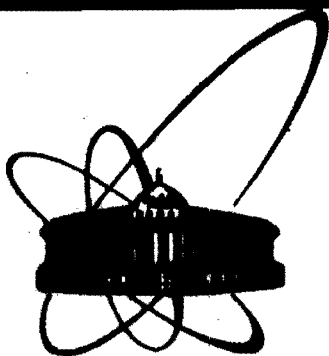


86-368



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

8-86-368

Н.Н.Агапов, В.И.Батин, В.А.Белушкин,  
В.В.Крылов

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ВНЕШНЕЙ КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СИНХРОТРОНА СПИН**

**ОИЯИ  
БИБЛИОТЕКА**

**1986**

## ВВЕДЕНИЕ

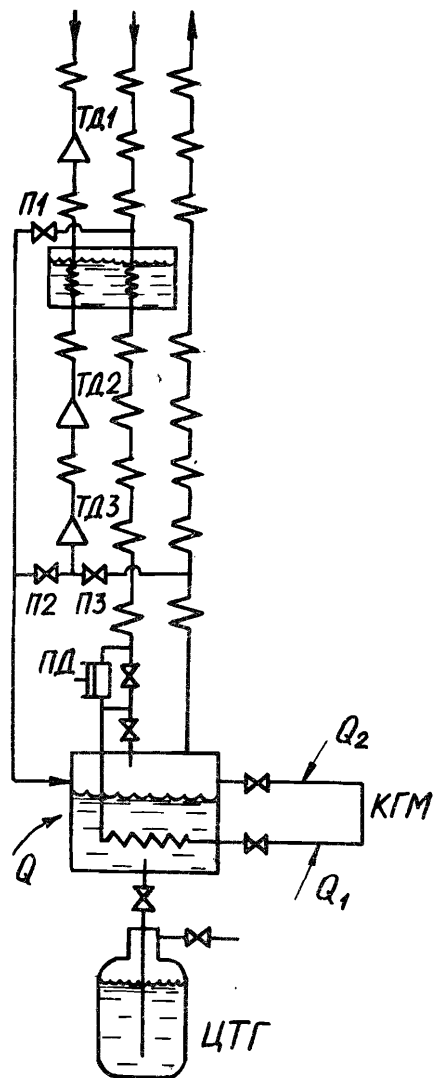
В ЛВЭ ОИЯИ завершается сооружение сверхпроводящего синхротрона СПИН на энергию  $1,5 \text{ ГэВ}^{1/}$ . Краткое описание его криогенной схемы приведено в работе <sup>12/</sup>.

В настоящей статье обсуждаются результаты испытаний основных элементов внешней криогенной системы: собственно криогенной гелиевой установки КГУ-1600/4,5<sup>3/</sup> и криогенных гелиевых магистралей (КГМ), связывающих установку со СПИНом. Целью испытаний было определение характеристик установки при одновременном производстве холода и жидкого гелия с различным составом оборудования в холодильном цикле, определение теплопритоков к КГМ, оптимизация режимов ведения основных процессов при охлаждении и криостатировании СПИНа, имитация нестандартных и аварийных ситуаций.

## ПУСКОВАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Главные требования, которым должна удовлетворять пусковая схема, — минимальное время запуска, экономное расходование электроэнергии и жидкого азота. Переключения пусковых линий не должны вызывать резких изменений в режиме работы установки. В ходе наладочных работ на установке КГУ-1600/4,5 была введена в действие простая и эффективная пусковая схема, удовлетворяющая этим требованиям. Управление потоками охлаждающего газа производится посредством вентилях П1, П2 и П3 (рис.1). При температуре обратного гелия на выходе из сборника  $T > 120 \text{ К}$  открыты вентили П1 и П2. В интервале  $20\text{К} < T < 120 \text{ К}$  открыт вентиль П2, а вентили П1 и П3 закрыты. При температуре на выходе из сборника  $T < 20 \text{ К}$  пусковая схема свою работу заканчивает: вентиль П3 открывается, а вентиль П2 закрывается.

Ход пускового периода установки иллюстрирует рис.2, на котором в зависимости от времени с начала пуска показана температура обратного потока гелия, выходящего из сборника жидкости. Кривая 1 соответствует случаю, когда пусковой вентиль П1 не используется, и охлаждение установки идет без подливки жидкого азота, т.е. только за счет работы турбодетандеров, кривая 2 — с подливкой жидкого азота. При этом разница в длительности начальной стадии пускового периода ( $T > 120 \text{ К}$ ) составляет 2,5 часа, т.е. использо-



вание жидкого азота приводит к сокращению пускового периода с 7,5 до 5 часов. При  $T < 120 \text{ K}$  обе кривые эквидистантны.

Рис.1. Принципиальная схема установки КГУ-1600/4,5 с подключенными криогенными гелиевыми магистралями (КГМ), цистерной жидкого гелия (ЦТГ) и пусковыми вентилями П1, П2 и П3. ТД1, ТД2, ТД3 — турбодетандеры; ПД — поршневой детандер; Q — холодопроизводительность (мощность нагревателя);  $Q_1, Q_2$  — теплопритоки к КГМ.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ

Как известно, при криостатировании сверхпроводящих устройств криогенная установка чаще всего работает в комбинированных режимах, когда кроме производства холода одновременно вырабатывается некоторое количество жидкого гелия для заполнения криостата или холодного газообразного гелия для охлаждения тоководов. Для оптимизации таких комбинированных режимов необходимо знание характеристики установки, т.е. зависимости между холодопроизводительностью и количеством получаемого жидкого гелия <sup>1/4</sup>.

Методика измерений заключалась в следующем. При заданной холодопроизводительности, равной мощности нагревателя в сборнике жидкого гелия, измеряли скорость падения уровня газгольдера, эквивалентную скорости накопления жидкого гелия в сборнике. Снимали только ту часть характеристики, которая соответствует работе установки совместно со СПИном, т.е. область преимущественно рефрижераторных режимов.

Экспериментальные характеристики показаны на рис.3. Хотя установка КГУ-1600/4,5 в рефрижераторном режиме может работать

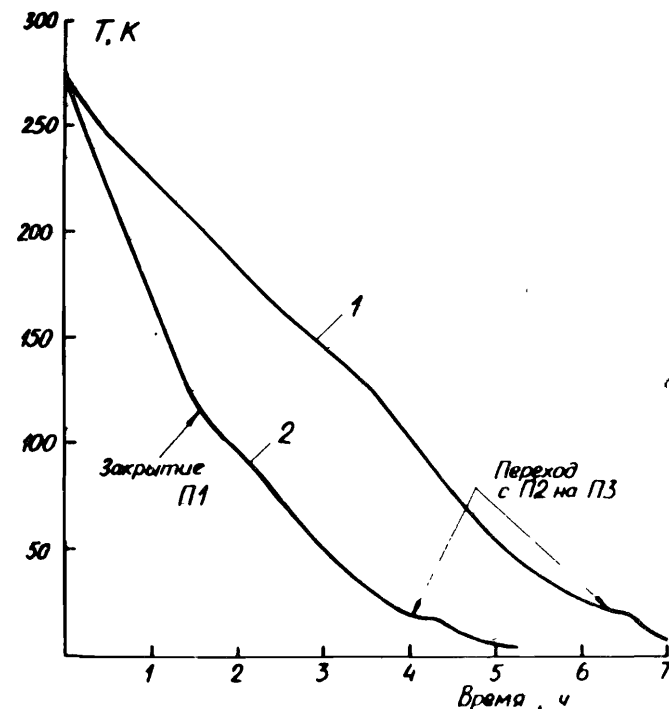


Рис.2. Температура на выходе обратного потока из сборника жидкого гелия в ходе пускового периода. 1 — пуск без жидкого азота (вентиль П1 закрыт); 2 — пуск с жидким азотом.

без использования жидкого азота, мы предпочитали во всех режимах использовать жидкий азот. В этом случае установка работает более устойчиво, облегчается управление ею. Расчетное давление на входе в установку — 2,5 МПа. В экспериментах поддерживалось более низкое давление — 2 МПа, поскольку дальнейшее повышение давления вызывает перегруз на II ступени компрессоров из-за недостаточной герметичности клапанов. Суммарная номинальная производительность компрессоров  $3600 \text{ нм}^3/\text{ч}$ .

Характеристика 1 получена с поршневым парожидкостным детандером в ступени окончательного охлаждения и с двумя турбодетандерами в ступени предварительного охлаждения (без турбодетандера 1, рис.1). С целью оптимального распределения потоков гелия между основной и турбодетандерной ветвями давление на входе в последнюю дросселировалось до 1,75–1,8 МПа.

В этом случае показатели установки даже несколько превышают проектные (расчетная точка  $1850 \text{ Вт} + 50 \text{ л/ч}$ ), несмотря на работу при более низком давлении гелия.

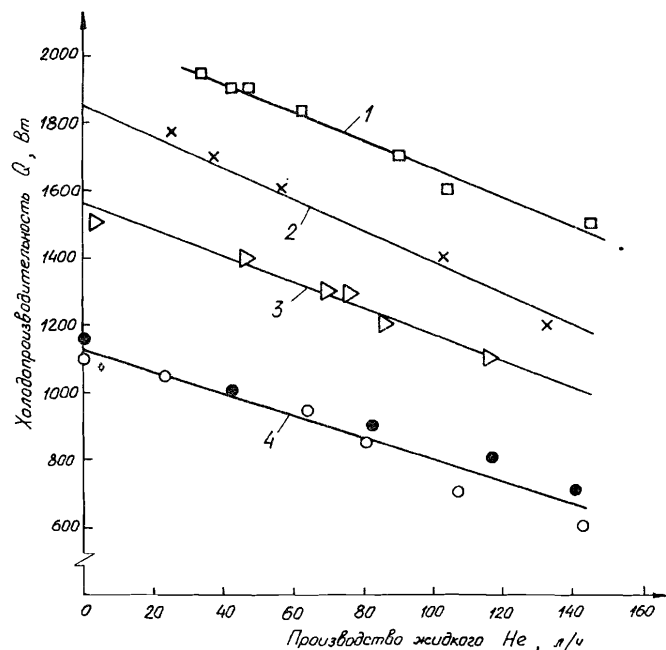


Рис.3. Характеристики установки КГУ-1600/4,5 при одновременном производстве холода и жидкого гелия.

1 — поршневой парожидкостный детандер, жидкий азот, два турбодетандера; 2 — то же с тремя турбодетандерами; 3 — дроссельный режим, четыре компрессора; 4 — то же, три компрессора.

Характеристика 2 соответствует работе с поршневым парожидкостным детандером, тремя турбодетандерами в ступени предварительного охлаждения и с жидким азотом. В этом случае холодопроизводительность установки снижается примерно на 250 Вт, что объясняется недостаточной пропускной способностью первого турбодетандера, в результате чего не удастся обеспечить оптимальное распределение потоков сжатого гелия при расходе  $3600 \text{ нм}^3/\text{ч}$ .

Характеристика 4 получена без поршневого парожидкостного детандера, т.е. в дроссельном режиме. При такой работе показатели установки слабо зависят от того, включены ли в ступени предварительного охлаждения три турбодетандера (светлые точки) или два (темные точки). Эта характеристика располагается на  $850\text{--}900$  Вт ниже первой, т.е. остановка парожидкостного детандера снижает холодопроизводительность почти вдвое. Для форсирования установки при работе в дроссельном режиме можно подключить резервный компрессор, увеличив расход гелия до  $4800 \text{ нм}^3/\text{ч}$ . Холодопроизводительность при этом возрастает примерно на 400 Вт, однако включение дополнительного компрессора приводит к увеличению давления в сборнике

жидкого гелия с  $0,028$  до  $0,044$  МПа, что повышает температуру криостатирования магнитов на  $0,13$  К.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРИТОКОВ К КРИОГЕННЫМ ГЕЛИЕВЫМ МАГИСТРАЛЯМ

Криогенная установка находится на расстоянии  $\sim 60$  м от ускорителя и соединяется с ним двумя криогенными магистралями:  $d_y = 25$  мм — прямой поток,  $d_y = 56$  мм — обратный поток. КГМ имеют простейшую конструкцию типа труба в трубе без охлаждаемых экранов. Внутренние трубы изолированы 30 слоями металлизированного лавсана с прокладками из стеклохолста. Опоры — стекло-текстолитовые. Температурные компенсаторы изготовлены из сильфонных шлангов. Начальный вакуум в изоляционном пространстве  $5 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст. Суммарный теплоприток к КГМ определялся методом сравнения характеристик (рис.4). Зависимость 1 получена для дроссельного режима в отсутствие циркуляции жидкости по КГМ. В том же режиме, но с циркуляцией жидкости по КГМ, получена зависимость 2, точки на которой располагаются ниже исходной кривой. Разность ординат соответственных точек равна суммарному теплопритоку к КГМ и составляет  $\sim 350$  Вт. В дальнейшем в месте закольцовки КГМ был установлен термометр, что и позволило определить теплопритоки отдельно к прямому ( $\sim 110$  Вт)

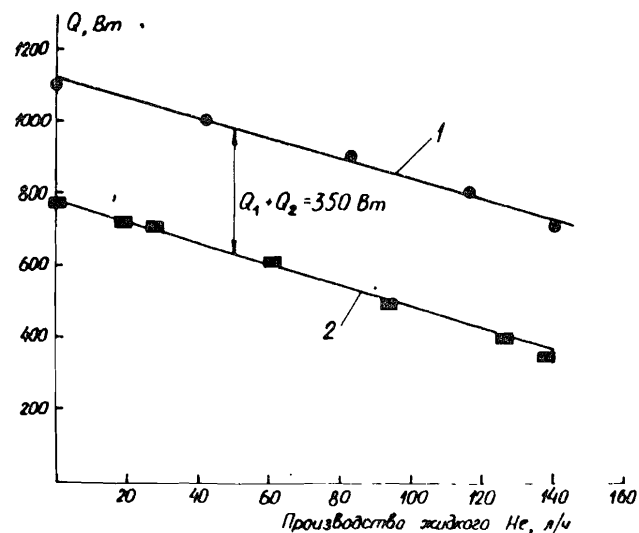


Рис.4. Определение теплопритоков к криогенным гелиевым магистралям методом сравнения характеристик. 1 — дроссельный режим без циркуляции гелия в КГМ; 2 — то же, с циркуляцией жидкости в КГМ;  $Q_1 + Q_2$  — сумма теплопритоков к КГМ.

и обратному потоку ( $\sim 240$  Вт). В среднем удельный теплоприток в КГМ, отнесенный к поверхности внутренней трубы, составляет  $\sim 17$  Вт/м<sup>2</sup>.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БУФЕРНОЙ ЕМКОСТИ С ЗАПАСЕННЫМ ЖИДКИМ ГЕЛИЕМ

В период запуска криогенной системы рефрижератор наряду с производством жидкого гелия должен компенсировать теплопритоки к криостату и трубопроводам. Естественно, это ограничивает скорость накопления жидкого гелия в криостате. Период запуска можно сократить, если на конечной стадии использовать заранее запасенный жидкий гелий.

Для хранения запаса жидкости предполагается использовать две цистерны ЦТГ-0,5/0,7. Процессы перекачивания жидкого гелия из сборника установки КГУ-1600/4,5 в цистерну и обратно характеризуются графиками на рис.5. Обе кривые получены в рефрижераторном режиме при холодопроизводительности около 1200 Вт, когда в исходном состоянии уровень жидкости в сборнике был практически стабилизирован. Из рисунка видно, что пополнение криогенной системы жидким гелием из цистерны велось со скоростью  $\sim 825$  л/ч, а заливка цистерны — со скоростью  $\sim 900$  л/ч.

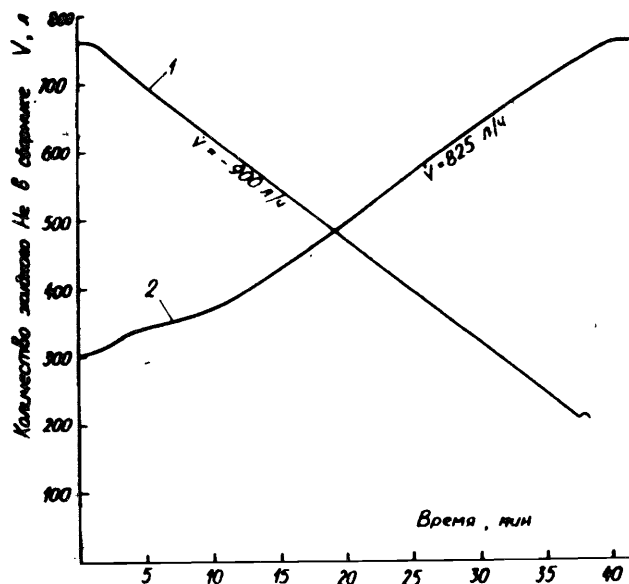


Рис.5. Количество гелия в сборнике КГУ-1600/4,5 в ходе перекачивания жидкости в цистерну ЦТГ (1) и обратно (2).

Таким образом, запасенный гелий в количестве  $\sim 1000$  л на конечной стадии процесса запуска системы может быть выдавлен из цистерны за  $1,5 \div 2$  часа.

### ВЫВОДЫ

На установке КГУ-1600/4,5 при работе с двумя турбодетандерами, жидким азотом и поршневым парожидкостным детандером достигнуты проектные показатели ( $1850$  Вт +  $50$  л/ч жидкого гелия). В составе криогенной системы СПИНа при теплопритоке к трубопроводам  $400$  Вт (с учетом дополнительных трубопроводов, связывающих криогенные магистрали со СПИном) и сбросе  $70$  л/ч жидкого гелия через токовводы установка может скомпенсировать дополнительный теплоприток до  $1400$  Вт. Режим с поршневым парожидкостным детандером целесообразно использовать при накоплении жидкого гелия в криостате СПИНа, запитке магнитов током и вводе ускорителя в режим. В пусковой период целесообразно заранее запастись жидким гелием в буферной емкости ЦТГ-0,5/0,7 с тем, чтобы использовать его для ускорения процессов охлаждения и заливки криостата СПИНа. Для стационарных условий, возможно, будет достаточно холодопроизводительность установки в дроссельном режиме, при котором допустимый теплоприток к гелию в криостате СПИНа составляет  $500$  Вт. Если все же окажется, что холодопроизводительность мала, можно форсировать установку подключением резервного компрессора, что позволит скомпенсировать теплоприток в  $900$  Вт и обеспечит нормальное криостатирование СПИНа даже при выходе из строя парожидкостного детандера.

Таким образом, внешняя криогенная система подготовлена к проведению криогенных испытаний СПИНа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-582, Дубна, 1983.
2. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-85-593, Дубна, 1985.
3. Пронько В.Г., Краковский Б.Д. ОИЯИ, Р18-12147, Дубна, 1979, с.347.
4. Криогенные приборы и устройства в ядерной физике (под ред. А.Г.Зельдовича). Энергоиздат, М., 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июня 1986 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к
	Труды IX Всероссийского совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	10 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Аганов Н.Н. и др.

8-86-368

Результаты предварительных испытаний внешней криогенной системы для сверхпроводящего синхротрона СПИН

Обсуждаются результаты испытаний элементов внешней криогенной системы для сверхпроводящего синхротрона СПИН.

Рассмотрена пусковая схема рефрижератора, обеспечивающая наиболее эффективное проведение пускового периода. Приводятся экспериментальные характеристики установки КГУ-1600/4,5 при одновременном производстве холода и жидкого гелия. Характеристики сняты в различных комбинациях состава оборудования: с дросселем и парожидкостным детандером, на двух и трех турбодетандерах в ступени предварительного охлаждения. Определены теплопритоки к криогенным гелиевым магистралям общей длиной около 160 метров. Рассмотрена возможность использования в качестве буферной емкости цистермы жидкого гелия ЦТГ-0,5/0,7. Оценены допустимые теплопритоки к жидкому гелию в СПИНе, при которых можно обеспечить надежное криостатирование магнитов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Визюровой

Agapov N.N. et al.

8-86-368

Results of Preliminary Tests of An External Cryogenic System for the SPIN Superconducting Synchrotron

Results of testing elements of an external cryogenic system for the SPIN superconducting synchrotron are discussed. A cooling circuit of the refrigerator is considered providing the most effective performance of cooling. Experimental characteristics of the KGU-1600/4,5 cryogenic helium refrigerator are presented for simultaneous production of cold and liquid helium. The characteristics are taken for different combinations of the equipment: with a throttle and a steamliquid expansion engine, on two and three turboexpanders at the stage of preliminary cooling, with and without the use of liquid nitrogen. Heat flows to the cryogenic helium tubings with a total length of 160 m are determined. The possibility of using TrTG-0,5/0,7 liquid helium tank as a buffer capacity is considered. Allowable heat flows to the liquid helium in SPIN are estimated at which reliable refrigeration of the magnet can be achieved.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986