

## Моделирование вакуумного тракта лучепровода миниатюрного электронно-лучевого оборудования

Б.Г. Львов, В.А. Ветров

Москва, Московский государственный институт электроники и математики (МИЭМ)

В настоящее время, используя новые достижения научно-технического прогресса, ведутся исследовательские работы, направленные на миниатюризацию дорогостоящего и уникального технологического и контрольно-аналитического оборудования, что позволяет осуществить его кардинальное удешевление и расширение сферы применения.

Применение технологий микроэлектроники и современных материалов позволяет иметь стоимость, массогабаритные характеристики и энергопотребление масс-спектрометров, газовых хроматографов, растровых электронных микроскопов, установок литографии и другого оборудования на порядок меньшие по сравнению с традиционным исполнением.

Определены существенные функциональные требования к вакуумной системе миниатюрной электронно-лучевой колонны: рабочее давление в области электронно-оптической системы (ЭОС) не более  $5 \cdot 10^{-2}$  Па, предельное остаточное давление в области миникатода  $5 \cdot 10^{-7}$  Па, в вакуумной среде должны отсутствовать углеводородные соединения.

В соответствии с этими требованиями и концепцией электронно-оптической миниколонны, определяющей структуру вакуумного тракта лучепровода (ВТЛ) в виде отдельных отсеков, входы и выходы которых являются отверстиями диафрагм и вакуумной откачки, рассматриваются 3 расчетные вакуумные схемы колонны, представленные на рис. 1.

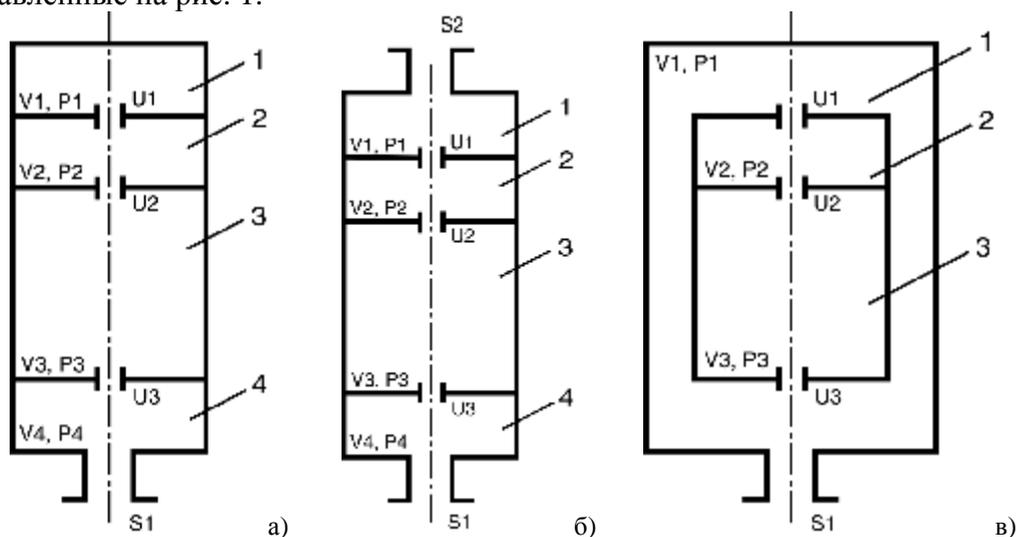


Рис. 1. Расчетные вакуумные схемы колонны:

а) с откачкой одним высоковакуумным насосом; б) с отдельной откачкой; в) с шунтированной откачкой;

1 – секция катода; 2 – экстрагирующая секция; 3 – секция ЭОС; 4 – приемная камера;

P – давление; V – объем; U – проводимость; S – быстрота действия насоса

Для расчета вакуумных характеристик при произвольном изменении сложной модульной структуры ВТЛ создана методика формирования моделей функционирования ВТЛ. Используя разработанную методику, построены модели, проведено моделирование и расчет вариантов откачки приведенных схем. В основе расчета лежит обобщенная модель функционирования (1):

$$V \frac{dP}{dt} = \sum_{i=1}^{n_1} C_i (P_i - P) - \sum_{j=1}^{n_2} C_j (P - P_j) + \sum_{k=1}^{n_3} Q_k^a - P \sum_{m=1}^{n_4} S_m + Q, \quad (1)$$

где  $V$  – объем секции;  $P$  – давление в секции;  $C_i, C_j$  – проводимости соответственно  $i$ -го и  $j$ -го отверстия;  $Q_k^a$  – поток активных источников газа;  $S_m$  – эффективная быстрота откачки вакуумного насоса;  $Q$  – поток газовыделения;  $n_1$  – число входных отверстий секции;  $n_2$  – число выходных отверстий секции;  $n_3$  – число источников газа;  $n_4$  – число высоковакуумных насосов.

Формируя модели секций на основе обобщенной модели (1), получают системы дифференциальных уравнений для каждой из расчетных схем. Например расчетной схеме с шунтированной откачкой (рис. 1,в) соответствует система уравнений (2):

$$\begin{cases} -V_2 \frac{dP_2}{dt} = U_2(P_2 - P_3) + U_1(P_2 - P_1) - Q_2 \\ -V_3 \frac{dP_3}{dt} = U_3(P_3 - P_1) - U_2(P_2 - P_3) - Q_3 \\ -V_1 \frac{dP_1}{dt} = S_1 P_1 - U_1(P_2 - P_1) - U_3(P_3 - P_1) - Q_1 \end{cases} \quad (2)$$

Проведенное моделирование позволяет сделать следующие выводы:

- давление в секции ЭОС определяется проводимостью канала линз и не зависит от быстрот действия насосов в секции миникатода и приемной камеры; при принятых диаметрах отверстий линз давления  $5 \cdot 10^{-2}$  Па достаточно для функционирования электронного луча; при меньших диаметрах линз необходимо соблюдать соотношения (3), обеспечивающие допустимые потери электронного зонда по вакуумному критерию;

$$\frac{Q_i}{U_i} \leq 10^{-2}, \quad \frac{U_i}{V_i} \geq 1, \quad (3)$$

где  $Q_i$  – суммарная газовая нагрузка в секции;

$U_i$  – суммарная проводимость выходных отверстий секции;

$V_i$  – объем секции.

- вакуум в секции катода и приемной камере определяется быстротой действия откачных средств, которыми они снабжаются; при этом существующие высоковакуумные миниатюрные средства откачки должны обеспечивать вакуум в секции катода менее  $5 \cdot 10^{-7}$  Па и обладать быстротой действия в диапазоне  $0,1 \div 10$  л/с;
- при заданных геометрических размерах элементов электронно-лучевой колонны и имеющихся в наличии в отечественной вакуумной технике высоковакуумных мининасосов наиболее предпочтительна принципиальная схема вакуумной минисистемы с шунтирующей откачкой миникатода (рис.1,в).