

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 2.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

#### 2.1.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ФОРМИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ СРЕДЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ

**Цель лабораторной работы:** изучение основных методов и средств получения и измерения вакуумной технологической среды для реализации высоковакуумных технологических процессов.

##### **Задание по лабораторной работе**

1. Изучить конструкцию и принцип работы вакуумной системы лабораторной установки вакуумного осаждения покрытий.

2. Провести экспериментальные исследования зависимости давления  $p$  в вакуумной камере СИ (рис. 2.1) от времени  $t$  при откачке спиральным вакуумным насосом и измерении давления термодинамическим преобразователем (датчиком низкого вакуума). Построить график зависимости  $p(t)$ , определить предельное давление форвакуумной системы  $p'$ .

3. Провести экспериментальные исследования зависимости давления  $p$  в вакуумной камере СИ от времени  $t$  при откачке турбомолекулярным вакуумным насосом и измерении давления ионизационным преобразователем (датчиком высокого вакуума). Построить график зависимости  $p(t)$ , определить предельное давление высоковакуумной системы  $p'$ .

4. Экспериментально исследовать зависимость давления  $p$  от времени  $t$  при закрытом затворе. Построить кривую потока газонатекания, определить его значение.

5. Проанализировать результаты лабораторной работы, сформулировать краткие выводы, оформить отчет и представить его к защите.

##### **Теоретическая часть**

Для создания требуемого вакуума при проведении высоковакуумных технологических процессов, в частности при нанесении тонкопленочных покрытий, используются различные конфигурации вакуумных насосов, запорной арматуры и вспомогательных элементов вакуумных систем. Их выбор определяется типом процесса, производительностью и размером рабочей камеры вакуумной установки, чистотой вакуумной среды и т. д.

Качество изготовления вакуумной камеры, внутрикамерных элементов, а также качество сборки элементов вакуумной и технологической систем существенно влияют на потоки газовой выделенной и газонатекающей, что в свою очередь влияет на качество получаемых тонких пленок.

### Описание установки вакуумного нанесения

Вакуумная установка ВУП-11М применяется для формирования тонких пленок методом магнетронного распыления. Формирование пленок происходит в вакууме при давлении 0,2 Па. Для создания вакуума установка ВУП-11М оснащена двумя типами насосов: форвакуумным и высоковакуумным. В качестве форвакуумного используется спиральный насос, он позволяет откачать камеру до среднего вакуума (диапазон давлений 10...1 Па), в качестве высоковакуумного — турбомолекулярный насос, откачать камеру до высокого вакуума ( $10^{-3}$ ... $10^{-4}$  Па). Установка имеет три вакуумные магистрали: высоковакуумную — соединяет камеру и турбомолекулярный насос, форвакуумную — соединяет турбомолекулярный и спиральный насосы, и байпасную магистраль — соединяет спиральный насос напрямую с камерой, в обход высоковакуумного насоса. В качестве запорной арматуры применяют электромагнитные клапаны на форвакуумной и байпасной магистралях и шиберный затвор на высоковакуумной магистрали. Принципиальная схема установки ВУП-11М представлена на рис. 2.1.

Общий вид установки ВУП-11М приведен на рис. 2.2.

Технологический процесс работы на установке ВУП-11М начинается с загрузки образца в рабочую камеру, которая изначально находится под атмосферным давлением. Затем для создания рабочей среды из вакуумной камеры откачивается газ с помощью спирального насоса *NI1* по байпасной магистрали через электромагнитный клапан *VE3*. При достижении давления включения турбомолекулярного насоса ~10 Па клапан *VE3* закрывается и открывается клапан *VE1*. Так спиральный насос откачивает газ из турбомолекулярного насоса по форвакуумной магистрали, а турбомолекулярный насос откачивает газ из рабочей камеры через затвор *VT1* по высоковакуумной магистрали. При достижении в рабочей камере остаточного давления  $\sim 10^{-3}$  Па в камеру подается рабочий газ. С помощью регулировки положения тарелки затвора выставляется рабочее давление в камере и запускается процесс формирования тонкопленочного покрытия методом магнетронного распыления. По

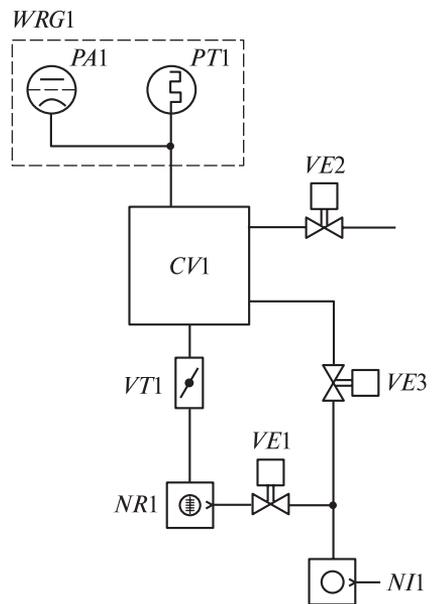
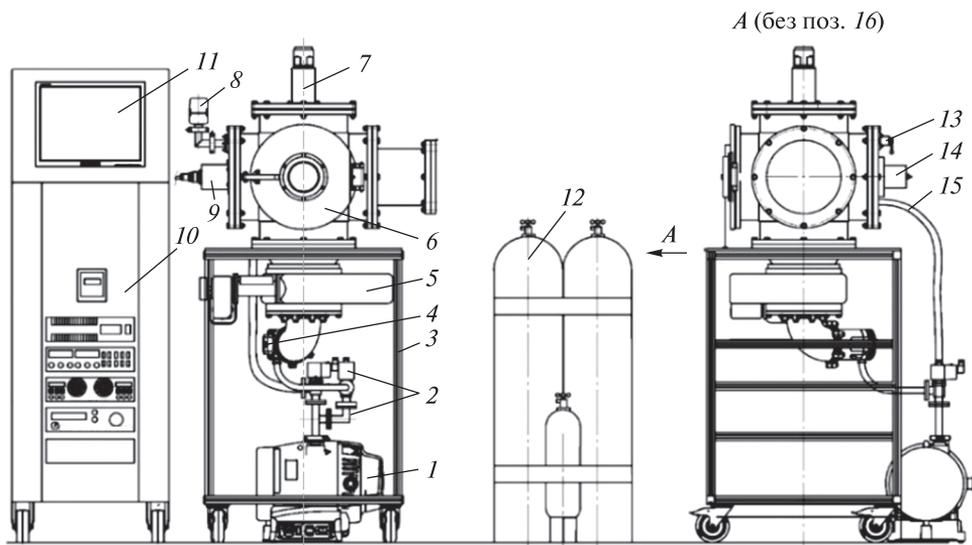


Рис. 2.1. Принципиальная вакуумная схема установки ВУП-11М

завершении процесса нанесения пленки выключается турбомолекулярный насос. После остановки турбомолекулярного насоса выключается спиральный насос, закрывается клапан *VE1*, и в камеру напускается воздух через клапан напуска *VE2*.



**Рис. 2.2.** Общий вид вакуумной установки ВУП-11М

1 — форвакуумный спиральный насос Edwards XDS35i; 2 — электромагнитные клапаны; 3 — рама; 4 — турбомолекулярный насос Edwards nEXT400D; 5 — высоковакуумный затвор; 6 — рабочая камера; 7 — ввод вращения; 8 — датчик измерения вакуума WRG; 9 — магнетрон; 10 — шкаф для блоков питания источников; 11 — компьютер управления; 12 — баллоны с газами; 13 — клапан напуска атмосферы; 14 — автономный источник ионов; 15 — байпасная магистраль

Основными элементами вакуумной системы являются вакуумные насосы, и быстрота откачки рабочей камеры непосредственно зависит от их характеристик. Основные характеристики вакуумных насосов установки ВУП-11М приведены ниже.

Характеристика	Спиральный насос XDS35i	Турбомолекулярный насос nEXT400D
Быстрота действия насоса, л/с.....	12 .....	N <sub>2</sub> — 400 Ar — 380 He — 390 H <sub>2</sub> — 325
Предельное остаточное давление, Па.....	1 .....	1·10 <sup>-6</sup>
Входной фланец ISO.....	KF40 .....	ISO160-K
Выходной фланец ISO.....	KF25 .....	KF25
Мощность двигателя, Вт .....	520 .....	200
Номинальная скорость вращения, об/мин.....	1500.....	60 000

### Измерение вакуума

Для измерения давления в камере используется широкодиапазонный датчик WRG-S. Датчик WRG-S объединяет в себе два типа преобразователей: низкого вакуума типа Пирани и высокого вакуума инверсно-магнетронного типа. Благодаря этому WRG-S может измерять давление в диапазоне от атмосферного до  $10^{-7}$  Па. Датчик давления имеет линейную логарифмическую выходную характеристику давления в зависимости от напряжения питания.

Характеристики вакуумного датчика WRG-S:

Диапазон измеряемых давлений, Па .....	От $10^5$ до $10^{-7}$
Относительная погрешность .....	$\pm 15\%$
Максимальное избыточное давление, кПа .....	600 (абс)
Напряжение питания, В .....	От +14,5 до +36 (DC)
Потребляемая мощность, Вт .....	2
Выходной сигнал, В .....	От 1,8 до 10,2 (DC)
Рабочая температура, °C .....	От +5 до +60

Вакуумный датчик подключают к контроллеру ПИС. Контроллер обеспечивает питание и управление вакуумным датчиком, а также осуществляет индикацию измеренного давления.

### Контрольные вопросы и задания

**1. Как называется насос для предварительной откачки камеры?**

- а) форвакуумный;
- б) высоковакуумный;
- в) байпасный.

**2. На какой линии обычно устанавливается вакуумный затвор?**

- а) на высоковакуумной;
- б) на форвакуумной;
- в) на байпасной.

**3. Для чего служит байпасная линия откачки?**

- 1) для предварительной откачки камеры в обход высоковакуумного насоса;
- 2) для предварительной откачки камеры через высоковакуумный насос;
- 3) для дублирования форвакуумной линии.