

+

Лебедев Р.М.

с 344.1  
А-33


ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
Лаборатория высоких энергий

Р.М.Лебедев, И.С.Саитов, Е.П.Устенко и Ю.А.Шишов

БЧ-2363

"Утверждаю"

Директор Лаборатории  
высоких энергий ОИЯИ



" " \_\_\_\_\_ 1965 года.

с. ф. 1088

"ИСПЫТАНИЯ НАДУВНОГО УПЛОТНЕНИЯ

стекла 100-см. подородной пузырьковой камеры  
в рабочих условиях".

Начальник научно-экспериментального  
отдела



/Чувило И.В./

Начальник криогенного отдела



/Зельдович А.Г./

г. Дубна, 1965 г.

Рукопись поступила  
в заводской отдел

.. 16" --- 17 --- 1965

## В В Е Д Е Н И Е

Настоящая работа является заключительным этапом испытаний надувного уплотнения стекла 100-см. водородной пузырьковой камеры. Хорошие эксплуатационные качества уплотнения окончательно подтверждены в ходе первого пуска камеры на жидком водороде с получением треков. Никаких принципиальных отличий в поведении этого узла по сравнению со стендовыми испытаниями на жидком азоте [1] не наблюдалось.

Ниже описывается процесс сборки уплотнения на камере, технологическая схема уплотнения и особенности его работы в период упомянутого пуска.

### СБОРКА.

При сборке уплотнения особое внимание было обращено на обеспечение высокой чистоты. Укладка индиевых прокладок велась в полиэтиленовой палатке, причем в экспериментальном зале были прекращены другие работы. Уплотнительные поверхности тщательно протирались смоченным в спирте стиранным батистом.

Для изготовления прокладок был взят не находившийся в употреблении индий "В". Установлено, что он на 10 + 15% мягче, чем многократно использованный. Новый, по сравнению с предыдущими сборками, прием применен для получения гарантированной плотности в стыках прокладок. Срезы делались с помощью специального

шаблона, который позволяет получить одинаковый угол реза, плоскую поверхность среза и при этом не мять проволоку (см. рис. 1). Концы проволок складывались с перекрытием  $1,5 \pm 2$  мм. После сборки камеры каждая прокладка оказалась смятой на 0,25 мм, что позволило откачать на тепле ловушки уплотнения без подачи давления в надувной элемент.

Некоторое затруднение вызвала укладка прокладок на фланец камеры, так как его нельзя было переворачивать канавками вверх. Простой выход был найден в примотке прокладок к фланцу с помощью капроновой нити. После опускания фланца на стекло нити были разрезаны и удалены.

Бороздки, оставшиеся на прокладках от нити, не существенны, так как этот слой прокладок на 100-см камере не является уплотнительным.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА.

Монтажно-технологическая схема систем обслуживания уплотнения представлена на рис. 2. Ниже поясняется роль и работа некоторых частей схемы. Вакуум в ловушках уплотнения создается насосом марки ВН-2 со скоростью откачки около  $6 \text{ л} / \text{сек.}$  Перед насосом установлен клапан, который закрывается при давлении в трубопроводе 15 мм.рт.ст. и предотвращает попадание в насос водорода, прорвавшегося в ловушки.

Для очистки от примесей гелий подается в надувной элемент через охлаждаемый жидким азотом угольный адсорбер.

После получения необходимого давления вентиль В4 закрывается для того, чтобы уменьшить вероятность утечек из надувного элемента. Промывка надувного элемента перед охлаждением камеры производится рядом откачек через вентиль В5 и наполнений гелием через В4.

Контроль давления в надувном элементе ведется по манометру М<sub>2</sub> и электроконтактному манометру Мз, на котором установлены предельные, допустимые в данном пуске давления. При выходе давления за эти пределы контакты манометра замыкаются, что вызывает звуковой сигнал одновременно со световым сигналом на специальной панели в экспериментальном зале.

Остальные узлы (схемы не требуют специальных пояснений).

#### ПОДГОТОВКА УПЛОТНЕНИЯ К РАБОТЕ.

После сборки камеры с фланцем, до установки камеры в вакуумный кожух, была проведена проверка правильности укладки индиевых прокладок. Для этого ловушки надувного уплотнения были откачены без подачи давления в надувной элемент. Ловушки оказались хорошо уплотненными, так как прокладки были намеренно немного сплюснены при сборке. Для проверки герметичности самой камеры в нее было подано давление гелия до 1 ати, причем в надувной элемент предварительно было задано давление в 2 ати, а ловушки поставлены под откачку. Тщательная проверка <sup>ка</sup> мерн течеискателем РУТИК показала, что <sup>утечек</sup> гелия через надувную прокладку не происходило.

После полного монтажа камеры ловушки надувного уплотнения вновь были откачаны для проверки плотности всей технологической схемы. При этом в надувном элементе было давление гелия до 4 ати. Результаты испытаний при комнатной температуре представлены в начале таблицы I.

Перед началом охлаждения камеры надувной элемент был промыт и наполнен гелием.

В процессе охлаждения в надувном элементе поддерживалось атмосферное давление гелия <sup>х)</sup>, а ловушки и откачные линии вплоть до вакуумного насоса были поставлены под газгольдерное давление водорода.

При температуре камеры около 180°K в надувной элемент было подано давление гелия 7 ати и начата откачка ловушечных объемов. Это было сделано для профилактической проверки работы уплотнения при низкой температуре.

#### Рабочие условия.

Условия работы уплотнения после достижения камерой водородной температуры можно разделить на несколько этапов:

I. Давление в камере 1 ати. Для достижения достаточно высокого вакуума в ловушках уплотнения (менее 1 мм.рт.ст.) давление гелия в надувном элементе было постепенно увеличено

---

х) В некоторых камерах с высоковакуумной изоляцией при их охлаждении в надувном элементе поддерживается давление  $2 \pm 10$  ати [2] для более быстрого отвода тепла через индиевые прокладки от массивного стекла. В 100-см камере в этом не было необходимости, так как стекло интенсивно охлаждалось конвекционными токами дларного водорода, благодаря работе радиатора.



После полного монтажа камеры ловушки надувного уплотнения вновь были откачаны для проверки плотности всей технологической схемы. При этом в надувном элементе было давление гелия до 4 ати. Результаты испытаний при комнатной температуре представлены в начале таблицы I.

Перед началом охлаждения камеры надувной элемент был промыт и наполнен гелием.

В процессе охлаждения в надувном элементе поддерживалось атмосферное давление гелия <sup>х)</sup>, а ловушки и откачные линии вплоть до вакуумного насоса были поставлены под газгольдерное давление водорода.

При температуре камеры около 180°K в надувной элемент было подано давление гелия 7 ати и начата откачка ловушечных объемов. Это было сделано для профилактической проверки работы уплотнения при низкой температуре.

#### Рабочие условия.

Условия работы уплотнения после достижения камерой водородной температуры можно разделить на несколько этапов:

I. Давление в камере 1 ати. Для достижения достаточно высокого вакуума в ловушках уплотнения (менее 1 мм.рт.ст.) давление гелия в надувном элементе было постепенно увеличено

---

х) В некоторых камерах с высоковакуумной изоляцией при их охлаждении в надувном элементе поддерживается давление  $2 \pm 10$  ати [2] для более быстрого отвода тепла через индиевые прокладки от массивного стекла. В 100-см камере в этом не было необходимости, так как стекло интенсивно охлаждалось конвекционными токами дварного водорода, благодаря работе радиатора.

до 34 ати.

2. Камера заперта и подогрета для введения в рабочий режим до  $29^{\circ}\text{K}$  и давления 5,5 ати. Поскольку вакуум в уплотнении при этом стал ухудшаться, то давление гелия поднято до 45 ати.

Ухудшение вакуума с ростом давления в камере можно охарактеризовать такими цифрами: при  $V_1 = 2,5$  ати вакуум в ловушке, откачиваемых одновременно, был 0,38 мм.рт.ст., при  $V_1 = 4$  ати, - 0,54 мм.рт.ст.

3. Кратковременное включение цикла расширения поджим (10 циклов).

Вакуум улучшился от 0,33 до 0,22 мм.рт.ст. После выключения цикла вакуум снова несколько ухудшился - от 0,22 до 0,27 мм.рт.ст.

4. Длительная работа на цикле (2500 циклов). Вакуум в ловушках улучшился и был вполне удовлетворительным - около 0,1 мм.рт.ст. при давлении гелия 40 ати. После выключения цикла вакуум вновь немного ухудшился. Следует отметить, что во время работы камеры находилась в среде водорода давлением около 860 мм.рт.ст., т.к. в 100-см камере применена дварная система теплоизоляции. В дальнейшем давление водорода, возможно, будет снижено до 0,1 ати, что приведет к уменьшению натеканий в ловушки.

5. Откачка водорода в дваре до давления примерно  $1,5 \cdot 10^{-2}$  мм.рт.ст. (при выключенном цикле). Откачка велась насосом ВН-1. Вакуум в ловушках улучшился (см.табл. I).



За время работы было замечено, что в надувном элементе давление меняется в зависимости от температуры жидкого водорода в камере в пределах  $\pm 5$  ати при 40 ати. Было принято решение о введении буферного объема для уменьшения этих колебаний.

Также установлено, что вакуум в различных ловушках был различен как во время работы, так и во время охлаждения. Лучше всех откачивалась ловушка  $V_5$  (нижняя), хуже -  $V_4$ .

#### Обсуждение результатов.

Как было упомянуто, никаких принципиальных отличий в поведении уплотнения при пуске камеры по сравнению со стендовыми испытаниями на жидком азоте не наблюдалось. Поэтому важнейшие итоги испытаний совпадают с выводами стендовых испытаний: во-первых, подтверждена возможность герметизации жидкого водорода по гибкой поверхности надувного элемента как в статическом, так и динамическом режиме работы камеры.

Во-вторых, подтверждена возможность многократного уплотнения камеры без разборки. Это следует из того, что при пуске использовалось давление гелия (45 ати), значительно меньшее максимально допустимого давления в надувном элементе (70 ати). Такой диапазон давлений позволяет, как показал опыт азотных испытаний, провести без разборки еще 3-4 пуска. Количество герметизаций могло быть большим, если бы не ряд причин, которые заставили поднять давление гелия до 45 ати, в то время, как при стендовых испытаниях первая ступень давления была 20 + 30 ати (см. табл. 2 [I]). Это различие, по-видимому, объясняется:

а) большим количеством герметизаций, сделанных при наладке камеры на тепле;

б) преждевременной герметизацией уплотнения слишком большим давлением в процессе охлаждения (14 атм при  $90^{\circ}\text{K}$ );

~~в) большей твердостью индия при водородной температуре.~~

В дальнейшем первые две причины будут устранены, и давление, необходимое для первой герметизации будет понижено.

Следует отметить, что для нормальной работы 100-см камеры, имеющей не чувствительную к водородным течениям дварную теплоизоляцию, в откачиваемых пространствах уплотнения можно допускать весьма низкой вакуум. Ограничением служит возможность контроля по прибору ВТ-2.

Однако в первом пуске для большей надежности поддерживался сравнительно высокий вакуум.

Это, одновременно, было нужно и для окончательного подтверждения возможности работы уплотнения аналогичной конструкции на 200 - см. водородной камере ЛВЭ ОИЯИ, имеющей высоковакуумную теплоизоляцию.

Пуск показал, что ряд элементов схемы управления уплотнением требует усовершенствований. Главным недостатком является большое колебание давления в надувном элементе в зависимости от температуры камеры. При заливке камеры температура жидкого водорода составляет около  $21^{\circ}\text{K}$ .

Затем камеру запирают и подогревают примерно до  $28^{\circ}\text{K}$  для введения в рабочий режим. Если пренебречь объемом трубок, находящихся при комнатной температуре, до вентиля В4, то

за счет подогрева давления гелия увеличится примерно в 1,3 раза. Действительные колебания давления при 40 ати составляли  $\pm 5$  ати.

Для поддержания постоянного давления нужно иметь либо регулятор давления, либо достаточно большую буферную емкость на тепле между наддувным элементом и вентилем В4.

Расчет показывает, что буферная емкость должна быть довольно значительной, чтобы ограничить колебания давлений в пределах 2 + 3 ати.

Обозначим объем наддувного элемента  $V_{НЭ}$  и буферной емкости -  $V_B$ . Допустим также, что температура газа в наддувном элементе колеблется от  $T_1 = 20^\circ\text{К}$  при заливке до  $T_2 = 30^\circ\text{К}$  при работе. Примем температуру газа в буферной емкости  $T_3 = 300^\circ\text{К}$ . Обозначим отношение  $\frac{V_B}{V_{НЭ}} = \alpha$ ,  $\frac{T_3}{T_1} = m = 15$ ,  $\frac{T_3}{T_2} = n = 10$

Вес газа в замкнутой системе

$$G = G_{НЭ} + G_B$$

Из уравнения Клапейрона  $pV = GRT$  получим:

$$G_{НЭ} = \frac{pV_{НЭ}}{RT}, \quad G_B = \frac{pV_B}{RT_3}$$

$$G = \frac{pV_{НЭ}}{RT} + \frac{pV_B}{RT_3}$$

При  $T = T_1$

$$p_1 = \frac{GR}{\frac{V_{НЭ}}{T_1} + \frac{V_B}{T_3}}$$

При  $T = T_2$

$$p_2 = \frac{GR}{\frac{V_{НЭ}}{T_2} + \frac{V_B}{T_3}}$$

Отношение

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{V_{HЭ}}{T_1} + \frac{V_Б}{T_3}}{\frac{V_{HЭ}}{T_2} + \frac{V_Б}{T_3}}$$

Преобразованием получим:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{V_{HЭ}}{T_3} \left( \frac{T_3}{T_1} + \frac{V_Б}{V_{HЭ}} \right)}{\frac{V_{HЭ}}{T_3} \left( \frac{T_3}{T_2} + \frac{V_Б}{V_{HЭ}} \right)}, \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{m+a}{n+a}$$

Объем надувного элемента благодаря вытеснителю уменьшен от 1,9 литров до 0,65 л. Для расчета примем  $V_{HЭ} = 0,75$  л. Если использовать в качестве буферной емкости баллон в 40 литров,

то  $a = \frac{40}{0,75} = 53,5$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{15 + 53,5}{10 + 53,5} = 1,08$$

При  $p_1 = 50$  ати  $p_2 = 54$  ати, что уже терпимо. Здесь видна положительная роль вытеснителя. Без него колебание давлений было бы больше:

$$a = \frac{40}{1,9} \approx 21, \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{15 + 21}{10 + 21} = 1,16,$$

т.е. в 2 раза больше, чем с вытеснителем. в надувном элементе.

Так как на самом деле колебаний температур при операциях с камерой будут меньше, то постановка баллона в качестве буферной емкости рашает вопрос.

Вторым усовершенствованием схемы должно быть дополнение ее линией и вентилями для постановки откачных линий уплотнения.

под газгольдерное давление водорода.

Окончательные изменения в схеме будут сделаны после накопления опыта работы на камере.

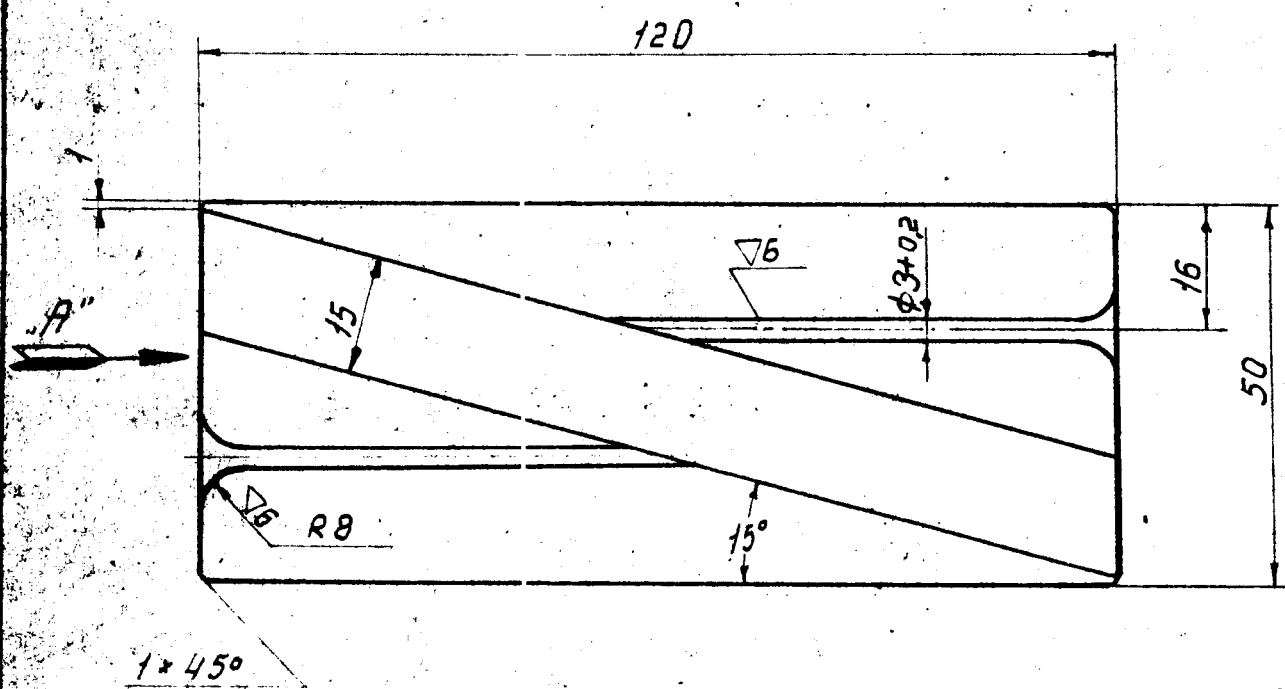
Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 "Конструкция и испытания системы уплотнения стекол метровой и двухметровой жидководородных пузырьковых камер ЛВЭ ОИЯИ".  
Р.М.Лебедев, И.С.Сайтов, Е.П.Устенко и Ю.А.Шишов, ОИЯИ,  
Б4-1877, 1964 г.
- 2 "Пузырьковые камеры" под ред. Н.Б.Делюне, Госатомиздат,  
1963 г.; стр. 249.

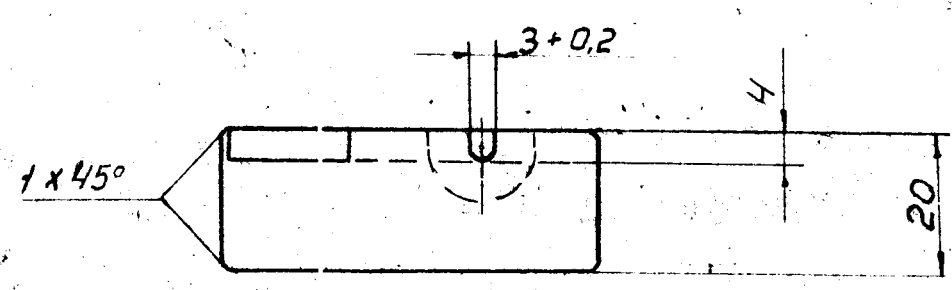
*Лебедев - Шишов -  
Сайтов уст*

Таблица I.

Температура °К	Вакуум в мм.рт. ст.						Давление или вакуум в мм.рт.ст. $V_6$	Примечание
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$		
I	2	3	4	5	6	7	8	
293	0	0	I	0,33	0,5	760	Проверка правильности укладки прокладки Корпус камеры находится вне вакуумного кожуха.	
293	0	2	0,5	не мер.	не мер.	760		
293	0,75	2	$0,6 \cdot 10^{-2}$	0,25	$0,9 \cdot 10^{-2}$	760		
180	0	7	не откачив	не откачив	0,1	860	Начато охлаждение камер	
80	0	14	не откачив;	не откачив	0,22	860		
23	I	25	$V_3 + \sqrt{V_4 + V_5}$			860	В камере появится жидкий водород	
23	I	34	0,35			860		
29	5,5	45	0,60			860		
28	4,3	40	0,22			860	Во время включения 10 циклов	
27,5	4,0	40	0,28			860	Цикл выключен	
29	5,5	41	0,1			860	Камере зелита, включен цикл	
29	5,4	36	$6 \cdot 10^{-2}$			$1,5 \cdot 10^2$	Цикл выключен, дюз ( $V_6$ ) откачан.	



Вид по "А"

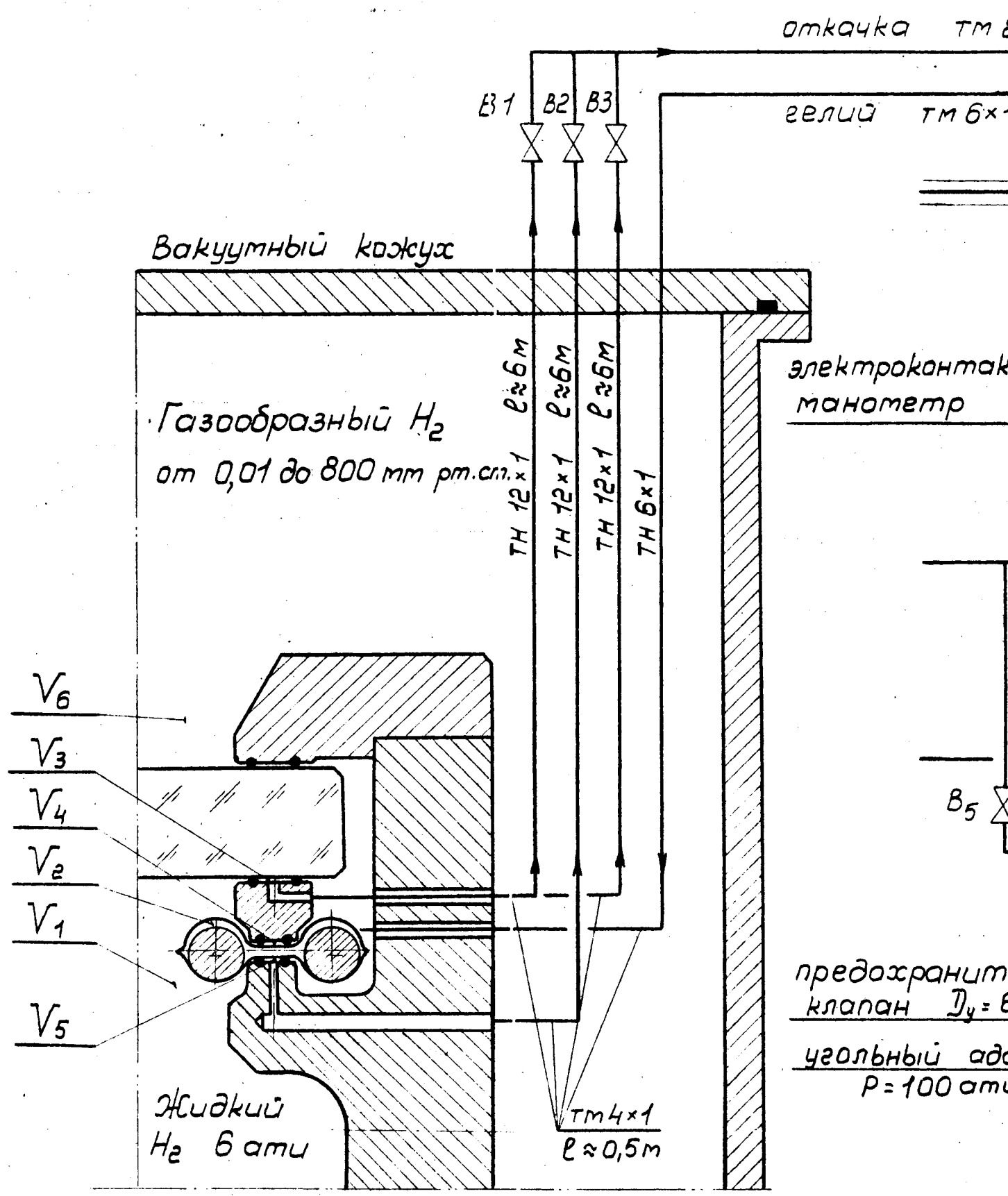


Свободные размеры по 5<sup>му</sup> кл. точности.

Рис. 1.

Констр. Шитов	6/564	Шаблон для резки индусовой проволоки			ВКЧ-П-04-08
Провер.					
КС ОУЯИ		Гетинакс	М1:1		Арх. №1260/IV
Копир. Волуева					





Обозначения:

- ТН - трубка нержавеющая
- ТМ - трубка медная

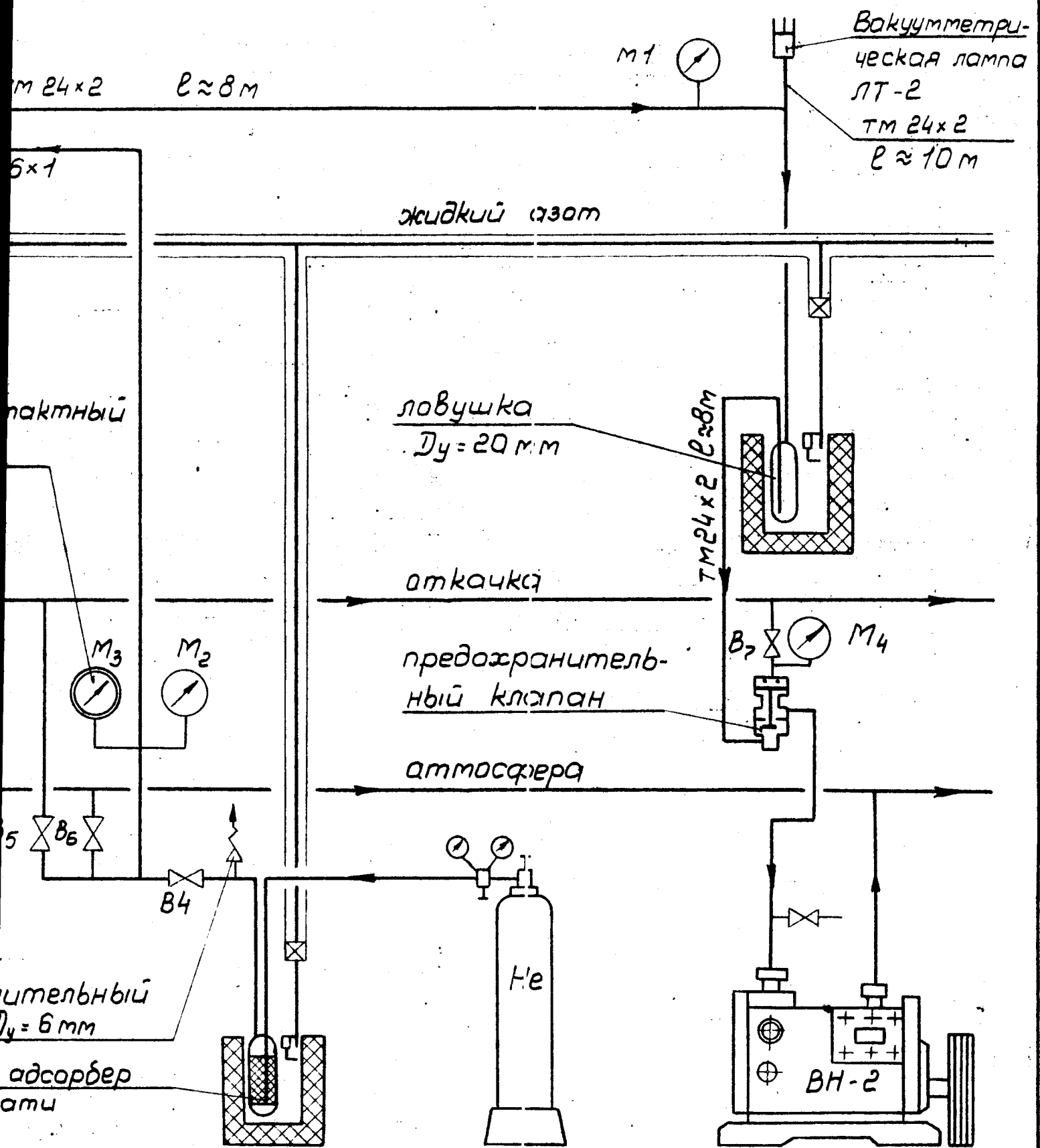


Рис. 2 Монтажно-технологическая схема надувного уплотнения стекла камеры ВК4.