

С.344.19
Б-9480

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИИ
ДУБНА



73/2-78

2/1-78

13 - 10979

Ю.П.Бушуев, В.П.Костин, А.В.Пожарский,
Е.П.Устенко

СИСТЕМА РАСШИРЕНИЯ УСТАНОВКИ "ЛЮДМИЛА"

Часть 1. Конструкция и эксплуатация

1977

13 - 10979

Ю.П.Бушуев, В.П.Костин, А.В.Пожарский,
Е.П.Устенко

СИСТЕМА РАСШИРЕНИЯ УСТАНОВКИ "ЛЮДМИЛА"

Часть 1. Конструкция и эксплуатация

Бушуев Ю.П. и др.

13 - 10979

Система расширения установки "Людмила". Часть 1.
Конструкция и эксплуатация

Описана система расширения установки "Людмила". Отмечены отличительные особенности ее конструкции. Приводятся параметры системы, достигнутые при длительной эксплуатации установки в сеансах облучения на синхротроне ИФВЭ. Система показала соответствие предъявляемым требованиям и готовность к длительной эксплуатации.

Механизм расширения совершил около 1,8 млн. циклов, в том числе около 25 тыс. - в режиме двух расширений камеры за один цикл работы ускорителя.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Bushuev J.P. et al.

13 - 10979

Expansion System of the "Ludmila" Installation.
Part 1. Construction and Operation

An expansion system of the "Ludmila" installation is described. Distinctive features are noted.

The parameters of the system obtained during long-time operation in exposure runs at the IHEP synchrotron are described. The systems shows that it meets the requirements and is ready for further long operation.

The expansion system has made about 1,8 million cycles including about 25 thousands made in the mode of two chamber cycles per accelerator cycle.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Создание системы расширения установки "Людмила" ^{1/} базировалось на опыте сооружения подобных систем, накопленном в Советском Союзе и за рубежом /см. известные публикации ^{2-6/}, а также на целом ряде самостоятельных конструкторских разработок, которые были выполнены в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ /см., например, ^{7-10/}. Конструкция механизма расширения представлена на рис. 1.

Основные данные

1. Система расширения установки "Людмила" имеет механизм расширения принудительного действия.

2. Привод механизма - пневматический, поршневой, с четырьмя клапанными блоками /обычно используются два блока/. Диаметр дюралевого поршня - 300 мм.

3. Силовая газовая среда в пневмоприводе - воздух. Диапазон рабочих давлений, действующих во всей системе расширения, - 1,5-25 кг/см².

4. Усилие, развиваемое при перемещении подвижных деталей /поршня/ механизма расширения:

оптимальное - 15 тонн;

максимальное - 30 тонн.

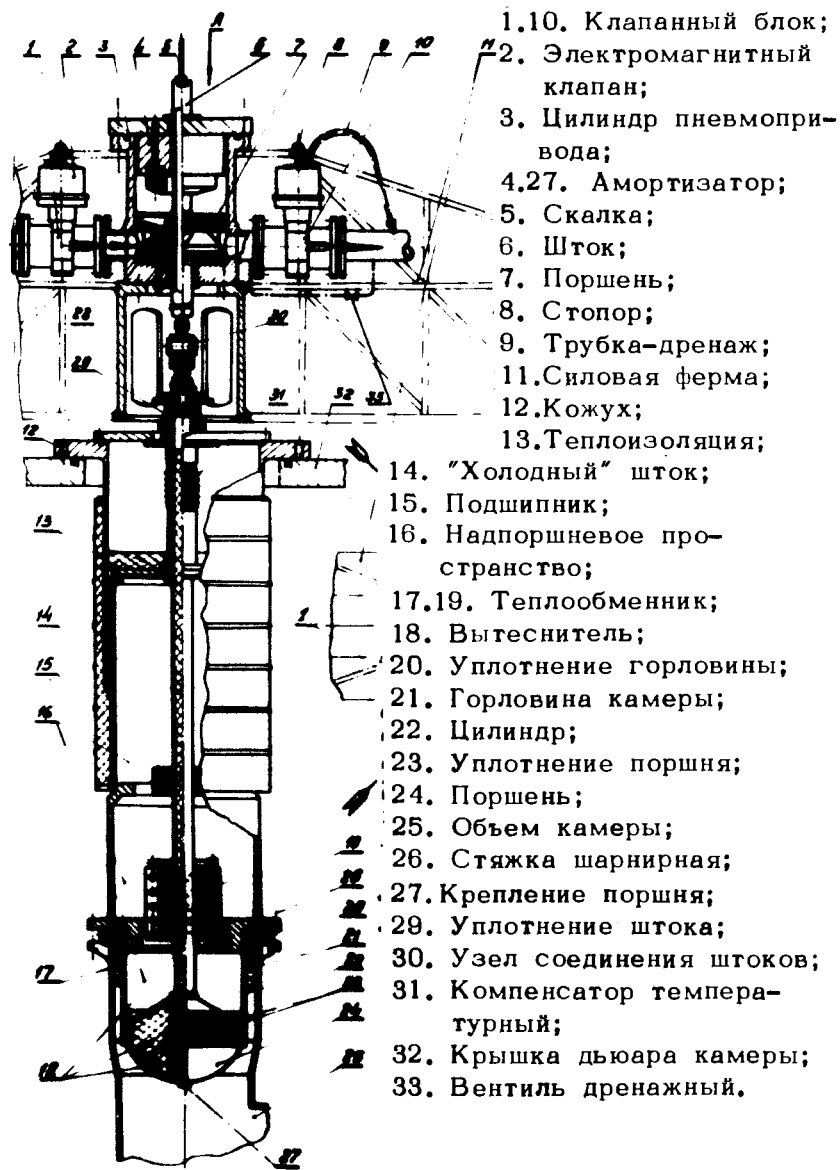
5. Ускорение при движении деталей механизма:

оптимальное - 150 g;

максимальное - 300 g.

6. Вес подвижных деталей - 85 кг.

7. Криогенное расширительное устройство /КРУс/ - поршневое, со стальным /ИХ18Н9Т/ пустотелым поршнем, заполненным теплоизолятором. Диаметр поршня -



- 1.10. Клапанный блок;
- 2. Электромагнитный клапан;
- 3. Цилиндр пневмопривода;
- 4.27. Амортизатор;
- 5. Скалка;
- 6. Шток;
- 7. Поршень;
- 8. Стопор;
- 9. Трубка-дренаж;
- 11.Силовая ферма;
- 12.Кожух;
- 13.Теплоизоляция;
- 14. "Холодный" шток;
- 15. Подшипник;
- 16. Надпоршневое пространство;
- 17,19. Теплообменник;
- 18. Вытеснитель;
- 20. Уплотнение горловины;
- 21. Горловина камеры;
- 22. Цилиндр;
- 23. Уплотнение поршня;
- 24. Поршень;
- 25. Объем камеры;
- 26. Стяжка шарнирная;
- 27. Крепление поршня;
- 29. Уплотнение штока;
- 30. Узел соединения штоков;
- 31. Компенсатор температурный;
- 32. Крышка дьюара камеры;
- 33. Вентиль дренажный.

Рис. 1. Конструкция механизма расширения.

400 мм. Уплотнительные поршневые кольца - 6 шт - изготовлены из полиэтилена марки РСН - 1000.

8. Ход поршня:
 оптимальный - 75 мм, что соответствует степени расширения $\epsilon = 1\%$;
 максимально возможный - 115 мм / $\epsilon = 1,67\%$.

9. Конструкция механизма и системы обеспечивает возможность эксплуатации установки "Людмила" в режиме двух циклов расширения за один цикл работы ускорителя, для чего в действие приводятся четыре клапанных блока пневмопривода.

Для снабжения силового привода сжатым воздухом, развивающим перестановочное усилие, система расширения имеет газовый пульт, который обеспечивает фильтрацию и распределение воздуха по функциональным объемам, регулировку и стабилизацию давления с заданной точностью. На рис. 2 дано схематичное изображение пульта стабилизатора, с помощью которого

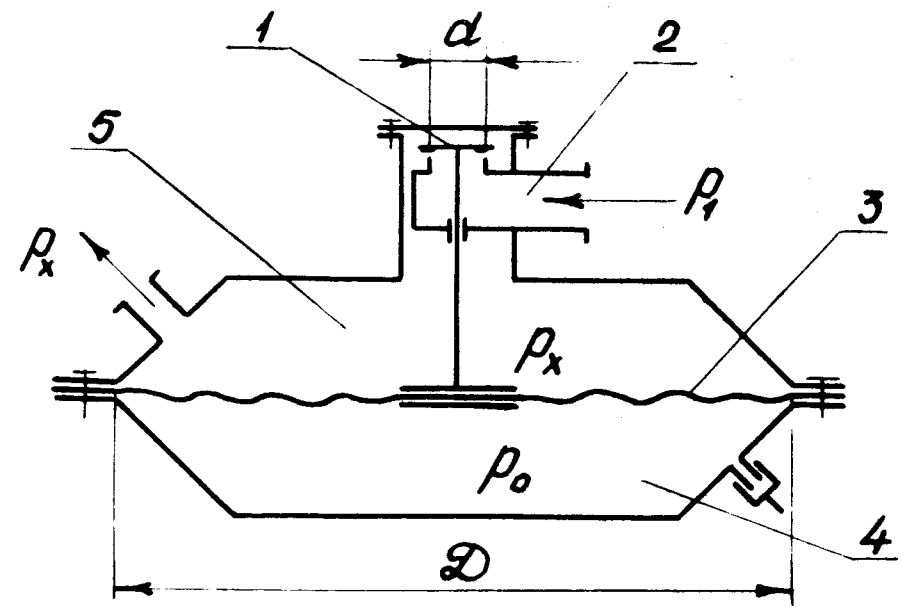


Рис. 2. Стабилизатор давления.

осуществляется стабилизация давлений в описываемой системе. Здесь 1 - клапан; 2 - штуцер на входе воздуха в стабилизатор; 3 - мембрана; 4 - объем опорного давления (p_0); 5 - объем стабилизированного давления (p_x) на выходе из стабилизатора.

Уровень стабилизации определяется соотношением

$$p_x = \frac{p_0 S + p_1 f}{S},$$

где S - площадь мембраны; f - площадь сечения клапана; p_x - давление на выходе; p_0 - опорное давление; p_1 - давление в магистрали.

Стабилизация осуществляется на уровне $\pm 0,2\%$ от p_0 .

Криогенное расширительное устройство

Этот узел ^{7/} изображен на рис. 3 схематически. Здесь 1 - объем пузырьковой камеры; 2 - поршень; 3 - уплотнительные поршневые кольца; 4 - цилиндр; 5 - отверстия через которые соединяются надпоршневое пространство /н.п.п./ - 9 и объем камеры; 6 - узел герметизации; 7 - оптимальный уровень H_2 ; 8, 10, 13 - теплообменники системы термостатирования; 11 - шток; 12 - вытеснитель теплоизолирующий.

Реализация конструкции КРУс в установке "Людмила" позволила:

- устранить разность давлений между н.п.п. и камерой, возникающую как следствие неустойчивости режима термостатирования объемов н.п.п. и камеры в конструкциях, где эти объемы разобщены;

- стабилизировать это давление как одно общее камерное давление;

- практически устранить расплескивание жидкого H_2 в н.п.п. и теплотери, вызываемые этим явлением;

- стабилизировать уровень H_2 в н.п.п. практически для каждого цикла;

- значительно сократить локальный подогрев цилиндрической группы КРУс отводом газовой фазы водорода от поверхности этого узла;

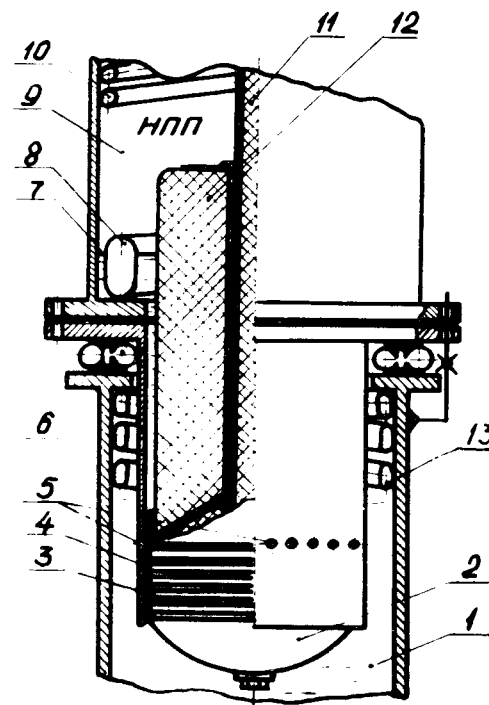


Рис. 3. Криогенное расширительное устройство /КРУс/.

- существенно упростить процесс подбора и поддержания заданного режима камеры, повысить точность его стабилизации.

Сочленение механизма с горловиной камеры и герметизация этого разъема

В установке "Людмила" впервые применен способ ^{10/} сочленения и герметизации разъема между камерой и механизмом с помощью пневматического уплотнения кольцевой формы. Это уплотнение допускает подвижность фланца горловины относительно фланца механизма и обеспечивает дистанционное управление герметичностью

этого разъема. Рабочее положение этого узла показано на *рис. 1* /поз. 20/ и *рис. 3* /поз. 6/. На *рис. 4* дана схема пузырьковой камеры, содержащей рассматриваемый разъем. Широко известен способ сочленения и герметизации этого разъема с помощью металлических или металлофторопластовых прокладок^{5,11,12}, создающих жесткое соединение фланцев 1,2/*рис.3*/. Простота этого способа не компенсирует его недостатков, особенно в камерах больших размеров, конструктивно подобных камере "Людмила", ввиду:

- невозможности повторного /и тем более многократного/ восстановления плотности разъема без разборки камеры;

- значительности силовых нагрузок на детали механизма и камеры, возникающих при жестком соединении в результате температурной усадки корпуса камеры и смещения фланца горловины после охлаждения камеры. В нашем случае размер a' после охлаждения оказывается меньше a на $\sim 3,5$ мм. Изменение размера a' может компенсироваться только за счет деформаций и перекосов механизма, которые, безусловно, вредны и приводят к:

- возникновению усилия деформации, которое может достигать нескольких тонн;

- повышению износа пар трения /например, поршневых уплотнительных колец/;

- загрязнению рабочей среды камеры продуктами износа пар трения; возрастанию опасности разуплотнения разъема, находящегося в напряженном состоянии и т.п.

Нами применен новый способ¹⁰ сочленения и герметизации рассматриваемого разъема, устраняющий отмеченные недостатки полностью или частично. При этом обеспечивается возможность многократной герметизации разъема без замены уплотнительных прокладок и разборки камеры. Способ основан на применении системы уплотнения, тождественной той, что применена для герметизации стекла-иллюминатора камеры¹³. В этом случае окончательно герметизирующее давление подается в прокладку только после полного завершения процесса охлаждения камеры, т.е. когда горловина камеры займет свое стабильное рабочее положение. На *рис.5* приводятся характеристики собственной жесткости двух испытанных нами конструкторских вариантов с изображенным профилем поперечного сечения прокладки. В работе используется вариант прокладки с меньшей жесткостью.

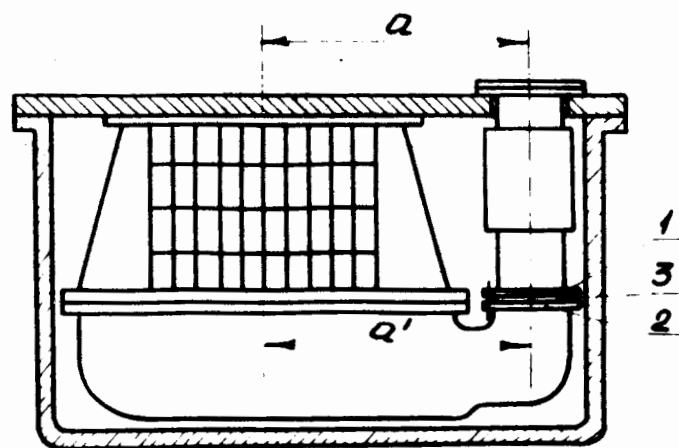


Рис. 4. Схема камеры.

Тепловая изоляция механизма расширения

Этот узел /*рис. 1*, поз. 13/ является частью общей системы дьюарной теплоизоляции камеры "Людмила"¹⁴. Он призван устранить теплообмен между газообразным водородом в дьюаре камеры и стенкой механизма расширения ввиду разности температур, устанавливающихся во время действия механизма расширения. В данном случае применен теплоизолирующий пакет меньшей толщины /25 слоев вместо 50/, что оправдано меньшей разностью температур между изолируемыми поверхностями.

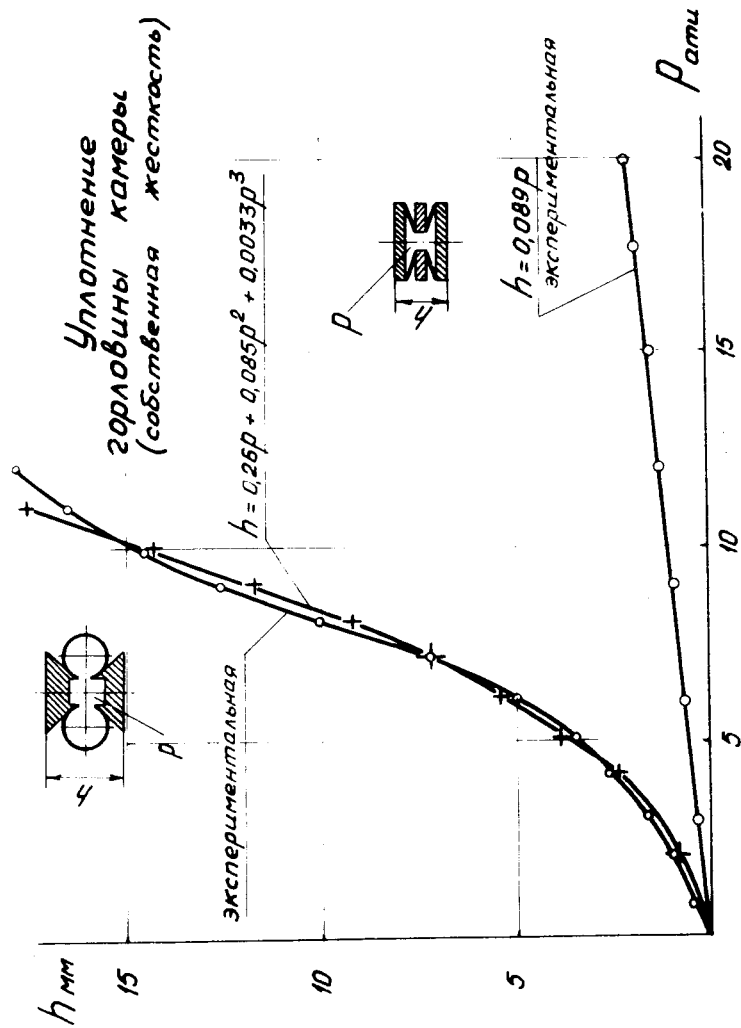


Рис. 5. Уплотнение горловины камеры. Жесткость прокладок аппроксимирована приведенными зависимостями.

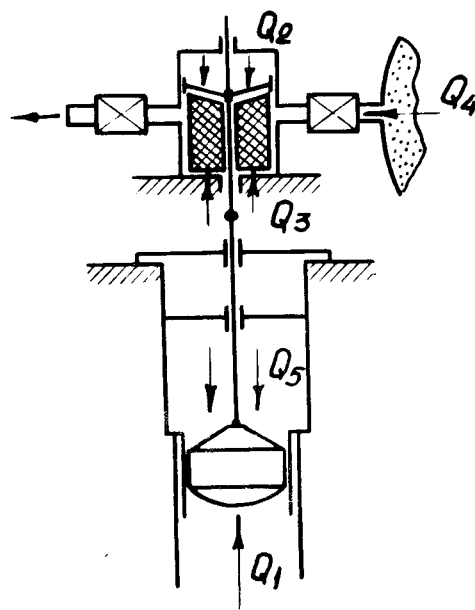


Рис. 6. Схема механизма и действующих сил.

Описание действия механизма расширения

На рис. 1 изображена конструкция механизма, а на рис. 6 - скелетная схема механизма и сил, приложенных к его деталям при осуществлении процесса расширения в камере.

Если пренебречь силами трения, то уравнение движения может быть записано в следующем виде:

$$\frac{m}{dt^2} \frac{d^2x}{dt^2} + F_k (p_k - p_5) + F_n (p_4 - p_2) = 0.$$

Здесь $\frac{m}{dt^2} \frac{d^2x}{dt^2}$ - силы инерции подвижных деталей;

F_k - площадь поршня камеры; F_n - площадь поршня привода; p_k - давление в камере; p_5 - давление в н.п.п. КРУС; p_4 - давление в приводе, развивающее перестановочное усилие; p_2 - давление в н.п.п. привода.

Реакция нижнего амортизатора Q_3 не равна нулю лишь в исходном положении, тогда как силы инерции

$$\frac{m d^2x}{dt^2} \quad \text{и} \quad Q_4 \text{ /перестановочная сила/ в этом поло-}$$

жении равны нулю. Следовательно, в состоянии покоя $Q_1 + Q_3 - Q_2 - Q_5 = 0$. Подчеркнем также, что при этом $p_k = p_5$. Последнее условие реализуется с помощью отверстий 5 /рис. 3/, через которые объем н.п.п. КРУс соединяется с объемом камеры, пока детали механизма не начали своего движения. Для уяснения действия механизма расширения необходимо обратиться к рис. 1 и 3.

Процесс расширения осуществляется путем включения в работу клапанного блока 1 /рис. 1/, с помощью которого сжатый воздух подается в цилиндр 3 пневмопривода. Поршень пневмопривода начинает движение вверх и, будучи соединенным с поршнем камеры через шток 6, узел соединения 30 и "холодный" шток 14, перемещает поршень 24, осуществляя расширение детектирующей жидкости камеры.

Отверстия 5, соединяющие н.п.п. 9 КРУс /рис. 3/ и объем 1 камеры, перекрываются на первых двух миллиметрах хода поршня верхним уплотнительным кольцом 3, благодаря чему происходит разобщение упомянутых объемов. Дальнейшее расширение детектирующей жидкости камеры осуществляется, как в известных поршневых системах, описанных, например, в^{5,11,12}. Движение вверх осуществляется до тех пор, пока давление в объеме пузырьковой камеры не достигнет оптимального значения для образования следов от ионизирующих частиц. Именно в этот момент происходит сброс пучковых частиц на камеру и фотографирование их взаимодействий с веществом камеры. В это же время происходит перекрывание клапанного блока 1, подающего сжатый воздух, и открывание клапанного блока 10, соединяющего цилиндр пневмопривода с атмосферой. При этом детали механизма расширения /поршень камеры/ останавливаются и затем под действием сил в н.п.п. КРУс и н.п.п. пневмопривода возвращаются в исходное положение.

Два цикла расширения камеры за один цикл работы ускорителя

Оптимальный режим работы установки "Людмила" предусматривает один цикл расширения и фотографирования через каждые 7-9 с. Однако установка "Людмила" располагает возможностью увеличения вдвое темпа набора экспериментальных статистических данных за счет осуществления режима двух расширений и фотографирований взаимодействий пучковых частиц с веществом камеры за один цикл работы ускорителя. Сокращение затрат времени на наиболее трудоемком и длительном этапе физического эксперимента - при наборе экспериментальных данных - наряду с очевидными экономическими преимуществами такого режима обеспечивает значительный выигрыш времени в достижении конечного результата исследований. В 1975 году в одном из сеансов облучения установка "Людмила" была испытана в упомянутом режиме двойного цикла работы. Ее системы более суток работали устойчиво и непрерывно, совершив около 25.000 двойных циклов, во время которых было отснято около 4000 стереофотографий. Качество фотографий не уступает качеству, достигаемому в режиме одинарного цикла. Подробное описание исследований на установке в упомянутом режиме работы приводится в¹⁵.

Исследования показали также, что система расширения обладает запасом конструкционных возможностей, который может обеспечить дальнейшее увеличение темпа цикличности без ее усовершенствований и переделок.

Долговечность

Система расширения совершила более $1,8 \cdot 10^6$ циклов. Средняя длительность непрерывной работы составила 150000 циклов/сеанс, максимальная - 250000 циклов/сеанс. В сеанс максимальной длительности межпрофилактический ресурс системы расширения не был исчерпан.

В заключение авторы выражают благодарность Н.М.Вирысову, А.Г.Зельдовичу, Е.И.Дьячкову, В.Т.Толмачеву, Э.В.Козубскому, Ю.Д.Зернину, В.Г.Сазонову, В.Е.Краснову за советы и помощь в работе, а также коллективу экспериментальных мастерских ЛВЭ, Б.К.Курятникову, Д.В.Уральскому, Ю.И.Тятюшкину, В.М.Кондратьеву, В.А.Баранову, Н.Ф.Буланову, Г.С.Фролову, Н.В.Аристархову, В.И.Спирякину и др. за участие в изготовлении и испытаниях узлов системы расширения.

Литература

1. Богуславский И.В. и др. Пузырьковые камеры, ОИЯИ, 13-4466, стр. 43, Дубна, 1969.
2. Александров Ю.А. и др. Пузырьковые камеры, Госатомиздат, М., 1963, стр. 121.
3. Будагов Ю.А. и др. ОИЯИ, 1428, Дубна, 1963.
4. Белоногов А.В. и др. В сб.: Труды X Всесоюзного совещания по физике и технике низких температур. Москва. Изд. АН СССР, 1963.
5. Клигер Г.К. и др. ПТЭ, 1964, №3, стр. 5.
6. International Colloq. Bubble Chambers, Geneva, CERN 67-26, 1967, v.1., p.136, v. 2, p.349.
7. Устенко Е.П. Пузырьковая криогенная камера. Авторское свидетельство СССР №486578 с приоритетом от 14/II.1972 г., G01t 5/00. Бюлл. ОИПОТЗ № 25, 1977.
8. Козубский Э.В., Устенко Е.П. Запорный быстродействующий пневматический клапан. Авторское свидетельство СССР №228444 с приоритетом от 24IX, 1966 г., 47d, 21/Об. Бюлл. ОИПОТЗ, №31, 1968.
9. Вирысов Н.М., Костин В.П., Устенко Е.П. ОИЯИ, 13-5815, Дубна, 1971.
10. Устенко Е.П., Конский Г.Н., Толмачев В.Т. Способ сочленения механизма расширения и пузырьковой камеры. Авторское свидетельство СССР №372527 с приоритетом от 6/X 1970 г., 47g, 21/06. Бюлл. ОИПОТЗ, №38, 1973.
11. Alvarez L., Hernandez H. UCRL, Eng. Note, 7911-32, 1957, M3.

12. Алешин Ю.Д. и др. ИТЭФ, 689, Москва, 1969.
13. Lebedev R.M. e.a. Cryogenics, 1967, p.302, October, London.
14. Богуславский И.В. и др. ОИЯИ, 13-6178, Дубна, 1971.
15. Буланов Н.Ф. и др. ОИЯИ, 13-9439, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 сентября 1977 года.