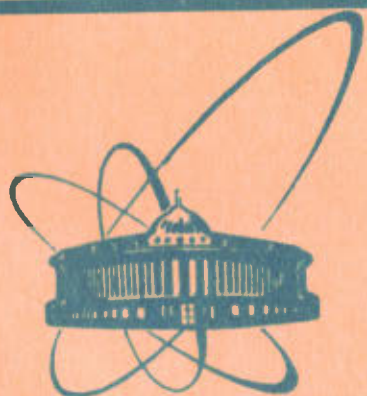




**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

P13-84-287

**А.Н.Зубарев, Н.А.Коржев, А.Г.Кочуров,
Н.А.Смирнов, В.П.Соколов**

**СИСТЕМА РАСШИРЕНИЯ
2-МЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ КАМЕРЫ**

1984

ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях взаимодействий частиц и ядер высоких энергий, получаемых на ускорителях, в течение трех десятилетий успешно используются пузырьковые камеры ^{/2/}.

Наиболее широкое распространение получили камеры, наполняемые водородом, гелием, пропаном, фреоном или смесями водорода и неона. Заряженная частица, двигающаяся в рабочей жидкости пузырьковой камеры, образует на своем пути δ -электроны. В зависимости от расстояния, на котором заряженная частица проходит от электрона, ему может быть передана разная энергия. δ -электроны ^{/3/} путем многократного рассеяния всю свою энергию передают жидкости, разогревая ее в малых областях рассеяния, и создают локальный перегрев. Так как δ -электроны имеют разные энергии, то для тех из них, у которых энергия больше энергии, достаточной для образования зародыша пузырька с радиусом, равным или больше

$$r \geq r_K = \frac{2\sigma}{(P_\infty - P_H)(1 - \frac{v}{v'})}, \quad /1/$$

зародыш реализуется в пузырек и ему обеспечен рост ^{/4/}. Здесь r_K - критический радиус пузырька в неустойчивом равновесном состоянии из-за давления пара внутри него и поверхностного натяжения σ , стремящегося захлопнуть зародыш пузырька; P_∞ - давление насыщенных паров жидкости при данной рабочей температуре T ; P_H - нижнее давление - давление, до которого осуществлено расширение; σ - поверхностное натяжение, зависящее от температуры: чем больше температура, тем меньше σ ; v - удельный объем жидкости; v' - удельный объем пара в пузырьке.

Поскольку рабочая область пузырьковых камер находится далеко от критической точки, определяемой уравнением Ван-дер-Ваальса, то v/v' всегда много меньше 1, и тогда

$$r_K = \frac{2\sigma}{P_\infty - P_H}. \quad /2/$$

В пузырьковых камерах для конденсации паровой фазы на рабочую жидкость подается давление P_B - верхнее давление, которое устанавливается на 2 ати выше P_∞ . Во время расширения это давление снижается до P_H .

Число пузырьков на единице длины следа существенно зависит от глубины понижения давления ^{1/5,6/}. Для обеспечения постоянного перегрева рабочей жидкости от цикла к циклу нижнее давление должно поддерживаться постоянным, и тогда число пузырьков на единице длины следа для заряженных частиц,двигающихся с равными скоростями, будет постоянным. В камерах без системы стабилизации нижнего давления нельзя получить плато с постоянным перегревом ^{1/4/}. Для получения следов с заданной плотностью длительности импульса частиц от ускорителя должна быть меньше длительности плато постоянного перегрева. Весьма важной характеристикой является также точность синхронизации камеры с ускорителем, т.е. сброс частиц в момент образования плато постоянной чувствительности к излучению.

1. СИСТЕМА РАСШИРЕНИЯ

Краткое описание 2-метровой пропановой камеры дано в ^{1/1/}. Для компенсации реактивной отдачи при работе камеры ее система расширения имеет динамически уравновешенную конструкцию. Корпуса расширительных устройств выполнены в виде труб и подсоединены с обоих боков к нижней части камеры с помощью 14 патрубков, по 7 с каждой стороны /рис.1/. Передача давления к пропану осуществляется сжатым газом через систему мембран и жидкость /воду/. Для повышения надежности работы камеры в конструкции расширительного устройства предусмотрены ограничительные решетки, на которые опираются мембраны в своих крайних положениях. Плоская мембрана, отделяющая пропан от воды, имеет плоскую металлическую решетку - плиту с большим числом отверстий. В цилиндрические расширители вмонтированы коаксиальные устройства, состоящие из двух труб разного диаметра, также имеющих большое число отверстий. Между этими трубами помещается резиновая трубчатая мембрана, герметически зажатая на концах.

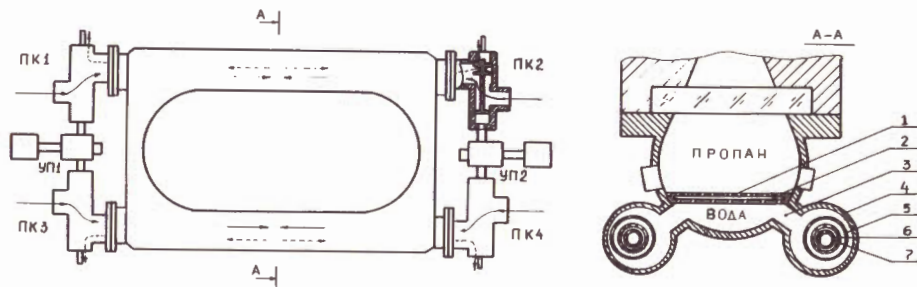


Рис.1. Схема механизма расширения: 1 - плоская мембрана, 2 - плоская решетка; 3 - патрубок; 4 - корпус расширительного устройства; 5, 6 - цилиндрическая мембрана; 7 - цилиндрическая решетка.

При подаче воздуха под давлением P_B в центральные трубы меньшего диаметра резиновые трубчатые мембраны растягиваются, увеличиваясь до упора на внутренние стенки труб большого диаметра. Ход трубчатых мембран - разница в диаметрах труб с отверстиями - определяет изменение объема ΔV . В нашем случае $\Delta V/V = 0,02$, т.е. 2% от полного объема камеры. Сжатый воздух при P_B , расширяя трубчатые резиновые мембраны, передавливает воду через цилиндрические решетки в нижний объем камеры, и она, проходя через отверстия плоской решетки, поднимает полиуретановую плоскую мембрану и осуществляет конденсацию паровой фазы пропана. Недостаток или излишек пропана сверх ΔV определяются по показаниям манометров и визуально.

Расширение рабочей жидкости в камере осуществляется четырьмя клапанами двойного действия, установленными на противоположных концах расширителей, которые понижают давление сжатого воздуха от уровня P_H до P_B .

Цилиндрические расширительные устройства и симметрично размещенные на их концах клапаны взаимно компенсируют реактивную отдачу во время работы.

Оптимальная чувствительность перегретой жидкости к ионизирующему излучению в больших пузырьковых камерах зависит от скорости изменения давления как при расширении, так и при компрессии.

При расширении высокая скорость изменения давления позволяет быстрее достигнуть нужного перегрева жидкости, получить рабочие условия без паразитного кипения /или при минимальном/. При быстрой рекомпрессии образовавшиеся в объеме пузырьки захлопываются внешним давлением вблизи мест их возникновения, что исключает перенос тепла в верхнюю часть камеры. Перенос тепла вверх может привести к неравномерному распределению тепла по высоте рабочего объема и к образованию зон разной чувствительности и плотности рабочей жидкости по высоте ^{1/4/}.

2. ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ КЛАПАН ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

С учетом всех этих условий для расширения и компрессии рабочей жидкости был сконструирован пневматический клапан двойного действия с проходными сечениями, обеспечивающими выброс газа от P_B до P_H за короткое время ^{1/8/}.

В системе расширения, как говорилось выше, установлено четыре таких клапана, по одному на каждом конце расширительных устройств. Работу этого клапана можно проследить по рис.2. Клапан перераспределяет газовый поток между емкостью P_B , расширительным устройством камеры и емкостью P_H .

Корпус клапана 1 представляет собой цилиндр, в котором перемещается в осевом направлении диск 2 с поршнем 4. Ход штока ограничивается демпфером 3 из полиуретана. Положение штока,

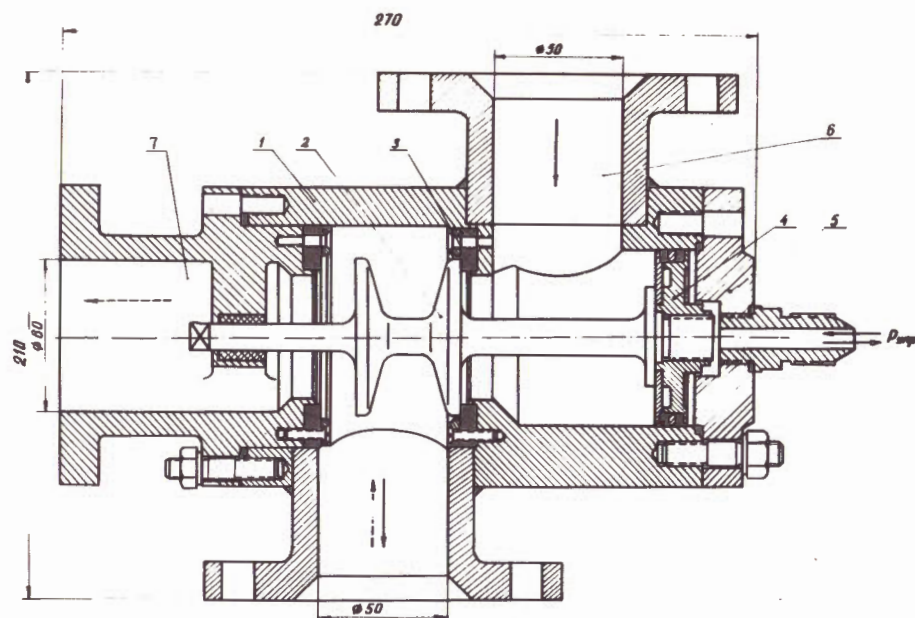


Рис.2. Пневматический клапан двойного действия ПК1÷ПК4:
1 - корпус; 2 - диск; 3 - демпфер; 4 - поршень; 5 - фланец.

а, следовательно, и функция, выполняемая клапаном, определяются наличием или отсутствием давления $P_{упр}$ под поршнем 4. Соотношение площадей поршня 4 и уплотняющего диска 2 в конструкции клапана такое, что $P_{упр} = P_B$.

3. ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Для приведения в работу пневматических клапанов двойного действия ПК1÷ПК4 служат пневматические усилители ПУ1, ПУ2. При этом каждый пневмоусилитель управляет одновременно двумя клапанами ПК1÷ПК4 /см. рис.1/. Пневмоусилитель управляется электромагнитом 9. В цилиндрическом корпусе пневмоусилителя /рис.3/ расположены: подвижной цилиндр 2, зафиксированный пружиной 4; свободно перемещающийся вдоль оси поршень 5; выхлопной патрубок 3 и пусковой клапан 7. Подвижной цилиндр 2 и поршень 5 направляют газовый поток из напорного патрубка 10 в магистраль управляющего давления 11 или из магистрали управляющего давления в атмосферу через выхлопной патрубок 3.

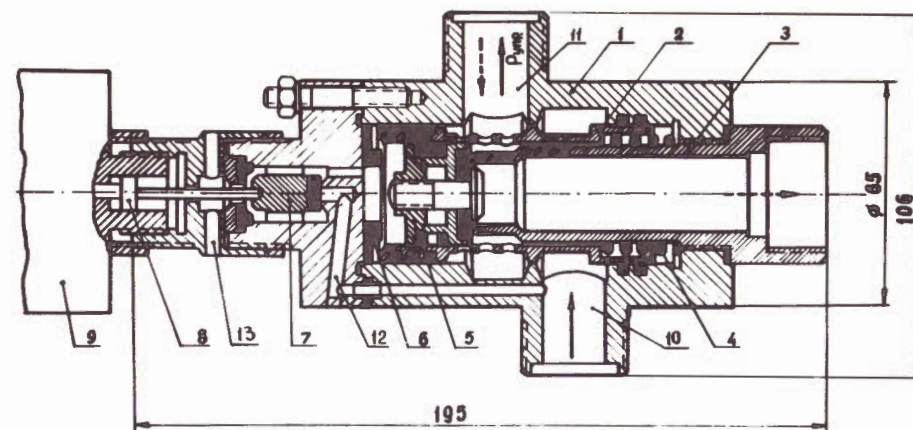


Рис.3. Пневматический усилитель ПУ1, ПУ2: 1 - корпус; 2 - подвижной цилиндр; 3 - выхлопной патрубок; 4 - пружина; 5 - поршень; 6 - демпфер; 7 - пусковой клапан; 8 - шток; 9 - электромагнит; 10 - напорный патрубок; 11 - магистраль $P_{упр}$.

Таблица

Параметры пневматических клапанов и пневмоусилителей

Параметр	Пневматический клапан	Пневмоусилитель
Проходное сечение	20 см ²	2,5 см ²
Ход подвижного цилиндра		5 мм
Ход поршня		5 мм
Диапазон рабочих давлений	5÷40 ати	1÷40 ати
Ход штока	14 мм	
Время переключения	не более 2 мс	не более 1 мс
Число срабатываний	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТ

Пневмоусилитель приводится в действие электромагнитом, имеющим цилиндрическую катушку с двумя обмотками - "стартовая" и "размагничивающая", внутри которых перемещается стальной шток 8. Подача токовых импульсов в обмотки электромагнита проис-

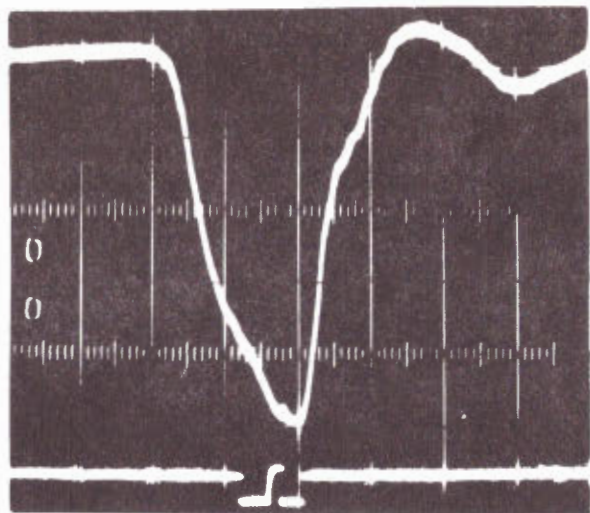


Рис.4. Осциллограмма кривой расширения — развертка 20 мс/см.

ходит по сигналу от схемы синхронизации работы камеры с ускорителем. Схема синхронизации позволяет устанавливать временные интервалы с точностью до $\pm 0,1$ мс. Направление токов в "стартовой" и "размагничивающей" обмотках противоположны.

Параметры электромагнита

Индуктивность обмоток:	
"стартовая"	- 250 мкГ
"размагничивающая"	- 100 мкГ
Ход сердечника регулируемый	- $0 \div 10$ мм
Напряжение питания $U_{\text{пит}}$	- 50 В

На рис.4 приведена типичная осциллограмма кривой расширения 2-метровой пропановой пузырьковой камеры, полученная с помощью пьезодатчика.

Выводы

1. При симметричной работе четырех пневматических клапанов двойного действия в системе расширения динамическая нагрузка уравнивается.
2. Применение клапанов двойного действия и пневмоусилителей, имеющих ресурс работы без профилактики $3 \cdot 10^5$ циклов, позволило повысить надежность системы расширения.

3. В управляющем электромагните нет обмотки, по которой в процессе работы постоянно протекал бы ток подмагничивания /7/, вследствие чего при неожиданном снятии напряжения не происходит выхлопа газа из расширительного устройства.

4. Расширительное устройство и клапаны обеспечивают время расширения рабочей жидкости — 30 мс, время компрессии — 35 мс.

5. Система расширения совершила свыше $2 \cdot 10^6$ циклов. Средняя длительность непрерывной работы составила 10^5 циклов/сеанс.

В заключение авторы выражают благодарность профессору М.И.Соловьеву за полезные обсуждения и постоянное внимание к работе, токарю Н.В.Аристархову за помощь в изготовлении отдельных узлов системы. Авторы благодарны также механикам И.В.Калашникову, Ю.М.Косареву, Ю.И.Крымову, Н.И.Новожилову, Ю.И.Макарову, В.А.Павлюкевичу, В.М.Сухареву и И.Г.Ситникову за большую работу, которую они проделали при монтаже системы расширения и последующей ее эксплуатации на ускорителях ИФВЭ /СЕРПУХОВ/ и ЛВЭ ОИЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Balandin M.P. et al. NIM, 1963, 20, p.110.
2. Glaser D. Phys.Rev., 1952, vol.87, p.665; 1953, vol.91, p.496; 1953, vol.91, p.768.
3. Tanner A.G. NIM, 1963, vol.22, p.1.
4. Пузырьковые камеры /под ред. Н.Б.Делоне/. Госатомиздат, М., 1963, с.21.
5. Фабиан Б. и др. Приборы для научных исследований /русский перевод/, 1963, № 5, с.21.
6. Kunkel P. et al. Int.Colloq. on Bubble Chambers. Heidelberg, 13-14 April, 1967. CERN 67-26, Geneva, 1967, p.405.
7. Ван Ган Чан, Соловьев М.И., Шкобин Ю.Н. ПТЭ, 1959, № 1, с.41.
8. Барабашев А.З. и др. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. ОИЯИ, Дубна, т.2, с.674.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1984 года.