

# Использование метода статистических испытаний для определения давления в вакуумной камере УНК–600

А.М. Кивер, К.Г. Мирзоев

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Вакуумная камера УНК–600 [1] в промежутках между магнитами содержит патрубки для подсоединения откачных агрегатов с лайнерами, необходимыми для ликвидации резонирующих полостей. В каждом структурном периоде вакуумной системы установлен один манометрический преобразователь, который измеряет локальное значение давления в патрубке поста предварительной откачки в стороне от ионопровода. Поэтому представляет интерес определение давления именно в лайнерах патрубков разных типов, учитывая относительно сложную конструкцию узла патрубка насоса с лайнером. С целью выяснения характера распределения давления в этих узлах камеры проведено моделирование процесса откачки с помощью метода статистических испытаний Монте-Карло [2,3].

Рассматривались следующие три группы патрубков вакуумной камеры: тип А с апертурой лайнера  $70 \times 62 \text{ мм}^2$  и насосом ПВИГ–100, тип Б с апертурой лайнера  $90 \times 48 \text{ мм}^2$  и насосом ПВИГ–100 и тип В с лайнером  $90 \times 48 \text{ мм}^2$ , насосом ПВИГ–250, манометром и тройником для поста предварительной откачки. С помощью ЭВМ прослеживались траектории достаточно большого числа молекул остаточного газа до получения фиксированного суммарного числа соударений со стенками всех участков системы.

На рис. 1 схематически показан узел типа В с насосом ПВИГ–250. Для сокращения времени счёта конструкция системы упрощена, не учитываются такие элементы, как сильфон и быстроразъёмные соединения, хотя их поверхность учтена при вводе в программу исходных данных. Рассмотрение ведётся в системе координат, начало которой совмещено с центром одного из торцов лайнера.

Система условно разделена на 7 участков или зон, как показано на рисунке. В зоне 1 находится манометр, измеряющий давление, зона 4 — объём лайнера, 3 и 5 — верхняя и нижняя половины цилиндрического патрубка (без объёма лайнера), разделённые горизонтальной плоскостью по оси лайнера, зона 6 — патрубок насоса, а за зону 7 условно принято входное сечение насоса (на схеме — пунктирная линия). Предполагается, что газовыделение единицы поверхности всех зон одинаковое, объёмная концентрация газа в пределах каждой зоны однородна, а отражение молекул от поверхности происходит по закону косинуса. В случае узлов типа А и Б патрубка с манометром нет, поэтому число зон меньше: лайнеру соответствует зона 2, патрубка насоса — зона 4, верхняя и нижняя половины цилиндрического патрубка — зоны 1 и 3 соответственно, а входное сечение насоса ПВИГ–100 — зона 5.

Рис. 1: Схема участка камеры с лайнером типа В. Цифры обозначают номера зон при статистических испытаниях.

Старт молекулы с поверхности каждой зоны задаётся с помощью генератора или датчика случайных чисел с учётом разницы в величине поверхностей, ограничивающих зону. Поверхность камеры с обеих сторон лайнера от середины одного магнита до середины другого учтена в виде соответствующего увеличения вероятности старта молекул с двух

торцов зоны лайнера. Траектория молекулы прослеживается до тех пор, пока она не будет откачана насосом, т.е. пересечёт поверхность 7 (тип В) или 5 (типы А и Б). При этом подсчитывается число столкновений молекулы с поверхностью каждой зоны.

Моделирование продолжается до тех пор, пока общее число столкновений молекул с поверхностями всех зон превысит величину  $10^6$ . Погрешность вычисления величин  $\nu_m$  — числа соударений  $N$  молекул с поверхностью  $m$ -ой зоны, определённая с достоверностью 95%, находится в пределах 5% [2], а величина  $N$  — порядка  $(1 \div 4) \cdot 10^3$ . Давление в объёме пропорционально потоку молекул на единицу поверхности его стенок. Так как метод статистических испытаний моделирует процесс реальной откачки, то число соударений моделируемых молекул с единицей поверхности  $m$ -ой зоны  $\nu_m/F_m$  пропорционально давлению  $P_m$  в этой зоне. Поэтому, зная давление  $P_M$  в зоне 1, измеренное манометром, можно найти  $P_m$  из отношения давлений:

$$P_m = P_M \frac{\nu_m F_M}{\nu_M F_m}. \quad (1)$$

Таким образом, по рассчитанным величинам  $\nu_m$  можно определить давление в лайнере и соотношение между давлением в патрубке насоса и давлением в лайнере.

При проведении моделирования методом Монте-Карло необходимо знать вероятность пересечения молекулами плоскости входного фланца насоса, или коэффициент захвата насоса  $\alpha$ , который равен отношению объема газа  $S$  (л/с), откачиваемого насосом, к объёму газа  $V_1$ , проходящего за то же время через сечение входного фланца насоса радиусом  $R$ . Быстрота действия  $S$  по воздуху насосов ПВИГ-100 и ПВИГ-250 измерялась на специальном стенде с помощью измерительных камер, выполненных в соответствии с международными стандартами [4].

В программе статистических испытаний коэффициент захвата насоса задавался в виде вероятности пересечения падающей молекулой поверхности зоны 7 (или 5 для типов А и Б). Циклы статистических испытаний проводились при разных значениях  $\alpha$  от 0,1 до 0,5 с шагом изменения 0,1 для каждого типа лайнера. Этот диапазон соответствует экспериментальным значениям  $\alpha$  до и после распыления титана. Результаты статистических испытаний приведены в табл. 1 и 2 в виде отношения давления в  $m$ -ой зоне  $P_m$  к давлению в патрубке насоса.

По узлам А и Б взяты средние результаты для каждой из зон. При этом максимальное отличие для каждого из типов не превосходит 4%. Как видно из таблиц, давление в лайнере является наибольшим по сравнению с другими зонами. Используя результаты работы [5] и данные табл. 1 и 2, можно построить кривые зависимости отношения давлений в лайнере и в насосе от давления в насосе. Это отношение давлений будет стремиться к 1 при  $\alpha \rightarrow 0$  (что соответствует выравниванию давления во всех зонах в установившемся режиме после прекращения работы насоса). Для  $\alpha > 0,5$  экстраполированы данные табл. 1 в диапазоне  $\alpha = 0,4 \div 0,5$ .

Таблица 1: Узел типа В с насосом ПВИГ-250, лайнер — зона 4, патрубков насоса — зона 6.

	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,5$
$m = 1$	1,25	1,51	1,66	1,84	2,20
$m = 2$	1,22	1,48	1,62	1,82	2,11
$m = 3$	1,13	1,44	1,63	1,81	2,10
$m = 4$	1,32	1,68	1,92	2,15	2,51
$m = 5$	1,09	1,33	1,44	1,62	1,86
$m = 6$	1	1	1	1	1

Таблица 2: Узлы типа А и Б с насосом ПВИГ-100, лайнер — зона 2, патрубков насоса — зона 4.

$\alpha$	$m = 1$			$m = 2$			$m = 3$			$m = 4$
	А	Б	Сред	А	Б	Сред	А	Б	Сред	
0,1	1,39	1,30	1,35	1,59	1,47	1,53	1,29	1,22	1,26	1
0,2	1,58	1,56	1,57	1,86	1,80	1,83	1,46	1,46	1,46	1
0,3	1,83	1,76	1,80	2,16	2,02	2,09	1,69	1,66	1,68	1
0,4	1,99	1,96	1,97	2,41	2,28	2,35	1,82	1,85	1,84	1
0,5	2,14	2,14	2,14	2,52	2,50	2,51	1,96	1,98	1,97	1

Кривые отношения давлений показаны на рис. 2 в виде графиков для коэффициентов пересчета  $\gamma_{ij}$  от давления в патрубке насоса  $P_i$  к давлению в соответствующем этому насосу лайнере  $P_{ij} = \gamma_{ij}P_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, 16$  — номер насоса в периоде,  $j = 1; 2$  — состояние без распыления титана, а  $j = 3; 4$  — после распыления титана для насосов ПВИГ-100 и ПВИГ-250 соответственно. После распыления титана давление в насосе существенно снижается из-за возрастания быстроты действия насоса. Поэтому величина давления в лайнере после распыления также уменьшается, несмотря на некоторое увеличение отношения давлений в лайнере и насосе, как это следует из кривых рис.2. На рис.2б показаны также коэффициенты пересчёта  $\beta$  от давления  $P_M$ , измеренного манометром в зоне 1, к давлению в патрубке ПВИГ-250  $P_{нас} = \beta P_M$  (кривые 1 и 2 без распыления и после распыления титана соответственно).

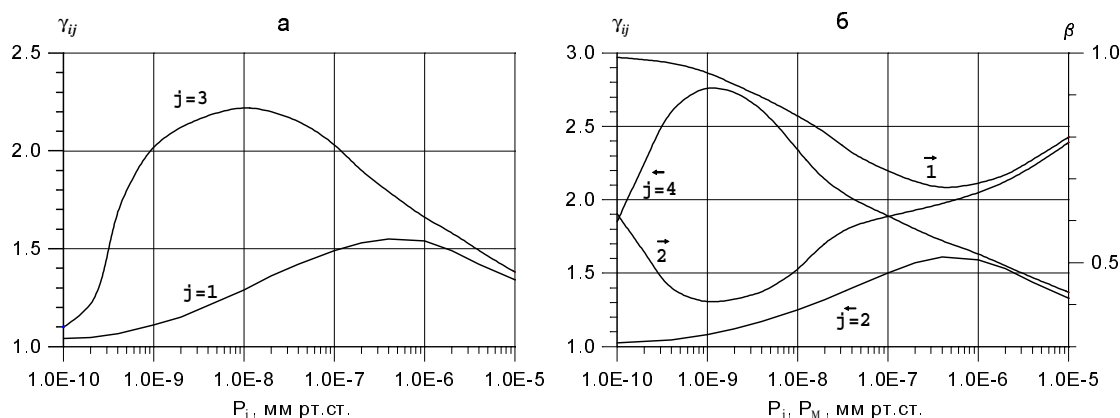


Рис. 2: Кривые отношения давлений в лайнере и насосе для узла А с ПВИГ-100 (а:  $j = 1$  — без распыления,  $j = 3$  — после распыления), узла В с ПВИГ-250 (б:  $j = 2$  — без распыления,  $j = 4$  — после распыления), а также отношения давлений в патрубке насоса ПВИГ-250 и в зоне манометра (кривые 1 и 2 до и после распыления титана соответственно).

Таким образом, можно получить значение давления в каждом лайнере камеры, зная давление в патрубке насоса, определяемое по току разряда этого насоса. Полученные результаты позволяют уточнить величину рабочего давления в ионопроводе вакуумной камеры УНК-600.

## Список литературы

- [1] Антонов С.С. и др. — Препринт ИФВЭ 91–102, Серпухов, 1991.
- [2] Саксаганский Г.Л. Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах. — М., Атомиздат, 1980.
- [3] Xu T.W., Laurent J.M. and Grobner O. CERN–LEP–VA/86–02, Geneva, 1986.
- [4] Ficher E. and Mommson H. //Vacuum, 1967, 17, 309.
- [5] Кивер А.М., Мирзоев К.Г. — Препринт ИФВЭ 94–27, Протвино, 1994.