



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

## **ПРАКТИКУМ**

# **«Исследование материалов на установке для высокотемпературных испытаний ИМАШ-20-75»**

по дисциплинам

«Физико-химия наноматериалов»,

«Неразрушающие методы контроля материалов»

Авторы

Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В.

Ростов-на-Дону, 2015

## Аннотация

Методические указания разработаны для использования студентами при выполнении лабораторного практикума по направлению 22.04.01 и по дисциплинам "Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей", "Физико-химия наноматериалов", а также для студентов, изучающих курсы «Материаловедение», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и др., и предназначены для практического освоения приемов изучения строения и свойств материалов.

## Авторы



д.т.н., профессор  
Пустовойт В.Н.



к.т.н., доцент  
Долгачев Ю.В.





## Оглавление

<b>1. Общие сведения об установке ИМАШ-20-75.....</b>	<b>4</b>
1.1. Назначение установки .....	4
1.2. Технические данные .....	4
1.3. Конструкция установки .....	7
<b>2. Последовательность операций при проведении экспериментов на установке ИМАШ-20-75 .....</b>	<b>5</b>
2.1. Подготовка образца для испытаний .....	5
2.2. Проведение откачки .....	6
2.3. Нагрев образца .....	8
2.4. Определение степени разряджения .....	8
2.5. Выключение установки .....	8
2.6. Проверка работы системы откачки .....	9
<b>3. Методика выполнения работы .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Содержание отчета .....</b>	<b>12</b>
<b>5. Контрольные вопросы .....</b>	<b>13</b>

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и получить навыки исследования материалов на установке для высокотемпературных испытаний ИМАШ-20-75.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТАНОВКЕ ИМАШ-20-75

### 1.1. Назначение установки

Установка ИМАШ-20-75 предназначена для исследования микроструктуры с одновременным измерением электрического сопротивления в процессе испытания на усталость металлов и сплавов при знакопеременном изгибе с частотами нагружения 3 и 3000 циклов в минуту и нагреве до 1200°C в вакууме от  $1 \cdot 10^{-5}$  ÷  $5 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст и в защитных газовых средах.

### 1.2. Технические данные

1. Нагрев исследуемого образца производится радиационным способом при излучении от молибденового нагревателя, а также, с помощью непосредственного пропускания тока через образец.

2. Установка обеспечивает возможность проведения прямого наблюдения микроструктуры поверхности и измерения электрического сопротивления образцов, нагретых до 1200 °С (но не выше 0,8 температуры плавления изучаемого материала) при увеличении до 200 крат (можно и более опционально).

3. Измерение температуры образцов осуществляется с помощью платиnorodиевых термопар диаметром 0,3 мм, спаи которых прикрепляют точечной электросваркой к поверхности образца в "горячей" зоне. Точность поддержания температуры нагрева образца при проведении испытаний составляет 0,5% (при грубой регулировке) и порядка  $\pm 1^\circ\text{C}$  (при точном автоматическом регулировании).

4. Деформирование образцов осуществляется по схеме, приближенной к чистому изгибу, с частотами нагружения 1 или 3000 циклов/мин при максимальной амплитуде деформации, обеспечиваемой перемещением подвижного захвата на 15 мм от

его нейтрального положения при малоцикловом нагружении 6 мм при многоцикловом.

5. Предусмотрена возможность автоматической записи изменения электрического сопротивления образцов в процессе опыта с точностью до 0,02% при комнатной температуре; при повышенных температурах точность измерения понижается.

6. Степень разрежения в рабочей камере должна быть в пределах  $1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст. при холодном образце. Допускаемое натекание в рабочую камеру не более  $5 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст. л/сек.

7. Предусмотрена возможность проведения испытаний в защитных газовых средах при избыточном давлении до 0,2 атм.

8. Для проведения испытаний применяются плоские образцы прямоугольного сечения; одна из поверхностей образца подготавливается для металлографического исследования (см. рис. 1).

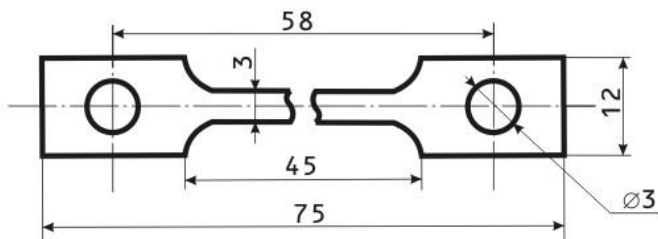


Рис.1. Форма и размеры образца для проведения испытаний на установке ИМАШ-20-75

9. Для наблюдения и фотографирования микроструктуры образцов используется вертикальный металлографический микроскоп типа МВТ (рис. 2) снабженный объективом МИМ-13-С0, фотоокулярами 7 $\times$ , 10 $\times$ , 17 $\times$ , а также микрофотонасадками МФН-8 и МФН-12 для съемки на пластинки 9x12 см и киноплёнку шириной 35 мм соответственно.



Рис.2. Металлографический микроскоп типа МВТ

10. Система водяного охлаждения установки состоит из двух цепей: 1-я цепь - пароструйный насос и термоэлектрическая ловушка; 2-я цепь - крышка, корпус и другие водоохлаждаемые элементы рабочей камеры. Установка укомплектована пультом водяного охлаждения, монтируемым на стене и соединенным резиновыми шлангами с системами подачи и отвода воды. Давление подводимой воды должно быть в пределах 1-2 атм. Общий расход воды составляет до 5 л/мин.

11. Питание установки осуществляется от трехфазной сети напряжением 220 или 380 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощность при максимальной нагрузке составляет около 5 кВт, а при холостом ходе - (при работающей системе откачки) – около 2 кВт.

12. Габаритные размеры установки: 1140 x 790 мм, высота 1220 мм; габаритные размеры приборного блока 1250 x 445 мм, высота 1935 мм; форвакуумный ротационный насос РВН-20 с глушителем имеет габаритные размеры 700 x 430 мм, высота 630 мм.

13. Вес установки составляет около 600 кг, приборного блока ~ 150 кг и форвакуумного насоса 30 кг.

### 1.3. Конструкция установки

#### 1.3.1. Общая компоновка установки

Внешний вид установки ИМАШ-20-75 представлен на рис. 3. На панели пульта управления находятся рукоятки управления вакуумметром типа ВИТ-2П, блока стробоскопического освещения, счетчик числа смен пластин и следующие кнопки:

- Сеть
- Нагрев образца
- Ротационный насос
- Стоп крышки камеры
- Вверх крышки камеры
- Вниз крышки камеры
- Открыть затвор
- Закрыть затвор
- Откачка камеры
- Откачка системы
- Нагружение вверх левый
- Нагружение вверх правый
- Нагружение вниз левый
- Нагружение вниз правый

#### 1.3.2. Вакуумно-компрессионная система установки

Откачка воздуха и газов из камеры осуществляется пароструйным масляным насосом типа ЦВЛ – 100, снабженным радиационным нагревателем (электроплиткой). Насос соединен через электромагнитный вакуумный клапан типа ЭКМУ с масляным ротационным насосом типа РВН-20. Для предотвращения попадания паров масла из насоса в рабочую камеру предусмотрена термоэлектрическая вакуумная ловушка типа ТВЛ-100.



(1)



(2)

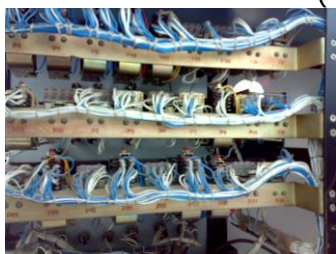
## Лидерство



(3)



(4)



(5)



(6)

Рис. 3. Внешний вид пульта управления установки ИМАШ-20-75 :

1 – вакуумметр ВИТ-2-П; 2 – микроскоп МВТ; 3 – система управления стробоскопическим освещением образца; 4 – пульт управления нагружением, нагревом, заслонками и насосами; 5 – реле пульта управления;

6 – преобразователь манометрический терпарный и ионизационный

Впуск воздуха в камеру (при загрузке и извлечении образца) и в насос (после его остановки) производится с помощью электромагнитного клапана плунжерного насоса.

Для предотвращения натекания воздуха в пароструйный насос, он снабжён вакуумным вентилем с одной стороны и вакуумным клапаном с другой стороны.

Остаточное давление в рабочей камере измеряется манометрическими лампами: терпарной лампой типа ЛТ-2 (для определения остаточного давления до  $10^{-3}$  мм рт. ст.) и ионизационной лампой типа ЛМ-2 (при разрежении в пределах  $10^{-3}$ -  $10^{-6}$  мм рт. ст.). Обе лампы соединены с вакуумметром типа ВИТ-1А-11. Вакуумная система установки обеспечивает разрежение в рабочей камере  $1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст.



### 1.3.3. Система нагрева исследуемого образца

В установке ИМАШ-20-75 нагрев образца осуществляется за счет тепла излучаемого нагревателем. Нагреватель выполнен из листового молибдена или тантала толщиной 0,3 мм и с помощью контактных колодок соединен с водоохлаждаемыми электродами, проходящими через уплотнения в дне вакуумной камеры. При пропускании через нагреватель электрического тока промышленной частоты низкого напряжения, обеспечивается возможность нагрева до 1200 °С образца, помещаемого внутри нагревателя.

Для измерения температуры образца используются три проволочные платинородий - платиновые термопары диаметром 0,3 мм. Спаи термопар с помощью точечной электросварки присоединены к верхней грани образца в средней его части.

Выводы термопар через 6-позиционный переключатель поочередно подключаются к электронному автоматическому потенциометру типа ПСР1-03, с помощью которого производится включение и выключение напряжения, подводимого к первичной обмотке, установленного в цепи нагрева образца силового трансформатора.

### 1.3.4. Устройство для изучения исследуемого образца

Для наблюдения и фотографирования микроструктуры образцов непосредственно в процессе испытания на усталость применен металлографический микроскоп типа МВТ с объективом МИМ-13-СО, имеющим рабочее расстояние 59,22 мм и апертуру 0,27.

В крышке камеры находится смотровое плоскопараллельное стекло диаметром 50 мм и толщиной 2 мм.

Для защиты смотрового стекла от перегрева в моменты, когда не производятся наблюдения за микроструктурой образца, предусмотрена подвижная шторка, управление которой осуществляется через рычажное устройство электромагнитным толкателем.

Защита смотрового стекла от осаждения на нем конденсата испаряющихся с поверхности образца частиц в процессе микроструктурных исследований производится плоскопараллельными кварцевыми стеклами, перемещаемыми по лотку, в котором имеется смотровое отверстие. Стекла поступают на лоток и перемещаются по нему (по мере запыления) с помощью устройства, приводимого в действие вращением вала с помощью маховичка,

находящегося вне вакуумной камеры. Вал проходит через вакуумные уплотнения в стенке рабочей камеры и имеет червячную резьбу, по которой перемещается гайка имеющая поводок. Последний кинематически связан с рамкой, служащей для захвата стекол, подаваемых пружиной из магазинного устройства. Бункер служит для сбора отработанных стекол. В магазинном устройстве размещены 40 плоскопараллельных стекол размером 40 x 20 мм и толщиной 0,8 мм.

В установке ИМАШ-20-75 предусмотрена возможность измерения электрического сопротивления образца в процессе испытания на усталость. С этой целью к концам образца с помощью контактной электросварки присоединены два токопровода; измерение электрического сопротивления производится в рабочей части образца между двумя потенциальными выводами.

#### 1.3.5. Электрическая схема установки

Основными элементами электрической схемы установки ИМАШ-20-75 является цепи нагрева образца, стабилизации температуры, стробоскопического освещения образца, измерения и записи электрического сопротивления образца, питания ротационного и паромасляного насосов.

Потребляемая установкой мощность от трехфазовой сети напряжением 220/380В и частотой 50 Гц не превышает 5 кВА.

## 2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УСТАНОВКЕ ИМАШ-20-75

### 2.1. Подготовка образца для испытаний

Подготовка рабочей поверхности исследуемых образцов (см. рис. 1) производится путем шлифования и последующего механического и электролитического полирования. Последнее является наиболее рациональным для целей высокотемпературной металлографии, так как обеспечивает удаление поверхностного слоя, искаженного в результате предварительной механической обработки образца. Глубина удаляемого электрополировкой слоя обычно составляет 0,10-0,15 мм.

В ряде случаев полированные образцы подвергают химическому или электролитическому травлению для выявления микроструктуры; кроме того, предварительное травление облегчает выбор на поверхности образца зоны наблюдения за микрострое-нием при пониженных температурах испытания.

На "сварочном электроде", размещенном в рабочей камере установки, к образцу прикрепляются с помощью точечной электросварки токовые и потенциальные электропроводы и, в зависимости от условий опыта, спай одной или двух термопар.

После проверки механической прочности изготовленных спаев образец укрепляется в зажимах нагружающего устройства. При этом подвижный захват системы нагружения устанавливают в нейтральное положение и, после проверки механической прочности изготовленных спаев, образец укрепляют в зажимах нагружающего устройства.

Перед началом откачки рабочей камеры необходимо убедиться в целостности каждого электропровода, для чего включают систему измерения электрического сопротивления; после этого производят вакуумирование рабочей камеры и нагрев образца.

Для предотвращения напыления на смотровое стекло испаряющихся при высоких температурах с поверхности образца частиц служат защитные стекла, перемещаемые по лотку из жаропрочного сплава; в лотке предусмотрено смотровое отверстие диаметром 7 мм. Стекла поступают на лоток из магазинного устройства и перемещаются по нему (по мере их запыления) с помощью штока, выведенного из рабочей камеры через подвиж-

ное вакуумное уплотнение и совершающего возвратно-поступательное движение с рабочим ходом 40 мм.

В магазинном устройстве могут быть размещены 40 плоско-параллельных стекол размером 40 x 20 мм и толщиной 0,8 мм. Количество остающихся в магазине стекол (по мере их использования) определяется по показаниям механического счетчика типа СЕ-65. И использованные стекла помещаются в специальный сборник, находящийся в рабочей камере.

Для закрывания смотрового отверстия в лотке (в те моменты, когда не производится фотографирование микроструктуры или измерение деформации образца) служит молибденовая шторка. Перемещение шторки осуществляется при помощи электромагнита, обмотка которого расположена снаружи вакуумной камеры. Рабочий ход электромагнита составляет 10-12 мм.

## 2.2. Проведение откачки

После установки образца в зажимах нагружающего устройства закрывают крышку рабочей камеры, затягивают крепёжные болты и приступают к откачке.

Откачка воздуха и газов из рабочей камеры производится в следующем порядке:

1. Перекрывают вакуумные краны установки, после чего включают ротационный насос, при этом на индикаторной панели (рис. 4) должны гореть сигнальные лампы: Сеть, красные лампы №1, 2, 3, 4;

2. После 1-2 мин работы ротационного насоса "на себя" открывают вакуумный клапан "откачка системы", после чего должен загореться зелёный цвет на индикаторной панели №4 через 5-10 мин открывают вакуумный вентиль (затвор), после чего должна загореться зелёная лампа №3, через 20-30 мин работы насоса в рабочей камере должно быть остаточное давление не выше  $5 \times 10^{-2}$  мм рт. ст.;

## Лидерство

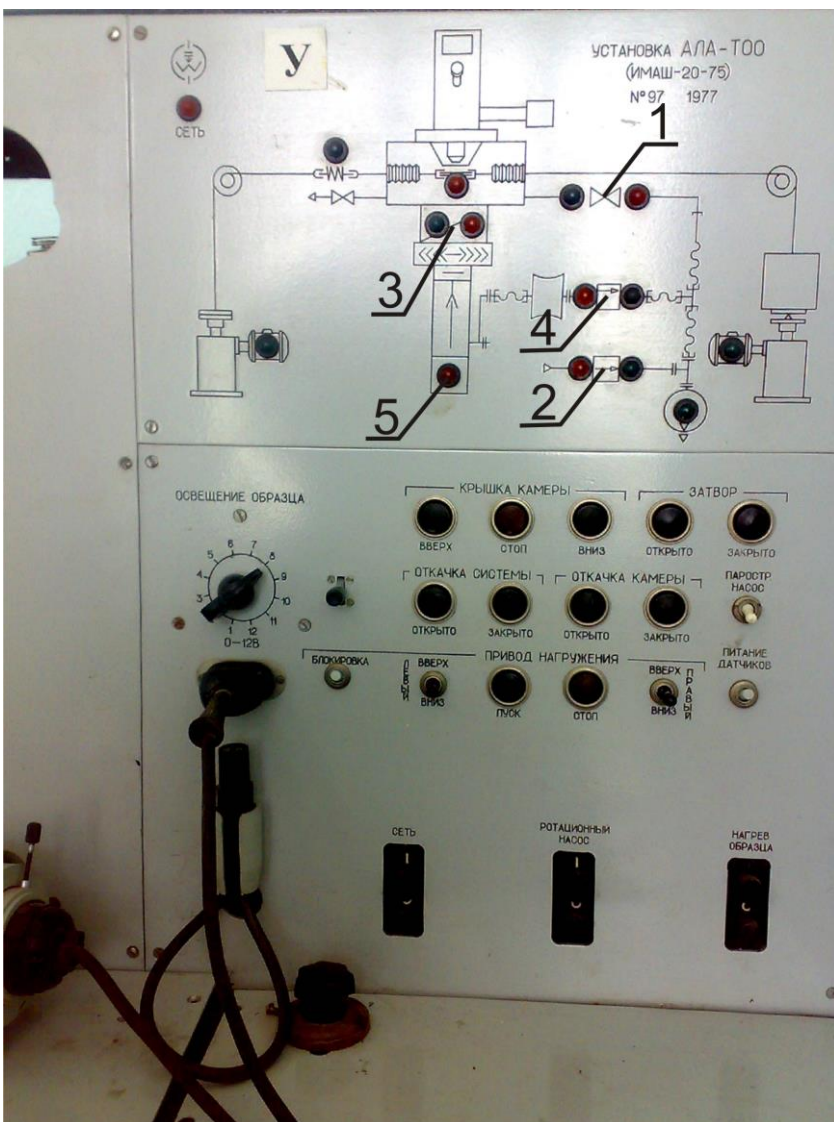


Рис. 4. Индикаторная панель пульта управления

3. Открывают водяной вентиль в цепи диффузионного насоса "охлаждение насоса" (давление воды должно быть в пределах 1-2 атм) (кран установлен на стене);

4. После 5 мин. включают насос УВЛ -100 (переключатель

"пароструйный насос), загореться красная лампа №5; примерно через 1 час работы насоса должен быть достигнут вакуум  $5 \times 10^{-5}$  мм рт. ст., а через 1,5-2 часа разрежение в рабочей камере должно составлять  $1 \times 10^{-5}$  -  $5 \times 10^{-6}$  мм рт. ст.

### 2.3. Нагрев образца

После создания необходимого разрежения в вакуумной камере открывают водяной вентиль "Охлаждение камеры", устанавливают давление воды в пределах 1-2 атм. и, используя рукоятку трансформатора осуществляют нагрев образца до заданной температуры. Необходимо убедиться в правильном охлаждении камеры и отсутствии потёков воды.

### 2.4. Определение степени разряджения

Для правильной работы вакуумметра ВИТ необходимо включить его до начала работы и дать ему прогреться. Справа находится пульт ионизационного преобразователя, его нельзя включать пока степень разряджения не будет в пределах 5-0,1 Па. Слева пульт управления термодарным преобразователем. После включения левого преобразователя ему необходимо прогреться в течении 1 часа, при этом рукоятка «тока нагревателя» должна быть в крайнем левом положении (на минимум). Для измерения давления необходимо установить рычаг в положение «ток нагревателя» на паспортное значение (112), после переключить на измерение. Когда стрелка зашкалит или будет на отметке 8-9 можно включать ионизационный преобразователь. Перед использованием необходимо ознакомиться с инструкцией к ВИТ.

### 2.5. Выключение установки

После окончания опыта выключают систему измерения электрического сопротивления, затем систему регулирования температуры и, наконец, нагрев образца.

Выключение системы откачки производится в следующем порядке:

1. После охлаждения образца до достаточно низкой температуры, обеспечивающей отсутствие наблюдаемого в микроскоп окисления его поверхности (100-200°C в сплавах на основе железа и никеля) выключают пароструйный насос и закрывают водяной вентиль "Охлаждение камеры";

2. Примерно через 1 час после отключения пароструйного

насоса (т.е. после остывания его нагревателя) выключают термоэлектрическую ловушку, перекрывают водяной вентиль "Охлаждение насоса" и вакуумный вентиль "Откачка системы" и закрывают вакуумный затвор;

3. Выключают ротационный насос и открывают вакуумный вентиль "откачка камеры".

Ни в коем случае не следует открывать вентиль "Откачка" до разгрузки рабочей камеры.

Перед разгрузкой рабочей камеры для сообщения вакуумной системы с атмосферой открывают вакуумный вентиль "Откачка", освобождают прижимной винт и с помощью домкрата поднимают и отводят в сторону крышку камеры с микроскопом.

С целью уменьшения адсорбции водяных паров из атмосферного воздуха стенками камеры (что значительно замедляет скорость последующей откачки) не следует оставлять рабочую камеру открытой в течение длительного времени. В этой связи необходимо обратить особое внимание на своевременное отключение водяного охлаждения камеры (до ее разгрузки).

Необходимо периодически производить откачку воздуха и газов из рабочей камеры с помощью ротационного насоса (а иногда также и пароструйного насоса и термоэлектрической ловушки) даже во время перерывов в работе установки. В этих случаях после прекращения работы насосов вакуумный вентиль "Откачка" должен быть перекрыт.

## 2.6. Проверка работы системы откачки

Безотказная работа системы откачки является одним из основных условий успешного проведения экспериментов на установке ИМАШ-20-75. С этой целью периодически проверяют работу вакуумных насосов термоэлектрической ловушки и вентиляей, а также герметичность вакуумных соединений рабочей камеры.

При нормальной работе системы откачки остаточное давление при холодном образце, достигаемое с помощью ротационного насоса РВН-20, должно быть не выше  $5 \times 10^{-2}$  мм рт. ст. через 20-30 мин., а при работе пароструйного насоса ЦВЛ-100 и термоэлектрической ловушки ТВЛ-100 - в пределах  $5 \times 10^{-6}$  мм рт. ст. примерно через 3 часа после начала откачки. Однако низкое остаточное давление в рабочей камере, получаемое вследствие применения сравнительно мощной системы откачки, не свидетельствует об отсутствии натекания воздуха в вакуумную систему.

## Лидерство

Допускаемая величина натекания, обеспечивающая в большинстве случаев предотвращение окисления поверхностных металлических образцов при нагреве, составляет  $5 \times 10^{-5}$  мм рт. ст. л/сек.

Проверку натекания осуществляют после пробного нагрева образца, охлаждения пароструйного насоса и выключения термоэлектрической ловушки, т.е. при разрежении  $(1 \div 2) \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст.

Натекание воздуха в рабочую камеру установки ИМАШ-20-75 (с объемом вакуумной системы 10 л) определяют по формуле:

$$\Delta Q = \frac{10 \Delta P}{\Delta t} \text{ мм рт. ст. л/сек}$$

где  $\Delta P = P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}}$  - изменение остаточного давления в вакуумной камере, мм рт. ст.;  $\Delta t$  - интервал времени между отсчетами  $P_{\text{нач}}$  и  $P_{\text{кон}}$ , сек. Отсчеты  $P_{\text{нач}}$  и  $P_{\text{кон}}$  производят по показаниям вакуумметра ВИТ-1А с применением термпарной лампы ЛТ-2.

Если величина натекания превышает допустимое значение, приступают к определению зон натекания. В качестве наиболее простого и надежного метода выявления участков натекания воздуха в рабочую камеру установки ИМАШ-20-75 может быть рекомендовано нанесение с помощью марлевого тампона или пульверизатора на исследуемые участки вакуумной системы легко испаряющихся жидкостей (например, ацетона). О проникновении через негерметичную зону паров этих жидкостей судят по показаниям вакуумметра ВИТ-1А с применением лампы ЛМ-2 (предварительно производится откачка воздуха и газов из рабочей камеры с помощью пароструйного насоса).

Значительно более совершенным является обнаружение натекания в вакуумные системы с помощью гелиевых течеискателей (ЛТК-4А, ПТИ-6 и др.).

Весьма эффективным способом обнаружения зон натекания воздуха в рабочую камеру установки является применение вакуумных заглушек, последовательная установка которых позволяет надежно локализовать источник течи.

Различные способы определения зон натекания воздуха в вакуумные системы достаточно подробно описаны в технической литературе.



### 3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Ознакомьтесь с назначением установки ИМАШ-20-75, её техническими характеристиками и конструкционными особенностями.
- 3.3. Изучите последовательность и процедуру проведения операций при работе с установкой: установка образца, откачка воздуха, нагрев, контроль вакуума, выключение.
- 3.4. Проведите внешний осмотр установки. Найдите кнопки и узлы описанные в методическом пособии.
- 3.5. Под руководством преподавателя (лаборанта) приступайте к практическим занятиям с установкой. Строго следуйте изложенным ранее инструкциям.
- 3.7. Составьте отчет о работе.

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Назначение установки ИМАШ-20-75, её основные технические характеристики. Основные системы и устройства составляющие конструкцию установки.
- 4.3. Последовательность и процедура проведения основных операций при работе с установкой.
- 4.4. Результаты практических занятий с установкой ИМАШ-20-75.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Каково назначение установки ИМАШ-20-75?
- 5.2. Какие основные характеристики установки вы знаете?
- 5.3. Назовите основные системы и устройства составляющие ИМАШ-20-75?
- 5.4. Перечислите последовательность основных операций при работе с установкой?
- 5.5. Как производится подготовка образца для установки?
- 5.6. Назовите операции для откачки воздуха?
- 5.7. Как осуществляется нагрев образца?
- 5.8. Как определяют степень разрежения вакуума?
- 5.9. Перечислите операции при выключении установки?
- 5.10. Как провести проверку работы системы откачки?