

## ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА МОДУЛЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИНЖЕКЦИИ ПУЧКА В БУСТЕР УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

*В. В. Косухин, А. И. Сидоров<sup>1</sup>, А. В. Смирнов, А. В. Тузиков, В. С. Швецов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Разработана схема вакуумной системы септума и импульсных пластин (ИП2) для инъекции пучка ионов в бустер. Определены элементы вакуумной системы. Разработан алгоритм подготовки вакуумных камер септума и ИП2 для достижения в них предельного вакуума на уровне  $10^{-11}$  Торр. Для надежности уплотнения камеры септума на стыках предложено использовать фланцевые соединения с металлическим уплотнением с трапецеидальной формой уплотняющего зуба.

The scheme of the vacuum system of the electrostatic septum and the impulsive plates (IP2) is developed for the injection into the Booster of the NICA accelerator complex. The components of the vacuum system are determined. The algorithm of preparation of vacuum chambers of the septum and impulsive plates IP2 is developed for the achievement of maximum vacuum in them at the level of  $10^{-11}$  torr. Metal seal flanges with trapezoid teeth are proposed to be applied for reliability of the sealing of the septum chamber at joints.

PACS: 29.27.Ac

Целью данной работы являлась разработка вакуумной системы, которая способна обеспечить вакуум на уровне  $10^{-11}$  Торр в устройствах системы инъекции бустера по проекту NICA ОИЯИ [1]. Система инъекции бустера, в частности, включает в себя электростатический септум и импульсные пластины ИП2 [2]. Оба эти устройства расположены рядом, последовательно друг за другом, соединены сильфонным проходным патрубком и представляют собой единый вакуумный объем с точки зрения откачного вакуумного оборудования [2] (рис. 1). В рабочем режиме в септуме и ИП2 должен поддерживаться вакуум на уровне  $10^{-11}$  Торр.

Выбор откачного вакуумного оборудования для достижения и длительного поддержания сверхчистого вакуума на уровне  $10^{-11}$  Торр и ниже зависит от многих факторов, в том числе от площади внутренней поверхности вакуумных камер септума и ИП2 и, в большей степени, от ее способа обработки и алгоритма подготовки.

Как известно, количество адсорбированных газов у металлов и сплавов сильно зависит от степени шероховатости их поверхности. В основном фирмы, производящие вакуумное

---

<sup>1</sup>E-mail: asid@sunse.jinr.ru

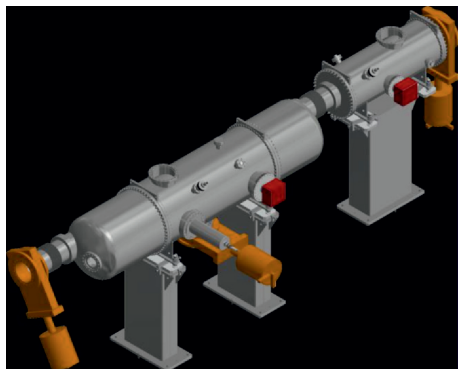


Рис. 1. Общий вид септума и ИП2 в сборе

оборудование, применяют технологию, которая позволяет обработать внутреннюю поверхность производимых вакуумных камер обычно до степени шероховатости Rh 1–3 мкм. При такой степени шероховатости внутренних поверхностей вакуумных камер септума и ИП2, имеющих суммарный объем 410 л и суммарную площадь внутренней поверхности 7,1 м<sup>2</sup>, можно достичь давления не ниже 10<sup>-9</sup> Торр. Для этого достаточно использовать безмасляный форвакуумный насос вместе с турбомолекулярным насосом на магнитной подвеске ротора с необходимой производительностью. Для достижения более высокого вакуума требуется более высокая степень механической обработки внутренней поверхности, по крайней мере, до степени шероховатости Rh 0,1–0,3 мкм. При этом реальная площадь обработанной поверхности уменьшается больше чем на порядок.

Кроме того, для того чтобы получить в вакуумной камере, сделанной из нержавеющей стали, давление 10<sup>-11</sup> Торр и более низкое, необходимо обеспечить десорбцию газов, ранее адсорбированных внутренней ее поверхностью. Наиболее эффективным и часто применяемым является длительный, в течение нескольких часов, прогрев стенок вакуумной камеры под откачкой при температуре 300–400 °С. Кроме того, при прогреве камеры, особенно из нержавеющей стали, помимо поверхностной десорбции идет процесс освобождения газов, растворенных ранее в толще стенок при плавке и прокате этой стали. В основном это атомарный водород, количество которого в спектре остаточных газов в виде атомарного и молекулярного водорода в сумме достигает до 90 % при давлении в камере ниже 10<sup>-9</sup> Торр. Эффективным решением для откачки водорода с высокой скоростью и производительностью, а также для откачки остаточных газов (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO и N<sub>2</sub>) является использование насосов с нераспыляемым газопоглотителем.

Такие насосы, например типа NexTorr, комбинируют с ионным насосом небольшой производительности для поглощения редких газов и метана, которые всегда присутствуют в объеме в небольших количествах. Мы полагаем, что с помощью насосов с нераспыляемым геттером можно получить вакуум на уровне не ниже 4 · 10<sup>-11</sup> Торр. Для достижения и поддержания рабочего вакуума 10<sup>-11</sup> Торр необходимо использовать комбинированные ионные насосы типа Vaclon Plus 300 Noble Diode с криосублимационной панелью с распыляемым геттером TSP (AGILENT), сверхвысоковакуумные насосы с криосублимационной панелью и распыляемым геттером TSP (AGILENT) или насосы типа Vaclon Plus, которые комбинируют с насосами типа SaraciTorr и производят в одном корпусе (новая разработка фирмы AGILENT).

Суммируя сказанное, мы выбрали вакуумную схему откачки септума и ИП2 для достижения и поддержания вакуума на уровне 10<sup>-11</sup> Торр, которая показана на рис. 2.

Режим запуска и работы вакуумной системы (таблица) состоит в следующем. Сначала включается форвакуумный насос NL. Затем через некоторое время открывается клапан VM3, а еще через несколько минут, когда давление достигает величины 1,2 · 10<sup>-2</sup> Торр по датчику PT2, открывается клапан VM4 для откачки камер C1 и C2 до давления

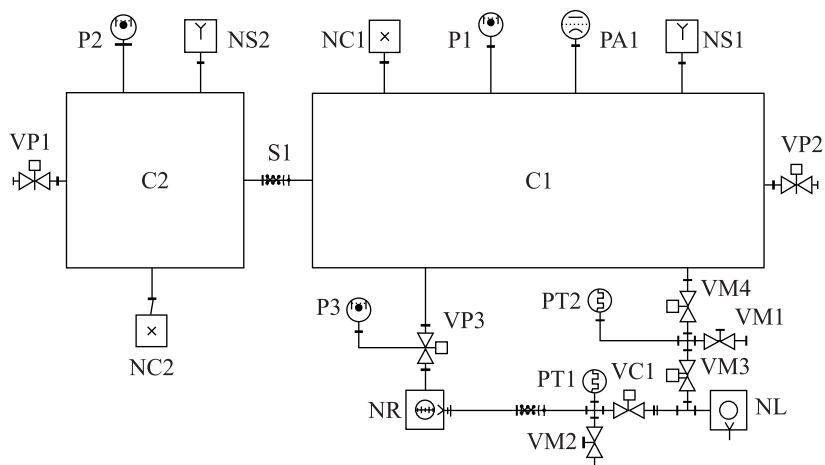


Рис. 2. Схема вакуумной системы септума и ИП2

### Спецификация вакуумного оборудования

Обозначение	Наименование	Производитель
C1	Вакуумная камера септума	HIVAC
C2	Вакуумная камера ИП2	HIVAC
NL	Насос спиральный ISP-500C (500 л/мин; KF 40)	Anest Ivata
NR	Насос турбомолекулярный TMP-803M (800 л/мин; CF 160)	Shimadzu
NS1	Насос ионно-геттерный NexTorr D 2000-10 (CF 100)	SAES
NS2	Насос ионно-геттерный NexTorr D 1000 (CF 100)	SAES
NC1	Насос сверхвысоковакуумный на $10^{-11}$ Торр комбинированный ионный Vaclon Plus 300 Noble Diode (CF 160) с криосублимационной панелью с распыляемым геттером TSP	Agilent
NC2	Насос сверхвысоковакуумный на $10^{-11}$ Торр с криосублимационной панелью с распыляемым геттером (CF 160) TSP	Agilent
PT1, PT2	Датчики вакуума конвекционные «Convector» (KF 25)	Agilent
P1, P2, P3	Датчик вакуума электроразрядный с холодным катодом IMG 300 (CF 40)	Agilent
PA1	Датчик вакуума ионизационный с горячим катодом VA UHV 24 P (CF 40)	Agilent
VP1–VP3	Затвор цельнометаллический электропневматический 48244-CE44 (CF 160)	VAT
VE1	Клапан с электромагнитным приводом (KF40) 26432-KE61	VAT
VM1	Клапан с ручным приводом (KF16) 26424-KE01	VAT
VM2	Клапан с ручным приводом (KF25) 26428-KE01	VAT
VM3	Клапан с пневмоприводом (KF 40) 26432-KE41	VAT
VM4	Клапан цельнометаллический с пневмоприводом (CF 40) 57132-GE41	VAT

$10^{-2}$  Торр. При давлении  $10^{-2}$  Торр клапан VM3 закрывается и открывается VE1 для того, чтобы достичь на выходе турбонасоса NR то же давление —  $10^{-2}$  Торр. После этого запускается турбонасос NR. При выходе турбонасоса на вакуум  $10^{-6}$  Торр (контролируется датчиком P3) закрывается клапан VM4 и открывается затвор VP3 для откачки камер C1 и C2 до давления  $2 \cdot 10^{-6}$  Торр. После того, как давление в камерах достигнет указанной величины, начнется прогрев камер и насосов, установленных на них. Прогрев осуществляется в течение нескольких десятков часов при максимальной температуре  $250^\circ\text{C}$  (при прогреве контроль давления осуществляется датчиками P1–P3). Длительность прогрева камер в значительной степени определяется временем прогрева высоковольтных изоляторов, которые прогреваются в основном тепловым излучением. Когда в процессе прогреваемой дегазации показания датчиков P1 и P2 достигают значений  $2 \cdot 10^{-7}$  и  $7 \cdot 10^{-7}$  Торр соответственно, прогрев прекращается. В процессе остывания, когда температура опускается ниже  $120^\circ\text{C}$ , включается режим активации геттерных насосов NS1 и NS2 (насосы типа NexTorr), который действует в течение 1 ч. После остывания камер до комнатной температуры включается комбинированный ионный насос NC1. По достижении в камерах вакуума  $10^{-8}$  Торр затвор VP3 закрывается и включаются насосы NS1 и NS2. Затем включаются распыляемые геттеры насосов NC1 и NC2. По завершении цикла распыления заливается азот в криосублимационные панели этих насосов. Далее осуществляется процесс откачки камер до давления  $10^{-11}$  Торр. Когда необходимое давление достигается, затвор VP3 закрывается, турбонасос NR отключается. После его остановки закрываются клапаны VE1 и VM3 и выключается форвакуумный насос NL.

Важным элементом с точки зрения достижения и поддержания вакуума  $10^{-11}$  Торр являются металлические уплотнения вакуумных камер септума и ИП2. Вакуумная камера септума, имеющая длину 2 м и большой диаметр — 450 мм, для удобства монтажа элементов септума разделена на три части. Для надежности уплотнения камеры на стыках будут использованы фланцевые соединения с металлическим уплотнением с трапециевидальной формой уплотняющего зуба [3]. Фланцевые соединения такого типа, во-первых, дают возможность более глубокого, а значит более сильного, сдавливания прокладки, во-вторых, позволяют использовать прокладку 2–4 раза и, в-третьих, обеспечивают надежную герметичность в процессе прогрева до  $300^\circ\text{C}$  и остывания до комнатной температуры.

Следует отметить, что время достижения рабочего вакуума  $10^{-11}$  Торр в камерах септума и ИП2 будет определено экспериментально. Возможно, будут скорректированы отдельные пункты указанного выше процесса достижения необходимого вакуума.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tuzikov A. et al. Booster Synchrotron at NICA Accelerator Complex // Proc. of the 25th Russ. Part. Accel. Conf. (RuPAC-2016), St. Petersburg, Russia, Nov. 2016. FRCAMH05. P.160–162; doi:10.18429/JACoW-RuPAC2016-FRCAMH05; <http://jacow.org/rupac2016/papers/frcamh05.pdf>.2017.
2. Бутенко А. В., Косухин В. В., Сидоров А. И., Тузиков А. В., Швецов В. С. Устройства для ввода пучка в бустер // XII Междунар. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Крым, Россия, 3–8 сент. 2017 г.
3. Ларин М. П. // Вакуумная техника и технология. 2012. Т. 22, № 2.