

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

Основы вакуумных технологий

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ**

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направления  
«Электроника и наноэлектроника»

2018

**621.3**  
**О-662**

**УДК 621.385:620.165.29(076.5)**

**Орликов, Леонид Николаевич.**

Исследование вакуумной системы на герметичность = Основы вакуумных технологий: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и наноэлектроника» / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2018. - 10 с.

В данной работе на основании данных по расходу газа, давлениям, длине свободного пробега молекул проводится оптимизация одного параметра - герметичности. В общем случае задача сводится к генератору задачи, решаемой относительно требуемых параметров.

Целью работы является освоение методов течеискания.

В ходе выполнения работы у студентов формируются:

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и наноэлектроника» по курсу «Основы вакуумных технологий».

© Орликов Леонид Николаевич, 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_С.М. Шандаров  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Основы вакуумных технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ  
НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направления  
«Электроника и наноэлектроника»

Разработчик

д-р техн. наук, проф.каф.ЭП  
\_\_\_\_\_Л.Н.Орликов  
\_\_\_\_\_2018 г

2018

## Содержание

1 Введение .....	5
2 Теоретическая часть .....	5
3 Экспериментальная часть .....	7
3.1 Методические указания по выполнению работы .....	8
3.2 Вопросы для подготовки к работе .....	9
3.3 Содержание отчета .....	9
Рекомендуемая литература .....	10

## 1 Введение

Вакуумная система не будет работать, если в ней имеются места неконтролируемого натекания газа. Поток натекания газа должен быть уравновешен возможностями откачных средств. Если натекание газа превышает допустимое, то необходимо отыскивать течи и устранять их.

Целью работы является освоение методов течеискания.

В ходе выполнения работы у студентов формируются:

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

## 2 Теоретическая часть

На практике широкое распространение для поиска течей получили следующие методы:

- метод искрового разряда;
- метод накопления течи;
- метод пробной жидкости;
- масспектрометрический метод.

**Метод искрового разряда** применяется для анализа стеклянных вакуумных систем. Для анализа течи используется высоковольтный трансформатор на напряжение около 20000 В. Один конец трансформатора заземлен. Второй конец через высокоомное сопротивление в специальном держателе подносится к месту предполагаемой течи. Искра локализуется в место течи. Внутри вакуумной системы при этом загорается тлеющий разряд

**Метод накопления течи.** Этот метод основан на анализе изменения давления в отсеченном с помощью затворов элементе вакуумной системы. Обычно отсечку начинают с форвакуумного насоса. Далее строится распределение давления по элементам вакуумной схемы. Часто измерение давления в элементах вакуумной системы проводят через некоторое время, тем самым, давая течи «накопиться».

## **Манометрический метод**

### ***Метод анализа кривых откачки***

В числе наиболее часто встречающихся ситуаций следует отметить нарушение герметичности вакуумной системы, газоотделения деталей, помещенных в вакуумную камеру или неисправность откачного средства. Наиболее частыми местами течей являются места проведения профилактических или монтажных работ. Обычно поиск течей следует начинать со снятия распределения давления по последовательно подключаемым элементам вакуумной системы, начиная от откачного средства.

Анализ давления проводится как при откачке системы, так и после ее выключения. В случае течи зависимости давления повторяют друг друга. В случае обезгаживания системы, которое начинается обычно с давления 10 Па, кривые изменения давления при откачке и выключении не совпадают. Величины потоков натекания или десорбции из анализа кривых откачки рассчитываются по соотношению:

$$Q = V \Delta P / \Delta t,$$

где V- объем измеряемой коммуникации.

### ***Метод пробной жидкости***

Метод поиска сводится к следующему. После достижения в системе установившегося давления подозреваемые в натекании места обдувают пробным газом или парами веществ. Изменения показаний вакуумметра свидетельствуют о наличии течей. Наибольший эффект дает работа с жидкими пробными веществами (ацетон, спирт, бензин). Небольшое количество жидкости, проникая в вакуумную систему через течь, испаряясь в вакууме, резко увеличивают общее давление в системе. Метод имеет свои особенности. Если течь мала, то жидкость может удерживаться в канале течи, тем самым закрывая течь. В этом случае вакуумметр покажет улучшение вакуума. Не следует слишком быстро искать течь, т.к. вследствие малого количества, проникающего через течь вещества и инерции термодинамического вакуумметра (полторы минуты) течь может быть незамеченной.

## **Масспектрометрический метод течеискания**

Сущность метода заключается в регистрации пробного газа, проникающего в вакуумную систему через негерметичность. Чаще в промышленности качестве пробного вещества используется гелий. Основной частью течеискателя является масспектрометрическая камера с магнитным отклонением ионов, которая подключена к испытываемому объекту и имеет автономную вакуумную систему. Гелий, попадая через течь в вакуумную систему, одновременно попадает в масспектрометрическую камеру. В камере

атомы гелия ионизируются. Ионы попадают на коллектор. По току коллектора, или по звуковому индикатору можно судить о наличии течи. На рис. 2.1 представлена схема типовой вакуумной установки со схемой течеискателя.

Масспектрометрическая камера имеет внутри электроразрядный датчик давления, что позволяет фиксировать течь и по изменению давления. Время прохождения течи должно быть таким, чтобы весь гелий не откачался вакуумной группой объекта, и часть его попала в масспектрометрическую камеру течеискателя.

Система считается согласованной, если время прохождения течи удовлетворяет условию:

$$T=3V/S_0,$$

где  $V$  - объем вакуумной системы объекта;  
 $S_0$  - эффективная скорость откачки объекта.

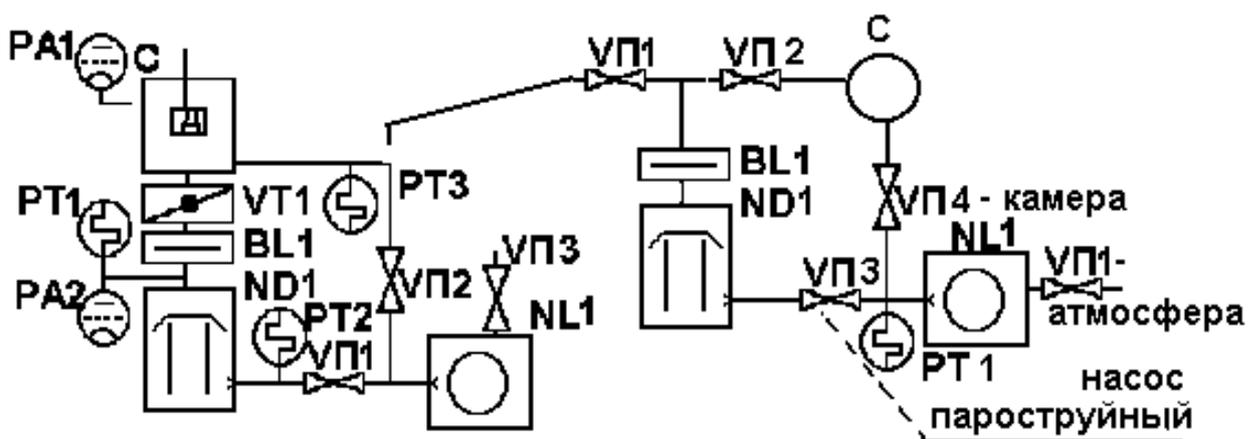


Рисунок 2.1 – Схема типовой вакуумной установки со схемой течеискателя и соответствующими надписями на панели управления

### 3 Экспериментальная часть

Экспериментальная часть состоит из реализации электроискрового, манометрического и масспектрометрического методов течеискания. Первоначально следует ознакомиться с назначением элементов вакуумной системы объекта и течеискателя ПТИ-6.

Методика запуска течеискателя аналогична методике запуска типовой вакуумной установки.

В ходе выполнения работы у студентов формируется:

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

Запуск системы состоит из нескольких этапов.

1. Первый этап – запуск вакуумной системы.

Необходимо закрыть все вентили (на течеискателе расположены слева). Все тумблеры перевести в положение «ВЛЕВО–ВНИЗ». Одеть электрическую плитку на диффузионный насос течеискателя. Включить тумблеры «СЕТЬ», «ФОРВАКУУМНЫЙ НАСОС». Открыть вентиль откачки пароструйного насоса «ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС». Включить нагрев плитки диффузионного насоса тумблером «ДИФФУЗИОННЫЙ НАСОС». Ждать 40 минут до выхода диффузионного насоса на высокий вакуум.

2. Второй этап. Состыковать вакуумные системы течеискателя и объекта открыванием вентиля VП1 на входе течеискателя. Величина потока должна соответствовать давлению 10 Па на входе течеискателя. Включить усилитель постоянного тока «УПТ» (с удержанием кнопки в течение 30 сек) и «СТАБИЛИЗАТОР ЭМИССИИ». Медленно открыть вентиль на входе масспектрометрической камеры. Включить «МАГНИТНЫЙ ВАКУУММЕТР».

3. Третий этап – поиск течи. Взять кислородную подушку с гелием и начать поиск течи со скоростью движения руки 1 см/с. Присутствие течи отмечается тональностью звучания сирены (типа сирены на автомобиле скорой помощи).

4. Четвертый этап – выключение. Особенность выключения состоит в том, что при отключении ряда систем индикации должен работать форвакуумный насос на выходе диффузионного насоса пока последний не остынет до комнатной температуры. Для этого выключаются все тумблеры кроме тумблеров «СЕТЬ, ФОРВАКУУМНЫЙ НАСОС» и закрываются все вентили кроме «ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС». После 40 минут откачки закрывается вентиль «ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС», выключается «ФОРВАКУУМНЫЙ НАСОС» и немедленно отрывается вентиль «АТМОСФЕРА»

### **3.1 Методические указания по выполнению работы**

В процессе работы следует учитывать, что течи находятся расчетным, а

не экспериментальным путем. Рекомендуется начинать поиск течей путем перекрытия элементов вакуумной системы. При поиске течей следует учитывать инерцию датчиков давления.

### 3.2 Вопросы для подготовки к работе

1. Перечислите несколько методов поиска негерметичности.
2. Объясните метод спектрометрии в течеискании.
1. Объясните метод накопления течи при поиске негерметичности.
2. Что такое мнимые и блуждающие течи
3. Как оценить поток натекания через течь
4. Как оценить параметры откачного средства, способного компенсировать поток натекания.
5. Оцените насколько изменятся показания, если увеличить ток накала термопарного датчика на 10%.
6. Какие датчики наиболее приемлемы для поиска течи в диапазоне 1 мм рт ст
7. Каково назначение регулятора напряжения в цепи нагревателя диффузионного насоса.
8. Почему в качестве пробного газа используется гелий, а не воздух?

### 3.3 Содержание отчета

1. Схема вакуумной системы установки с указанием эффективности возможных мест подключения течеискателя.
2. Указать стрелками возможные места негерметичности вакуумной системы.
3. Схема вакуумной системы течеискателя.
4. Алгоритм запуска типовой вакуумной установки при наличии течи.
5. Зависимости скорости откачки от давления для форвакуумного (2НВР-5ДМ, ВН-2) и высоковакуумных (НВО-40, Н5С) насосов от давления
6. При давлении в вакуумной системе 10 Па рассчитать эквивалентный диаметр отверстия, через которую возможна течь.
7. При давлении 10 Па для насоса 2НВР5ДМ рассчитать поток газа в насос
8. Принимая скорость откачки объекта равной скорости откачки насоса, рассчитать время, необходимое для фиксации течи
9. При потоке течи  $10^{-4}$  тор·л/с сравнить какую производительность должен иметь высоковакуумный или форвакуумный насос для подавления течи.
10. Привести эскиз внутреннего устройства масспектрометрической

камеры и назначение ее элементов.

11. Привести эскиз отдельного вакуумного соединения или токоввода с возможным указанием места течи.

### **Рекомендуемая литература**

1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. – М.: Высшая школа, 1990. – 250 с.

2. Барыбин В.Г. Физико-технологические основы электроники. – СПб.: Лань, 2001. – 270 с.

3. Данилина Т.И., Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро- и нанотехнологий / учеб. пособие. – Томск.: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники., 2005. – 316 с.

4. Орликов Л.Н. Вакуумные и специальные вопросы технологии приборов квантовой и оптической электроники: учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 102 с.

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование вакуумных систем на герметичность

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Основы вакуумных технологий»

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40