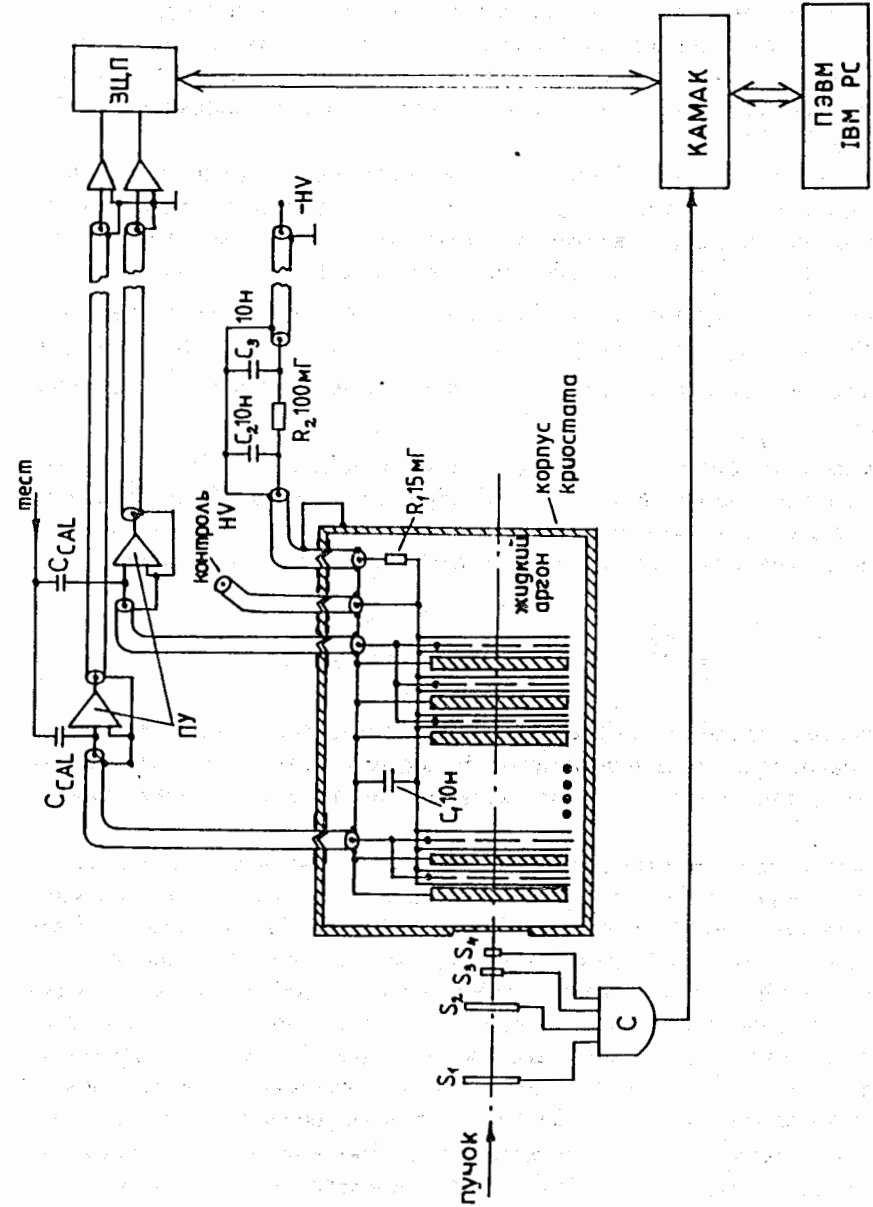


Рис.4. Схема включения calorиметра, экспериментального оборудования и электроники. (Изображено подключение предусилителей и весь последующий тракт только для двух каналов). Условные обозначения:  $S_1, S_2, S_3, S_4$  — сцинтилляционные счетчики, С — схема совпадений

усилителя подсоединен калибровочный конденсатор  $C_{cal} = 1$  пкФ. С помощью этой калиброванной емкости можно было подавать заряд заданной величины для оценки чувствительности тракта электроники. Передача сигналов от ПУ происходила по 50 Ом коаксиальному кабелю длиной 35 м на аппаратуру экспериментального домика, в которой они могли дополнительно усиливаться, затем сигналы поступали на зарядовоцифровой преобразователь (ЗЦП).

Отбор пучковых частиц при работе осуществлялся телескопом из 4-х сцинтилляционных счетчиков (рис.4), расположенных перед криостатом. Триггерный сигнал, образованный по четырехкратному совпадению счетчиков  $S_1 - S_4$ , служил для выработки с задержкой 80 нс импульса временных ворот длительностью 400 нс. Такая длительность соответствует времени дрейфа электронов при выбранном зазоре катод — анод. Счетчики  $S_3$  и  $S_4$  размещались по центру модуля калориметра и перекрывали площадь, равную  $1,5 \times 1,5$  см<sup>2</sup>.

Анализ регистрируемых зарядов происходил в блоках ЗЦП с последующей записью информации в память РС. Применяемое матобеспечение позволяло осуществлять контроль функционирования всей установки и представлять на экране дисплея все необходимые данные и распределения.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Основные задачи сеанса заключались в проведении тестов всей аппаратуры, проверки устойчивости системы сбора данных к возможным внешним наводкам, а также в определении величин сигналов с отдельных башен ЭМК.

Охлаждение и промывка криостата осуществлялась в течение одних суток, время заливки жидкого аргона занимало 3—4 часа. Расход жидкого азота в режиме термостатирования составлял 10 л/ч. Такая технология наряду с протиркой внутренней полости криостата и деталей модуля ЭМК спиртом-ректификатом позволила ограничить в рабочем режиме примесь кислорода в аргоне на уровне 7—8 ppm. Содержание этой примеси в аргоне, поступающем в криостат стенда, составляло 6 ppm. Периодически проводимый анализ свидетельствовал, что в течение 9-суточного сеанса примесь кислорода в рабочем объеме оставалась на том же уровне.

Пучок электронов с импульсом 20 ГэВ/с был получен при медленном выводе ускоренного пучка протонов с интенсивностью  $10^9$  протонов/с на внешнюю мишень. Электронный пучок транспортировался к криостату по каналу №22. Вследствие прохождения пучка электронов через элементы

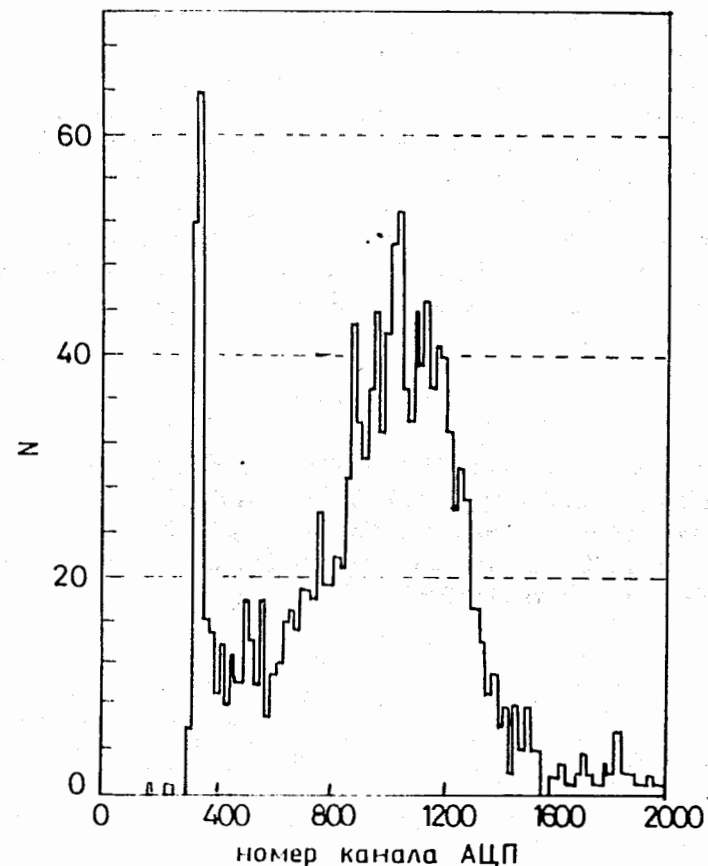


Рис.5. Распределение по величине сигналов со второй по глубине башни

установки СВД, которые по ряду причин было невозможно убрать с трассы пучка, он имел широкий импульсный спектр. Это было подтверждено последующим анализом данных, полученных в сеансе с помощью модуля ЭМК.

При тщательном заземлении всех блоков электроники было найдено, что можно свести к минимуму электрические наводки и предотвратить возможные самовозбуждения предусилителей даже при использовании только «защитного» заземления. Устойчивый сигнал с башен, через которые проходили выделяемые триггерной системой электроны, наблюдался при напряженности электрического поля промежутка катод — анод начиная с 0,5 кВ/мм. На рис.5 представлено распределение сигналов по величине со второй башни

по ходу пучка. Максимум продольного развития электромагнитного каскада как раз приходится на вторую башню.

Проведение исследований с модулем ЭМК показало, что принципиально стенд пригоден для прецизионных исследований различных по конструкции модулей жидкоаргонных ЭМК. Вместе с тем для таких исследований необходимо свести к минимуму количество вещества по всей достаточно протяженной трассе пучка электронов. Требуется и совершенствование системы триггирования пучка электронов для исключения уже на уровне триггера событий, генерируемых электронами меньших энергий от электромагнитного каскада, возникающего по трассе канала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов С.П. — Препринт ИФВЭ 88-14, Протвино, 1988.
2. RD Collaboration, Berger C. et al. Proposal CERN/DRDC/93-02, 1993.
3. Н1-коллаборация. Техническое предложение, 1985.
4. Головин В.М., Краснокутский З.Н., Курчанинов Л.Л. и др. — Препринт ИФВЭ 89-231, Протвино, 1989.