

А.В. Брагин, Ю.С. Попов, Г.А. Храмов

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
630090, Новосибирск, Россия

Аннотация

В данном препринте рассматривается схема перелива жидкого гелия из одного криогенного сосуда в другой, основанная на принципе наддува. Описана конструкция переливного сифона, у которого все герметичные соединения выполнены аргонодуговой сваркой. Разработан запорный клапан, обеспечивающий управление процессом перелива жидкого гелия.

А.В. Брагин, Ю.С. Попов, Г.А. Храмов

**ПЕРЕЛИВ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ
И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПЕРЕЛИВНОГО СИФОНА**

Liquid helium transferring and the technology for the transfer tube

A.V. Bragin, Yu.S. Popov, G.A. Khramov.

Budker Institute of Nuclear Physics
630090, Novosibirsk, Russia

Abstract

In this preprint the scheme of transferring of liquid helium from one cryogenic vessel to another based on the pressurized transfer principle is considered. The design of the transfer tube having only argon-arc welded joints is described. The priming valve is developed which provides a driving of the helium transfer process.

ИЯФ 2000-73

Новосибирск
2000

© Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

необходимый для перелива перепад давления получают путем повышения давления в объеме транспортной емкости за счет перегрева самого жидкого гелия или наддувом в этот объем газообразного гелия. Каждый из указанных способов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому выбор способа перелива производится в каждом конкретном случае с учетом требуемой скорости перелива и других условий эксплуатации.

Перелив гелия с помощью вакуумного насоса показан на рис. 1. Максимальная скорость перелива при этом способе ограничена производительностью насоса, установленного на гелиевой выходной магистрали наполняемой емкости. Оценки показывают, что вакуумный насос с производительностью 5 л/с и при тепловой нагрузке к объему жидкого гелия превышающей 20 Вт не будет справляться с газовой нагрузкой; кроме того, нужно учитывать, что при захлаживании криостатируемого объекта потребуются еще

Существует большое количество разнообразных конструкций переливных сифонов для жидкого гелия. Они разрабатываются не только известными фирмами, но и небольшое количество инженеров-криогенистов других лабораторий создают свои конструкции. Прежде всего, это связано с тем, что во-первых, каждая конструкция сифона разрабатывается для удовлетворения своих конкретных требований обеспечения жидким гелием, во-вторых, цена на данное изделие не всегда может оказаться доступной. Последние обстоятельства приводят к тому, что переливные сифоны не всегда имеют оптимальную конструкцию и часто малый срок службы.

В настоящей работе рассматриваются способ перелива жидкого гелия и конструкция переливного сифона со сварными соединениями для его реализации. Конструкция и технология изготовления переливных сифонов данного типа отработывалась и проверялась при самых жестких условиях эксплуатации, в связи с чем выработался определенный подход к изготовлению данных устройств [1]. Это позволяет надеяться, что описанные ниже конструкция и технология изготовления переливного сифона позволят решить ряд конструктивных и технологических проблем и упростят эксплуатацию данного устройства.

2. Схемы перелива жидкого гелия

Перелив жидкого гелия из одного сосуда в другой осуществляется с помощью переливного сифона. Создать перепад давления между концами сифона можно двумя способами: в первом перепад давления образуется за счет понижения давления в объеме накопительной емкости с помощью вакуумного насоса, устанавливаемого на возвратной магистрали. Во втором способе

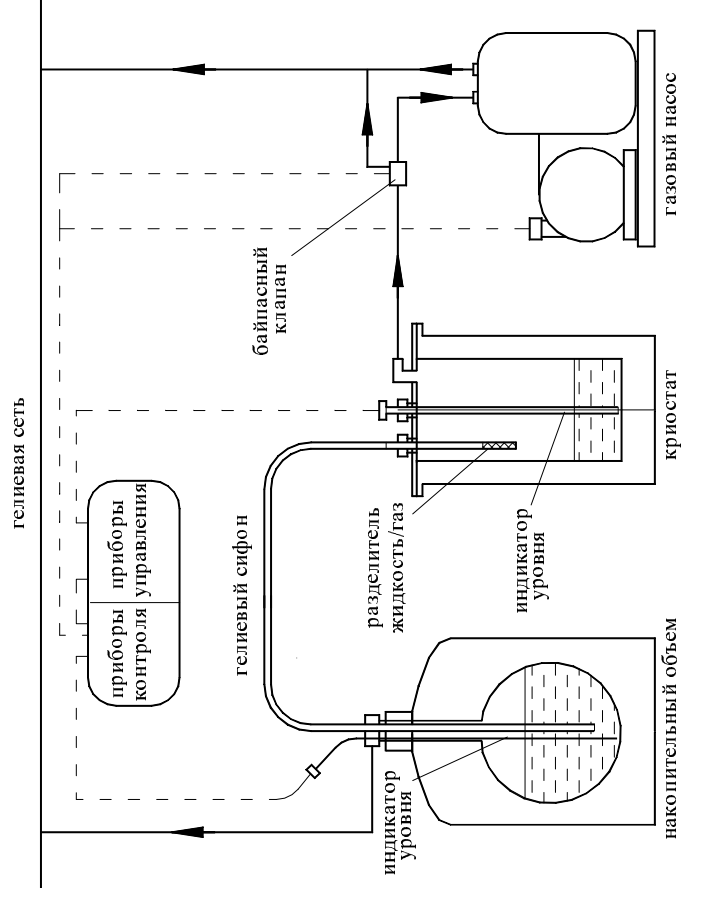


Рис 1. Схема перелива жидкого гелия с помощью насоса.

большая производительность насоса. Газообразный гелий, поступающий на вход вакуумного насоса, необходимо дополнительно подогреть для исключения аварийной ситуации в самом насосе. Некоторые конструкции переливного сифона, реализующие данную схему, имеют элементы автоматизации и управления (игольчатый вентиль, дополнительный газовый канал внутри сифона для испаряющегося гелия, который потом стывается с вакуумным насосом), что может осложнить применение подобных сифонов по другой схеме перелива, так и при необходимости перелива из накопительной емкости в транспортную.

Специалисты фирмы Oxford Instrumentation, выпускающей данное оборудование, рекомендуют использовать свои сифоны при производительности не более 60 л/ч по жидкому гелию [2].

В данной работе рассматривается схема перелива, показанная на рис. 2. Предлагаемая схема в принципе не отличается от ранее использованных, однако, те небольшие изменения, которые в ней осуществлены, весьма существенны и гарантируют высокоэффективный перелив жидкого гелия с высокой объемной скоростью. Переливной сифон в данной схеме разделен на два самостоятельных устройства (коаксиал для заправки и сливной коаксиал), герметично соединенных между собой с помощью быстроразъемного соединения типа «сухой Вильсон». Сливной коаксиал, постоянно находится в криостатируемом объекте и может быть в принципе выполнен заодно.

В предлагаемой схеме перелива используется запорный клапан, который установлен на конце вертикального коаксиала, который устанавливается в транспортную емкость для заправки как показано на рис.2. Для его открытия достаточно, после касания клапана дна транспортного сосуда, поступательно переместить вертикальный штык вдоль его оси на несколько миллиметров.

Описанная ниже совокупность решений позволяет устранить известные недостатки, присущие выпускаемым фирмами переливным сифонам. Например, запорный игольчатый вентиль переливного сифона, выпускаемого фирмой «ВНИИ Криогенмаш» [3], является поставщиком дополнительного «паразитного» тепла к жидкому гелию. Это происходит вследствие того, что при опускании запорного вентиля в транспортную емкость и следующем его открытии, объем коаксиального тупикового зазора то наполняется жидким гелием, то опорожняется, в результате чего возникают термоакустические колебания, благодаря которым значительное количество тепла весьма интенсивно «закачивается» в жидкий гелий.

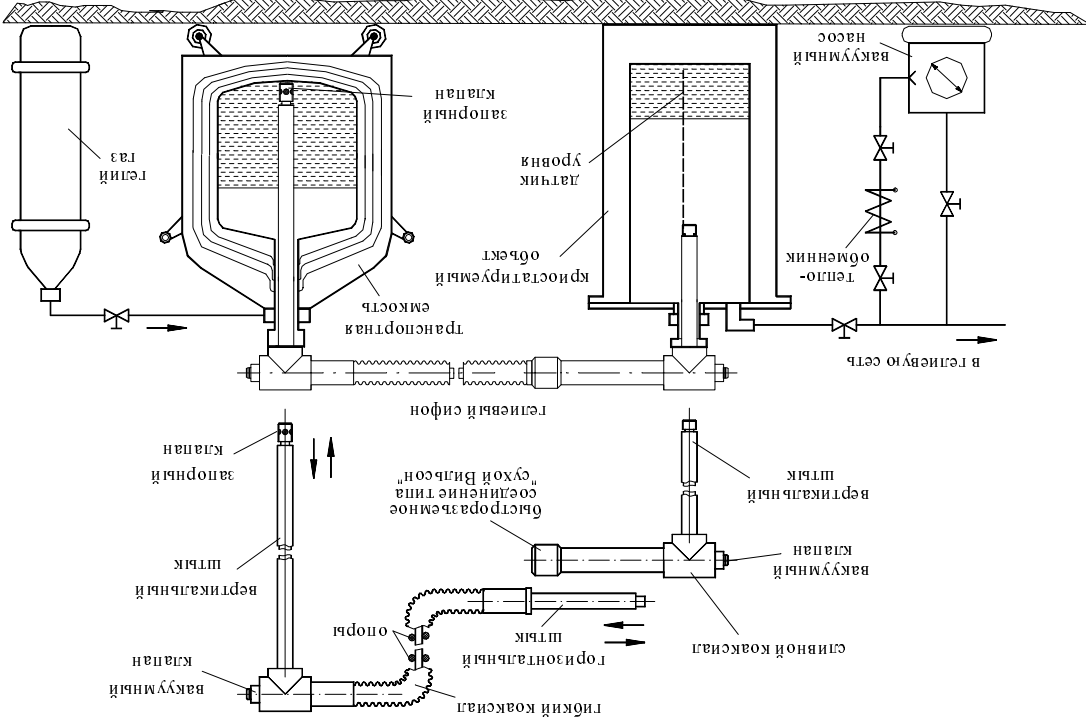


Рис. 2. Схема перелива жидкого гелия с помощью наддува.

3. Конструкция гелиевого сифона

3.1. Сливной коаксиал

Конструкция переливного гелиевого сифона состоит из двух частей: коаксиал для заправки и сливной коаксиал, см. рис. 3. Сливной коаксиал, который выполнен из горизонтального и вертикального участков, см. рис. 3 а), устанавливается в накопительную емкость. При необходимости на нем могут быть установлены уровень и датчик температуры. Оба участка выполнены в виде двух коаксиальных трубопроводов, межтрубное пространство которых находится под вакуумом. При этом внутренняя труба сливного коаксиала обмотана многослойно-вакуумной изоляцией и зафиксирована относительно наружной трубы с помощью малотеплопроводных опор, аналогичных опорам вертикального штыка гибкого коаксиала. На конце горизонтального участка сливного коаксиала установлено быстроразъемное соединение, выполненное из фторопластовой втулки и резинового кольца, заключенных в полый стакан с нажимной гайкой. На конце вертикального участка сливного штыка выполнена резьба для подсоединения удлинительного штыка, измерителя уровня жидкого гелия и датчика температуры, если для последних не предусмотрен специальный ввод.

3.2. Коаксиал для заправки

Коаксиал для заправки показан на рис. 3, б), который тоже можно условно разделить на гибкий коаксиал и вертикальный штык. Вообще гибкие коаксиалы давно утвердились как удобный и надежный элемент конструкции переливных устройств [4, 5]. Один торец гибкого коаксиала соединен с вертикальным штыком, другой с горизонтальным, который в свою очередь, герметично стыкуется со сливным коаксиалом. На торце горизонтального участка гибкого коаксиала установлен вакуумный клапан для откачки межтрубного пространства.

Вертикальный штык, опускаемый в транспортную емкость, имеет на конце резьбу для подсоединения запорного клапана. В нижней части межтрубного пространства вертикального штыка установлен сорбционный патрон, предназначенный для откачки трудноконденсируемых газов. Коаксиальные трубопроводы, включая прямые участки, зафиксированы друг относительно друга при помощи малотеплопроводных опор. В гибком коаксиале малотеплопроводные опоры выполняются в виде шаров из фторопласта или стекла, которые жестко закреплены на внутренней трубе с помощью гибкой нити, а на прямых участках коаксиала для заправки эти опоры

выполняются в виде стеклянных бусин, которые нанизаны на металлические элементы и жестко закреплены на внутренней трубе с помощью контактной сварки.

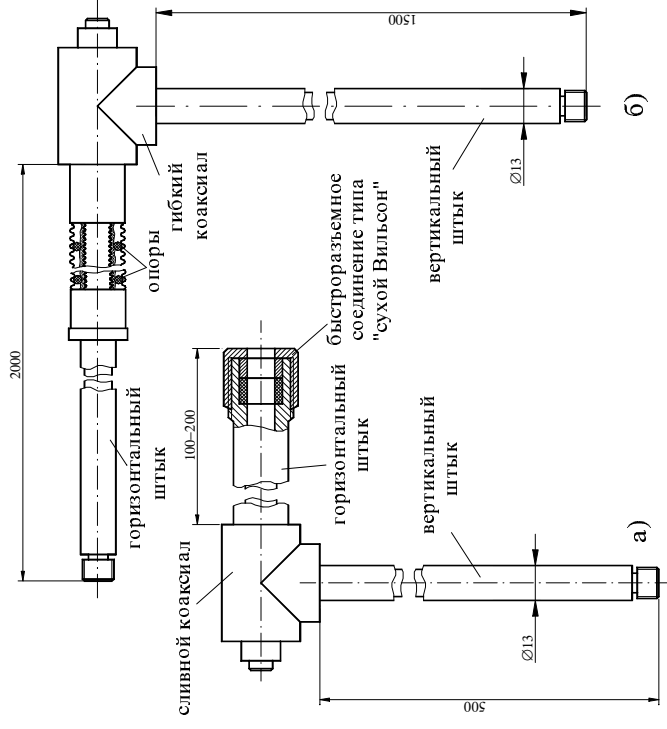


Рис. 3. Коаксиал для заправки а) и сливной коаксиал б).

3.3. Запорный клапан

Вертикальный штык сливного коаксиала снабжен специально разработанным запорным клапаном, который по устройству принципиально отличается от широко используемого игольчатого клапана [4 – 6]. Конструкция запорного клапана включает плоский золотник с притертыми поверхностями, что позволяет повысить его надежность и существенно упростить систему контроля за уровнем жидкого гелия. Его использование упрощает заправление гелиевого сифона.

Общий вид конструкции клапана показан на рис. 4. Корпус имеет специальную резьбу для крепления к вертикальному штыку и участок с прямоугольным профилем, к которому прижимаются с помощью фиксаторов четыре плоских сегмента. При этом сопрягаемые поверхности корпуса и

сегментов обрабатываются по высокому классу точности с одновременной защитой от истирания. Фиксаторы устанавливаются в специальные проточки, образованные в корпусе и сегментах, они изготовлены из легированной термостойчивой стали. Крепление клапана к вертикальному штыку гибкого коаксиала выполнено с помощью резьбового соединения со стороны корпуса.

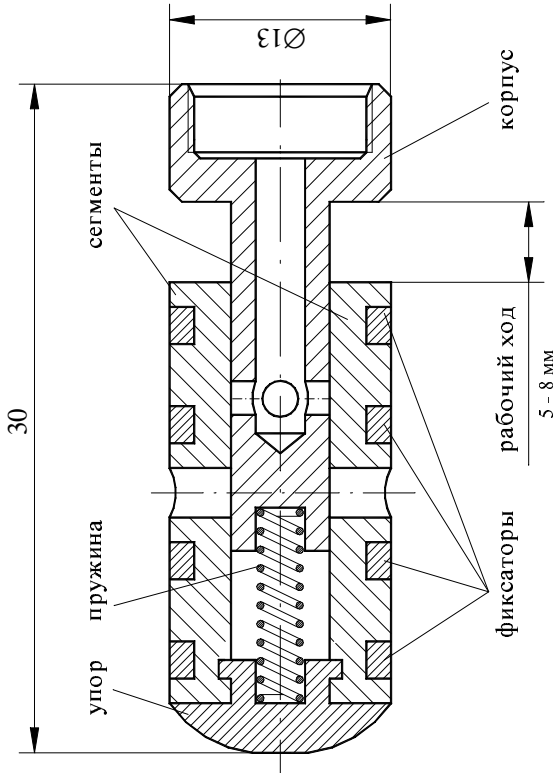


Рис. 4. Запорный клапан.

Открытие-закрытие клапана осуществляется поступательным движением корпуса относительно сегментов и упора. Последняя операция может осуществляться как вручную, так и автоматически, например, с помощью электромагнита, установленного на верхней части вертикального штыка. В принципе клапан конструктивно может быть выполнен как нормально закрытым, так и нормально открытым, но работа с нормально закрытым клапаном значительно проще как в режиме ручного, так и автоматического управления.

Описанная конструкция запорного клапана исключает все известные нежелательные явления, присущие запорным вентилям, и тем самым способствует снижению теплопритоков к жидкому гелию во всех режимах работы гелиевого сифона.

4. Технология изготовления переливного сифона

4.1. Обеспечение герметичности корпуса гелиевого сифона

Все герметичные соединения в конструкции гелиевого сифона были выполнены с помощью аргонодуговой сварки, поскольку сварные сифоны, в отличие от паяных, полнее отвечают современным требованиям их эксплуатации. Наиболее сложной операцией сборки сифона является сварка тонкостенных соединений: в конструкции сифона использовались трубки типа 13x0,3 и 12x0,2, а также тонкостенный сифон. Это связано с тем, что сварные швы тонкостенных конструкций, как правило, не являются равнопрочными с основным металлом и поэтому плохо воспринимают переменные нагрузки, в том числе термические, возникающие при циклическом воздействии низких температур. Данная проблема решалась с помощью специальных упрочняющих втулок, которые устанавливались в местах сварки. Такие втулки предварительно механически соединяют с тонкостенными структурами методом холодной высадки, а уже затем сваривают между собой. При разработке конструкции уплотняющих втулок следует учитывать процесс сборки сифона и избегать создания местных гидравлических сопротивлений.

В месте соединения торцов гибкого коаксиала с прямолинейными участками штыков, см. рис. 5, упрочняющие втулки выполнены в виде коаксиальных колец, а при соединении прямолинейных участков труб между собой, см. рис. 6 они выполнены в виде усеченных конусов с центральными отверстиями и фиксирующими канавками на боковых поверхностях, обращенных в сторону упрочняемых труб.

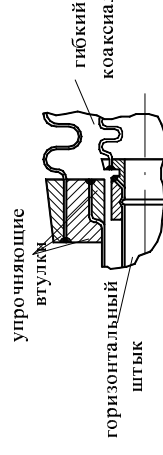


Рис. 5. Соединение гибкого коаксиала с горизонтальным штыком.

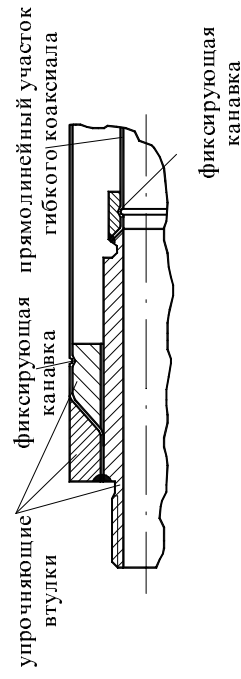


Рис. 6. Соединение коаксиальных труб между собой.

К достоинству сифонов со сварными соединениями следует отнести то, что для их изготовления не требуется ни дорогостоящих материалов, ни вакуумных печей для пайки и к тому же сварные конструкции сифонов лучше переносят термодары и прогрев.

4.2. Способ обеспечения высокого вакуума в переливном сифоне

Обеспечение высокого вакуума в межстенном пространстве гелиевого сифона реализуют как с помощью предварительной вакуумной откачки, так и с помощью сорбции газов в процессе перелива жидкого гелия [6]. Для осуществления предварительной вакуумной откачки в данной конструкции гелиевого сифона были разработаны вакуумный ключ и вакуумный клапан, см рис. 7. Вакуумный ключ обеспечивает герметичное разборное соединение корпуса гелиевого сифона с вакуумной системой откачки. В качестве средств откачки целесообразно применять турбомолекулярные или криогенные насосы. В последнем случае для удаления трудноконденсируемых примесей необходимо процесс откачки чередовать с напуском чистого легкоконденсируемого газа, например углекислого газа, а сам гелиевый сифон прогревать до 100° С.

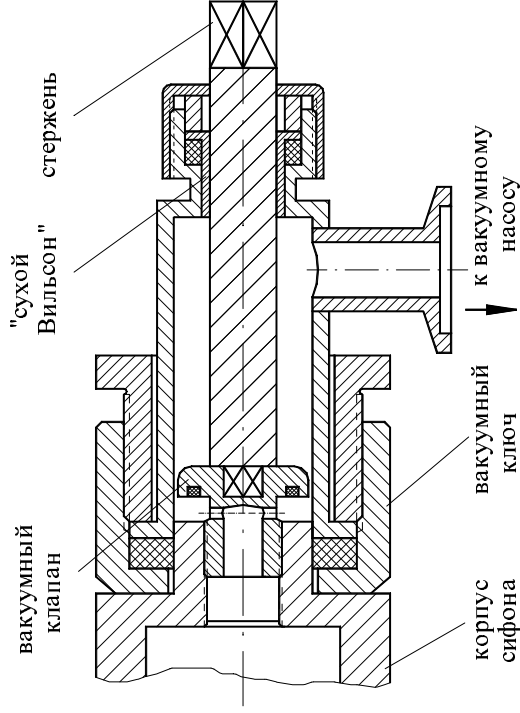


Рис. 7. Вакуумный клапан и вакуумный ключ.

В предлагаемой конструкции гелиевого сифона вакуумный клапан выполнен в виде болта с эластичной прокладкой у основания. Эластичная прокладка должна быть изготовлена из витона или другого высокотемпературного эластомера, чтобы допустить вакуумирование гелиевого сифона при прогреве. Вакуумный ключ имеет разъемное соединение для крепления к корпусу гелиевого сифона; стержень с вакуумным уплотнителем типа «сухой Вильсон» позволяет открывать-закрывать вакуумный клапан в процессе вакуумирования гелиевого сифона.

Достоинства данной конструкции вакуумного клапана и вакуумного ключа состоят в том, что они просты в изготовлении, надежны при эксплуатации и их дизайн не создает значительных габаритов предлагаемого гелиевого сифона.

5. Заключение

Разработанный гелиевый сифон имеет полностью свариваемую конструкцию, благодаря чему повышается надежность и время службы устройства. Сифон со сварными соединениями может быть использован для работы со сверхтекучим гелием. Кроме этого разработаны устройства вакуумирования сифона и запорный клапан, позволяющий осуществить автоматизацию процесса перелива жидкого гелия. Известно, что такая автоматизация существенно упрощает контроль и поддержание жидкого гелия на требуемом уровне в криостате [7, 8]. Такой способ криостатирования может оказаться самым простым и эффективным для широкого круга задач, включая различные отрасли промышленности, в том числе энергетику и транспорт, где вопросы надежности стоят на первом месте. Авторы готовы обсудить любые предложения по вышеуказанной проблеме и будут признательны ко всем, кто проявит интерес к их разработке.

В заключение авторы благодарят профессора В.И.Волосова за поддержку их работы и Е.М.Овчарова за оказанную помощь при изготовлении экспериментальных образцов. Отдельную благодарность авторы выражают академику Л.М.Баркову за ряд серьезных замечаний, сделанных при подготовке данной публикации.

Литература

1. Брагин А.В., Попов Ю.С. Криовакуумная система для термоядерной установки, препринт ИЯФ №99-27, Новосибирск, 1999.
2. Каталог фирмы Oxford Instrumentation, Scientific research division, VAR 2.94106, H12.
3. Труды фирмы «ВНИИ Криогенмаш» «Техническое описание и инструкция по эксплуатации гелиевой транспортной емкости СТГ-100».
4. Фрадков А.Б., Гинюман В.Б. Гибкие сифоны для перелива жидкого гелия, ПТЭ, №1, 1970, стр.233-234.
5. Справочник по физико-техническим основам криогеники, п/р Малкова М.Н., «Энергия», М., 1973, стр. 340-341.
6. Фастовский Е.Г. и др. Криогенная техника, «Энергия», М., 1974, стр.442-445.
7. Брагин А.В., Попов Ю.С., Храмов Г.А. Способ перелива жидкого гелия из накопительной емкости в криостат потребителя, устройство для его осуществления и способ изготовления устройства, Патент РФ, заявка № 99123305 от 4.11.1999 г.
8. Попов Ю.С. Способ перекачки жидкого гелия и устройство для его осуществления, Авторское свидетельство СССР №986145, МК F17C 9/00, F25D 3/10 от 20.11.1980 (ранее не публиковалось).

А.В. Брагин, Ю.С. Попов, Г.А. Храмов

Перелив жидкого гелия и технология изготовления переливного сифона

A.V. Bragin, Yu.S. Popov, G.A. Khramov

Liquid helium transferring and the technology for the transfer tube

ИЯФ 2000-73

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев
Работа поступила 26.07. 2000 г.

Сдано в набор 25.09.2000 г.
Подписано в печать 26.09.2000 г.
Формат 60x90 1/16 Объем 1,1 печ.л., 0,9 уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ №73

Обработано на IBM PC и отпечатано
на ротарпринте ГНЦ РФ "ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН",
Новосибирск., 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11