

# НОВЫЙ ПОДХОД В ПОЛУЧЕНИИ СВЕРХВЫСОКОГО ВАКУУМА

P. Manini\*, A. Conte, L. Viale, A. Bonucci, F. Siviero, L. Caruso, SAES Getters SpA, Италия



### Краткое резюме

Несмотря на большие размеры ускорителей, таких как синхротроны или коллайдеры, пространство, доступное для монтажа сверхвысоковакуумных (UHV) насосов становится все меньше и меньше из-за конструктивных ограничений, требований к обслуживанию оборудования, размещения магнитов и различных измерительных приборов. Это создает проблемы для традиционных конструкций UHV насосов, которые призваны обеспечить высокую производительность в небольших пространствах.

В данной статье представлен инновационный подход к решению такого рода проблем – объединение технологий нераспыляющих геттерных (NEG) и ионных насосов, удачно интегрированных в одном устройстве – насосе NEX Torr. В этом UHV насосе геттерный картридж действует как основной элемент, оставляя небольшому ионному насосу задачу удаления инертных газов и метана, не откачанных геттером. Такая конструкция позволяет достичь большой скорости откачки в очень компактном корпусе, а также обеспечивает интересные синергетические эффекты.

Основные характеристики насоса NEX Torr, конструктивные особенности и примеры использования будут опубликованы в данной статье с акцентом на ускорителях и системах в области физики высоких энергий.

### ВВЕДЕНИЕ

Конструкция и эксплуатация современных ускорителей предъявляют высокие требования к вакуумным системам, способным обеспечить высокую производительность и малые размеры. Потребность в быстрой дегазации вакуумных камер, установки различных приборов и т.п., также становится желательным свойством для многих сотрудников научных проектов.

На сегодняшний день в крупных вакуумных системах находят широкое применение ионные насосы (SIP насосы), благодаря способности адсорбировать все газы, отсутствию смазки и вибраций. Основным недостатком этого вида насосов является значительное снижение скорости откачки в диапазоне высокого и сверхвысокого вакуума (UHV-XHV), в частности, для водорода. Этот недостаток может быть нивелирован при использовании больших ионных насосов, однако это подразумевает значительное увеличение размеров и веса вакуумной системы. С другой стороны, высокая скорость откачки и компактные размеры NEG насосов в комбинации с ионными насосами позволяют обеспечить требуемый уровень вакуума для UHV-XHV систем.

В данной статье мы представляем новый подход в сочетании геттерных и ионных насосов на основе интеграции двух технологий в одном устройстве, называемом NEX Torr.

Мы кратко рассмотрим основные характеристики насоса, эффект синергии, покажем сравнительные результаты экспериментов и испытаний.

### ПРЕИМУЩЕСТВА NEX Torr

При разработке насоса NEX Torr был применен нестандартный способ объединения геттерных и ионных технологий. Вместо того чтобы использовать геттерный насос в качестве вспомогательного насоса для повышения производительности ионного насоса, он используется в качестве основного насоса системы, в то время как ионный насос берет на себя вспомогательную функцию откачки газов, т.е. откачку редких газов и метана. Такой подход подтверждается исследованиями, проведенными Benvenuti и некоторыми другими [1].

В насосе NEX Torr® газопоглотительный материал представляет собой стопку спеченных дисков из сплава St172®, помещаемую в сторону вакуума с помощью монтажного фланца, который также снабжен танталовым нагревателем для активации газопоглощения. На другой стороне фланца расположен небольшой ионный насос (5 л/с N<sub>2</sub>). Соединение двух насосов с помощью фланца было разработано с целью получения эффекта синергии (описанного ниже) и повышения эффективности работы ионного насоса. Геттерный картридж обеспечивает скорость откачки 100 л/с для H<sub>2</sub>, но большие скорости также возможны (новые насосы до 2000 л/с уже разработаны). Обеспечивая большую производительность для активных газов (вода, оксиды углерода, азота и т.д.), такая комбинация геттерного и ионного насоса намного меньше и легче, чем ионный насос той же номинальной скоростью, как показано на рис. 1

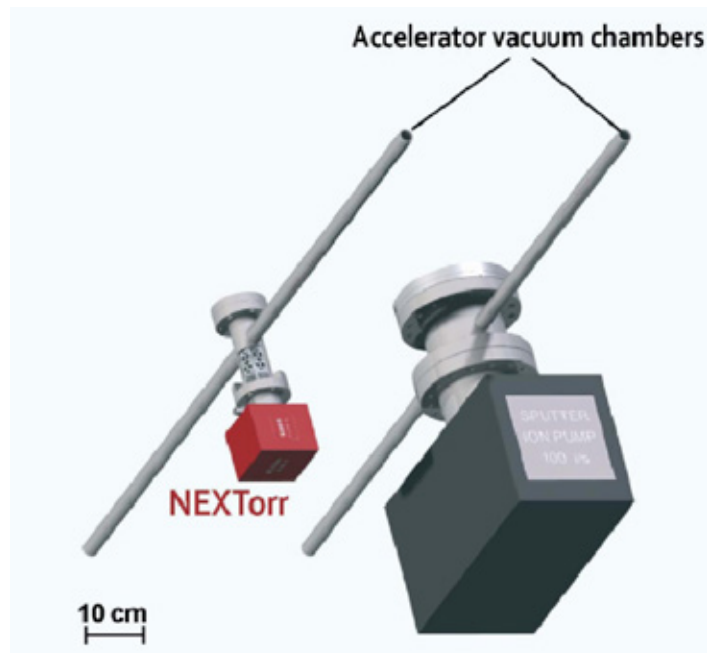


Рис. 1: Внешний вид насоса NEX Torr® D100-5 по сравнению с эквивалентным ионным насосом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭСПЕРИМЕНТОВ

### Тесты откачки в высоковакуумной системе.

Показатели NEX Torr были тщательно исследованы для различных газов, таких как H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, Ar и CH<sub>4</sub>. На рис. 2 мы приводим кривые сорбции в соответствии со стандартом ASTM F798-97. Другие аспекты, связанные с работой насоса, включая нестабильность Ar, были также исследованы (результаты будут опубликованы в отдельной статье).

Важным преимуществом геттерного насоса является отсутствие необходимости электропитания для его эксплуатации, поэтому насос способен поддерживать требуемый уровень вакуума в течение длительного периода времени в случае сбоя питания в системе. К тому же, наличие небольшого ионного насоса приводит к более низкому уровню газовой выделению. Такие характеристики имеют особое значение для ускорителей, где различные события, связанные с нарушением целостности вакуума критичны.

Показатели NEX Torr® D100-5 сравнивались непосредственно с триодным магниторазрядным насосом производительностью 120 л/с для H<sub>2</sub> (65 л/с для N<sub>2</sub>), установленным на стальной ферме вакуумной камеры (рис. 3). В первом эксперименте (рис. 4) был произведен отжиг камеры в течение 24 часов при температуре 170°C, в этот период геттерный элемент (NEG) нагревался до температуры около 300°C, чтобы улучшить эффективность дегазации. Во время охлаждения камеры ионные насосы были дегазированы, а геттерный элемент снова активирован.

Максимальный уровень вакуума, полученный при использовании комбинации насосов был ниже  $4 \times 10^{-10}$  торр, несмотря на меньшие размеры и меньший показатель номинальной скорости. Эффект дополнительного нагрева геттерного элемента в течение дегазации может быть использован также для сокращения времени дегазации [2].

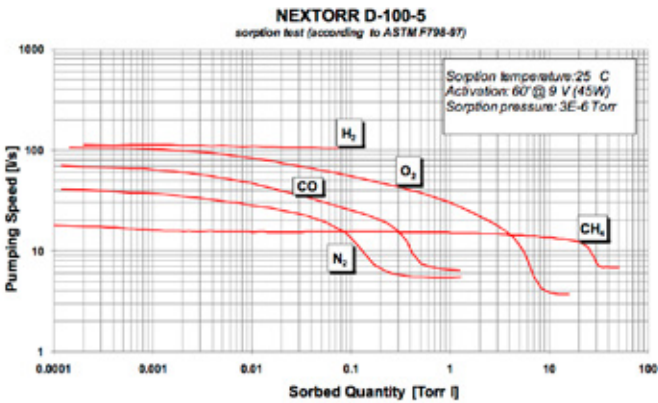


Рис. 2: Типичные кривые сорбции NEX Torr® D100-5.

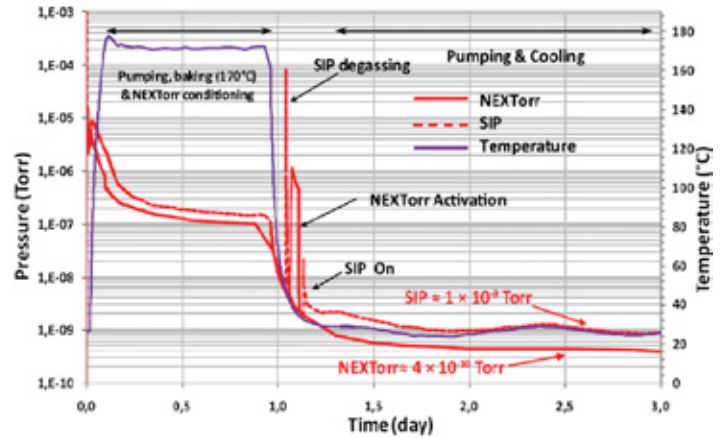


Рис. 4: Сравнение результатов откачки комбинированного насоса NEX Torr и обычных ионных насосов (отжиг при 170°C в течение 24 часов).

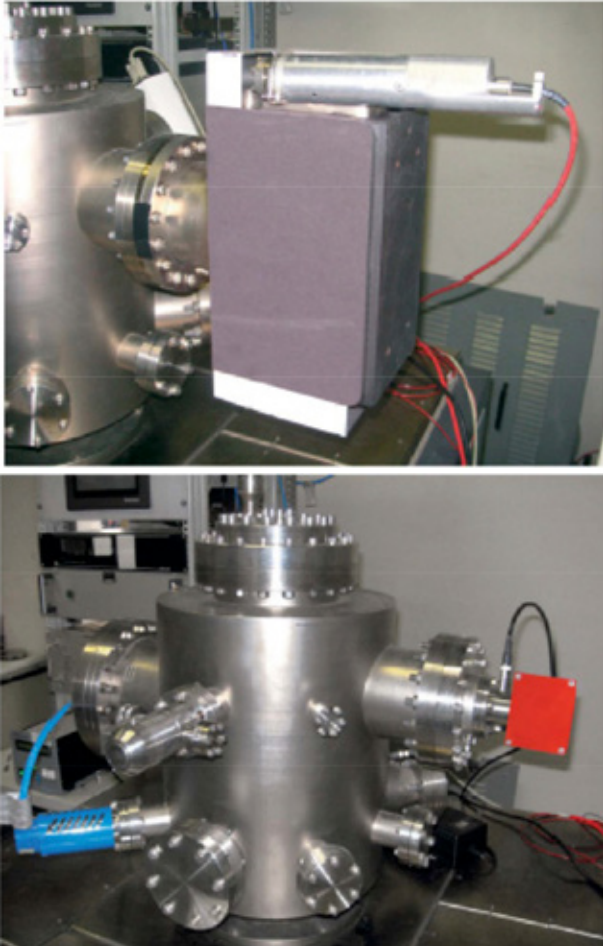


Рис. 3: Испытательный стенд с установленным насосом NEX Torr® D100-5 и ионным насосом.

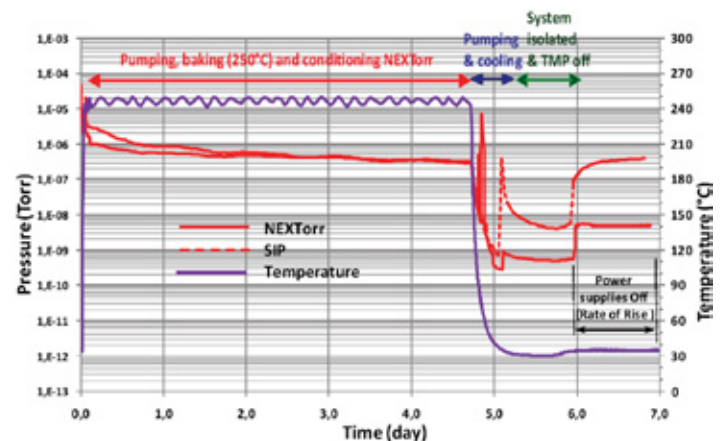


Рис. 5: Сравнение результатов откачки комбинированного насоса NEX Torr и обычных ионных насосов (отжиг при 250°C в течение 110 часов).

Рисунок 2 четко показывает, что до тех пор, пока геттерный элемент насоса активен, скорость откачки NEX Torr® определяется производительностью геттера. Конечно, как только геттерный элемент насыщается, скорость откачки падает до уровня ионного насоса. Это справедливо для всех основных активных газов. Можно было бы предположить, что такое же поведение наблюдается и для метана. Однако для метана вышеприведенное объяснение не имеет смысла, по той простой причине, что геттер не поглощает метан при комнатной температуре. Действительно, наивысшая скорость откачки для метана, когда геттер активен, определяется эффектом синергии внутри NEX Torr.

Для подтверждения результатов эксперимента был использован квадрупольный масс-спектрометр (QMS) для анализа состава атмосферы путем проведения тестов по стандартам ASTM. Влияние масс-спектрометра на производительность NEX Torr было незначительно. Рисунок 6 показывает, что во время сорбции метана, в отсутствие активного геттера, основной газ не метан, как и ожидалось, но водород.

Обратное выделение водорода, ранее откачанного ионным насосом во время откачки других газов, известно как «регургитация» [3]. В нашем случае измерения показывают, что процент обратного выделения водорода не изменяется во времени, будучи кинетической константой механизма сорбции метана при заданном давлении. Кроме того, давление десорбированного водорода стабилизируется самим ионным насосом, достигая квазистационарного динамического равновесия. Это явление было исследовано и подтверждено другими коммерческими ионными насосами и, хотя его величина похоже зависит от конкретной системы, оно всегда актуально [4].

Таким образом, фактическая скорость откачки ионного насоса определяется балансом между скоростью удаления метана и скоростью десорбции водорода. В результате десорбции H<sub>2</sub>, фактическая скорость откачки ограничивается до нижнего уровня, как показано на рис. 2 в заключительной части кривой сорбции CH<sub>4</sub>.

Присутствие геттерного элемента обеспечивает эффективное удаление водорода, десорбированного во время сорбции метана, что приводит к более высокой скорости откачки, как показано на рис. 2 в первой части кривой. Рис. 7 показывает, что во время сорбции метана с активным геттером основной газ сам по себе метан, в то время как водород ограничивается ничтожной величиной. Конструкция насоса NEX Torr была спроектирована для получения максимального синергетического эффекта, улучшая взаимодействие между газами, выходящими из ионного насоса и газопоглощающего геттерного картриджа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье был представлен новый насос NEX Torr, комбинирующий в себе технологии геттерного и ионного насоса. Инновационность конструкции насоса в том, что геттерный элемент выступает в качестве основного элемента откачки, в результате малый ионный насос выполняет задачу удаления остаточных газов. Испытания насоса в различных условиях отжига показывают, что насос обеспечивает производительность выше 65 л/с

с гораздо меньшим весом и занимаемой площадью. Конструкция насоса позволяет увеличить скорость откачки по H<sub>2</sub> больше, чем 1000 л/с. Дополнительным преимуществом, особенно

привлекательным для применения в больших вакуумных системах, является автономность насоса - возможность поддержания высокого вакуума в течение длительного времени без электрического питания. Кроме этого возможность использования геттерного элемента насоса для повышения эффективности отжига. Последнее преимущество может быть использовано либо для достижения более низкого базового давления, либо для сокращения времени отжига.

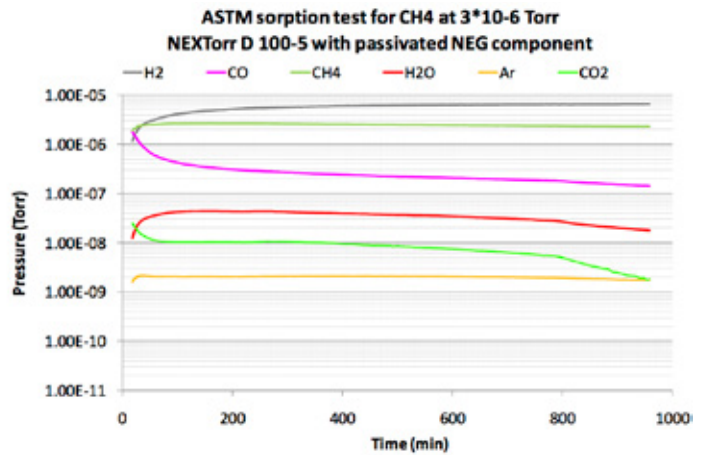


Рис. 6: Состав газа во время сорбции метана с пассивным геттерным элементом.

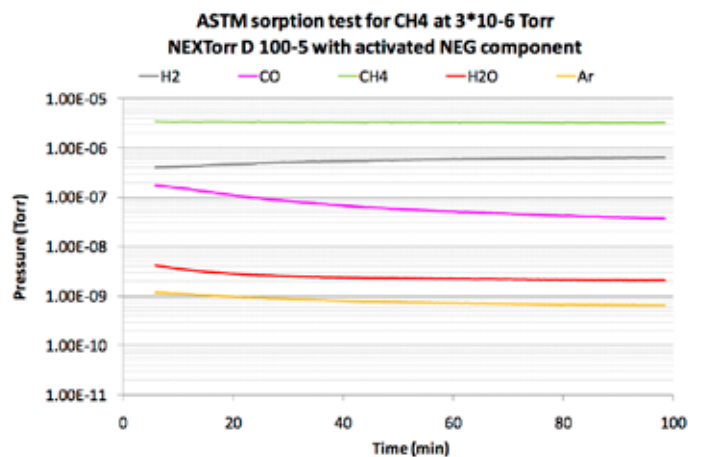


Рис. 7: Состав газа во время сорбции метана с активным геттером.

Использованные материалы:

- [1] C. Benvenuti and P. Chiggiato, J.Vac. Sci. Technol. A 14(6) (1996), 3278.
- [2] C.D. Park, S.M. Chung, P. Manini, J.Vac. Sci. Technol A29(1) (2011) 011012-1.
- [3] P.A. Redhead, J.P. Hobson, E.V. Kornelsen, "The Physical Basis of Ultrahigh Vacuum", 1993, Chapman & Hall, p. 409
- [4] U.R. Bancea and R.D. Craiga, "Some characteristics of triode ion pumps", Vacuum 16(12) (1966) 647.