

УДК 533.599

## УСТАНОВКА «КОЛИЗЕЙ» ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК МЕТОДОМ ПАРОСТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Сергей Дмитриевич Бочков, Роман Харисович Шамшединов,

*Магистры 1 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Л.Л. Колесник*

*Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Ключевые слова: Пароструйное осаждение (Jet Vapor Deposition), вакуум (vacuum), тонкие пленки (thin films).

Промышленная установка «Колизей» представляет собой вакуумную установку для реализации метода пароструйного осаждения покрытий, которая представлена на рис. 1.



Рис. 1 – Промышленная установка «Колизей»

Заготовка, обрабатываемая на установке, – керамическая теплопроводящая пластина (подложка). Материал пластины: оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ), нитрид алюминия (AlN).

Основная технологическая операция – нанесение металлического покрытия (металлизация) на поверхность подложки. При нанесении покрытия на подложку должно обеспечиваться запыление стенок отверстий, выполненных в подложке. Подложка с нанесенным слоем металлизации в дальнейшем используется для изготовления устройств силовых электронных модулей.

Основными узлами установки являются:

- вакуумная камера;
- устройство для закрепления пластин и подачи их в зону нанесения покрытия;
- вакуумная система;
- система подачи активного и инертного газов;

- унифицированные источники для нанесения покрытий;
- система автоматического управления.

Вакуумная система оснащена безмасляными средствами откачки и обеспечивает предельный вакуум в камере не хуже 10 Па.

Питание установки от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В. Ожидаемый уровень энергопотребления не более 10 кВт.

Система автоматического управления: на основе промышленного контроллера. Управление установкой оператором – компьютерное, с возможностью перехода на ручной режим управления. Управление исполнительными механизмами: электромеханическое или пневматическое.

Система управления установкой обеспечивает постоянное отображение на экране дисплея следующих параметров:

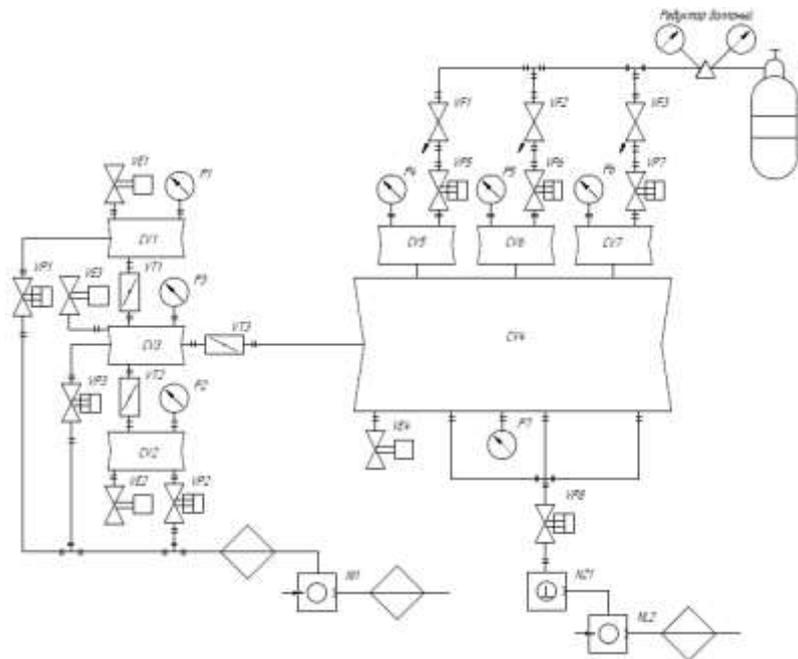
- Давления в вакуумной камере.
- Режима работы ионного источника (при его наличии).
- Режима работы источников нанесения покрытий.
- Мощности нагревателей в вакуумной камере.

Система управления установкой обеспечивает отображение информации на дисплее в случае сбоев о месте возникновения сбоя и рекомендации по преодолению аварийной ситуации.

На случай сбоев система управления имеет режим аварийного останова, позволяющий выключить установку в безопасном для ее узлов и оператора режиме.

В процессе работы установки происходит накопление информации о режимах выполняемых технологических операций с возможностью просмотра накопленной информации. Минимальный срок хранения накопленной информации – 1 сутки.

Вакуумная схема промышленной установки «Колизей» для металлизации керамических подложек пароструйным осаждением представлена на рис. 2.



CV1,2 - Камера загрузки/выгрузки кассет с подложками, CV3 - Камера перегрузки подложек, CV4 – Рабочая камера, CV5, CV6, CV7 – Камера источник, NL1,2 – Насос пластинчато-роторный, NZ1 - Насос Рутса, P – Вакууметр, V1 - Баллон с газом, VE1,2,3 - Клапан с электромагнитным приводом, VP1-8 - Клапан с пневмоприводом, VT1,2,3 - Клапан тарельчатый, VF1,2,3 - Клапан регулировочный.

Рис. 2 – Вакуумная схема

Установка состоит из следующих основных узлов: камеры загрузки/выгрузки, камеры перегрузки подложек, рабочей камеры, камер источников, систем откачки, напуска газа, технологического источника, систем питания и управления.

Объемы камер CV4 и CV5, CV6, CV7 образуют единую рабочую камеру, разделяющихся между собой соплами.

Элементы вакуумной системы управляются с помощью сжатого воздуха, который готовится при помощи компрессора.

Система откачки укомплектована насосами пластинчато-роторными NL и насосом Рутса NZ.

Откачка шлюзов загрузки и выгрузки ведется через вакуумные линии, отсекаемые от системы откачки клапанами VP1 и VP2. Для напуска атмосферы в шлюзы предназначены натекатели VE1 и VE2. Давление в шлюзах контролируется с помощью датчиков измерения вакуума P1 и P2.

Шлюзы отсекаются от камеры перегрузки с помощью затворов VT1 и VT2.

Откачка камеры перегрузки ведется через вакуумную линию, отсекаемую от системы откачки клапаном VP3. Для напуска атмосферы в камеру перегрузки предназначен натекатель VE3. Давление контролируется с помощью датчика измерения P3. Отсекается от рабочей камеры затвором VT3.

Откачка рабочей вакуумной камеры ведется через вакуумную линию, отсекаемую от системы откачки NZ1 и NL2 клапаном с пневмоприводом VP8. Давление в рабочей камере контролируется с помощью датчика P7, а камер источников с помощью P4, P5, P6. Для напуска атмосферы в вакуумную камеру предназначены натекатель VE4.

Рабочий газ содержится в баллоне V1. Редуктор баллонный понижает давление близкое к атмосферному. В технологические источники подается через клапаны VP5, VP6, VP7 с помощью клапанов регуляторов газа VF1, VF2, VF3 автоматически поддерживающих требуемую величину расхода.

Кинематическая схема установки «Колизей» представлена на рис. 3.

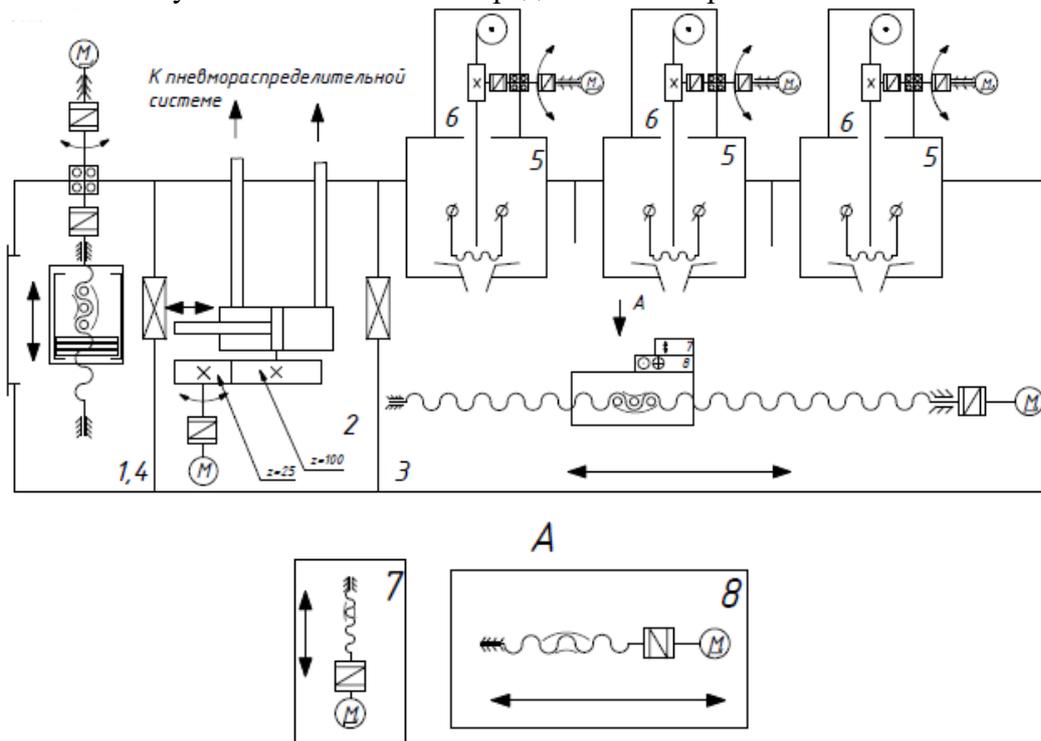


Рис. 3 - Кинематическая схема установки «Колизей»

Керамические подложки, устанавливаются в специальный спутник. Подложки со спутниками устанавливаются в кассету, которая закрепляется в камере загрузки (1). Далее, с помощью механизма перегрузки, расположенного в камере перегрузки (2), подложка попадает в камеры с рабочими зонами (3) и после прохождения всех требуемых этапов металлизации возвращается к камере перегрузки, а из неё в камеру выгрузки (4), идентичную камере загрузки. Материал в камеру испарителя (5) подается в виде проволоки из камеры подачи проволоки (6)

Кинематическую подсистему установки можно разделить на четыре подсистемы:

- Подсистему подвода подложек к механизму перегрузки;
- Подсистему перегрузки подложек на конвейер и обратно;
- Подсистему перемещения подложек между рабочими зонами, и подсистема, обеспечивающая полное запыление подложки;
- Подсистема подачи проволоки в камеру испарителя.

#### **Подсистема подвода подложек к механизму перегрузки**

Керамические подложки, на которые требуется наносить покрытия, загружаются в кассеты по 20 штук в специальных спутниках. Из этой камеры они захватываются механизмом перемещения.

Механизм захвата заходит в полость, под пластиной, которую нужно захватить. С помощью механизма подъема-опускания, пластина опускается на механизм захвата. Механизм подъема-опускания реализован с помощью шарико-винтовой пары. Движение вала осуществляется через специальный механизм ввода вращения в вакуум, а сам шаговый двигатель расположен за пределами камеры. Вал ввода вращения соединен одним концом с шаговым двигателем, другим с валом шарико-винтовой пары через разрезные муфты, для компенсации несоосности. Кинематическая схема механизма подвода пластин представлена на рис. 4.

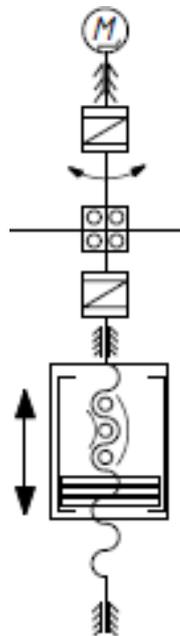


Рис. 4 – Кинематическая схема подвода подложек к механизму перегрузки

Аналогичный процесс происходит с готовыми подложками в камере выгрузки. На рис. 5 представлена фотография механизма подвода в камере загрузки.

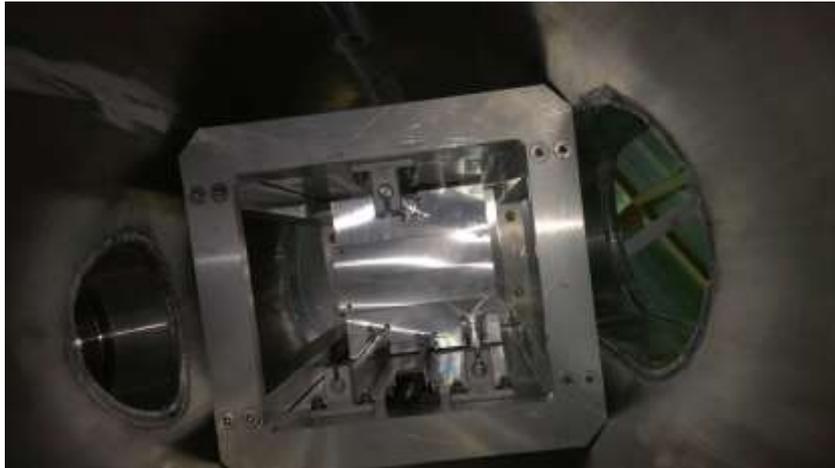


Рис. 5 – Фотография механизма подвода

### Подсистема перегрузки подложек на конвейер и обратно

Для перегрузки подложек из камеры загрузки было принято решение использовать пневматическую руку-манипулятор. При подаче воздуха в одном направлении рука выдвигается, в другом – приходит в начальное положение.

Далее нужно обеспечить поворот руки манипулятора вокруг своей оси для подвода подложки к камерам с рабочей зоной и далее к камере выгрузки. Так как рука манипулятора имеет большую массу, при повороте она создает большой момент инерции. Было принято решение передавать вращение с помощью зубчатого зацепления. Это снизит нагрузку на двигатель, а так же даст более точное позиционирование за счет коэффициента передачи равного четырем. Рука-манипулятор должна быть расположена в центре камеры, а ведомое колесо крепиться к ней, и для регулирования зазора зубчатого зацепления можно использовать только ведомое колесо. Для вращательного движения используется специальный бесколлекторный двигатель вакуумного исполнения, установленный на кронштейне. Зазор регулируется с помощью этого. На рис. 6 представлена кинематическая схема механизма перегрузки пластин.

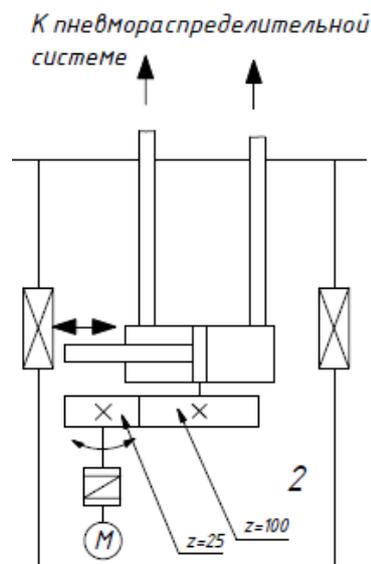


Рис. 6 – Кинематическая схема механизма перегрузки

Зубчатые колеса сделаны из фторопласта, этот материал не оказывает пагубных влияний на поддержание вакуумной среды. На рис. 7 и 8 представлены ведущее зубчатое колесо из фторопласта и камера перегрузки соответственно.



Рис.7 – Фотография ведущего колеса



Рис. 8 – Фотография камеры перегрузки

**Подсистема перемещения подложек между рабочими зонами, и подсистема обеспечивающая полное запыление подложки**

Для перемещения подложек между рабочими зонами используется шарико винтовая пара, длиной 1600мм. Вал приводится в движение с помощью шагового двигателя установленного в вакууме, валы соединены разрезной муфтой. На гайке шарико винтовой пары установлен стол с двумя последовательно установленными трансляторами, которые обеспечивают движение перпендикулярно оси вала – 50мм и по вертикали – 16мм. Движение по вертикали предусмотрено для принятия подложки с руки манипулятора и её последующего возвращения. Так же, с помощью такого транслятора можно менять расстояние до сопла, из которого выходит струя с испаряемым материалом, для нахождения оптимальных режимов напыления на установке. С помощью второго транслятора осуществляется сканирование подложки, для её полного запыления материалом. На рис. 9 представлена кинематическая схема системы перемещения подложек между рабочими зонами, и подсистема обеспечивающая полное запыление подложки. Так же, на рис. 10 представлена фотография всех механизмов в этой кинематической цепи.

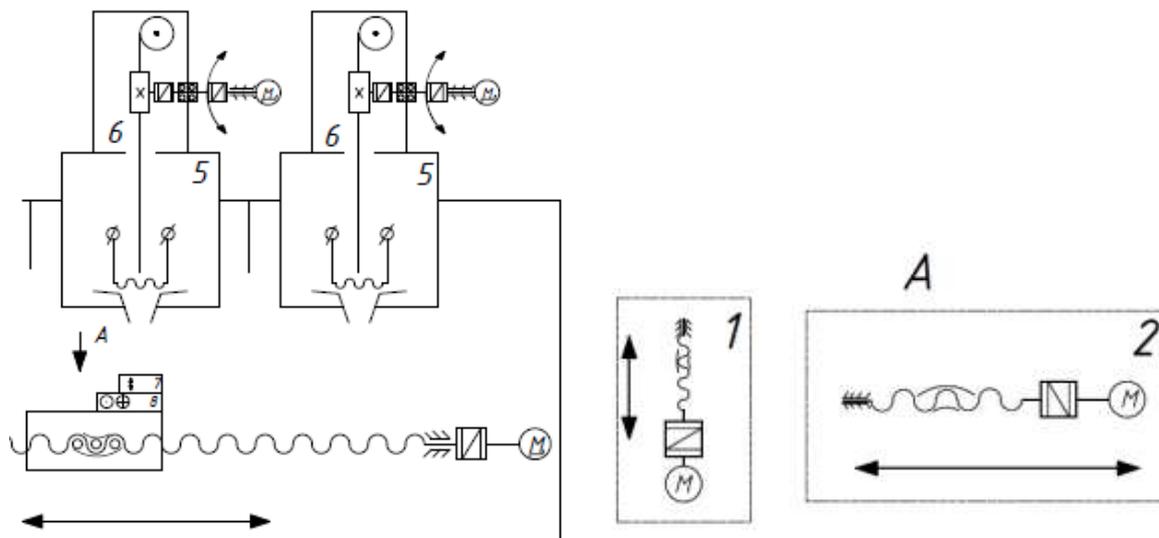


Рис.9 – Кинематическая схема системы перемещения подложек между рабочими зонами, и подсистема обеспечивающая полное запыление подложки

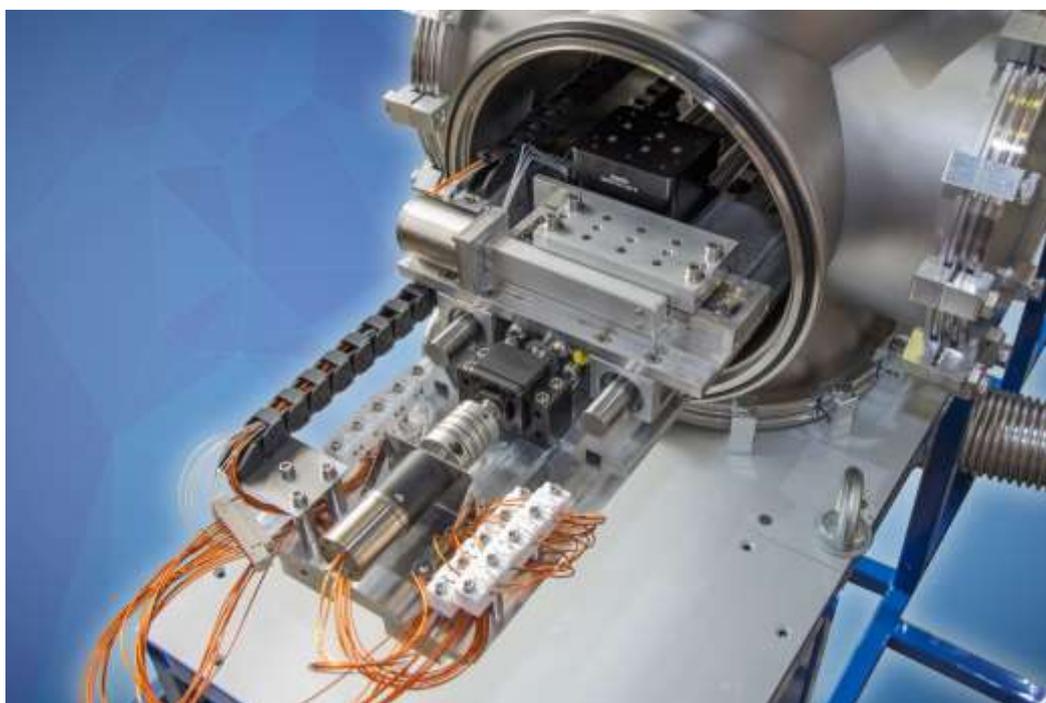


Рис. 10 – Фотография системы трансляторов

### Подсистема подачи проволоки в камеру испарителя

Подача проволоки в камеру испаритель осуществляется с помощью её разматывания из катушки. Разматывание происходит за счет вращения резинового валика, который в свою очередь вращается с помощью шагового двигателя, установленного в атмосфере. Движение передается с вала мотора на вал специального вакуумного ввода вращения через муфту. Внутри камеры вал вакуумного ввода вращения так же, через муфту, соединен с валом, на котором установлен резиновый ролик. Таким образом, проволока испаряемого материала подается прямо на раскаленную спираль и испаряется. Кинематическая схема подачи проволоки показана на рис. 11.

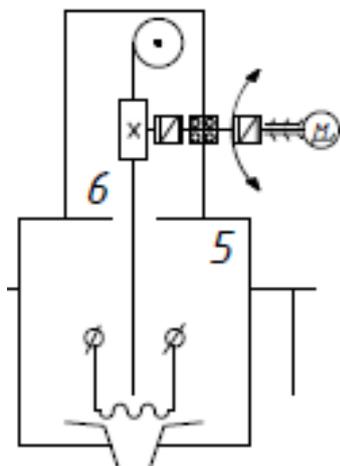


Рис. 11 – Кинематическая схема механизма подачи проволоки

На рис. 12 показана камера подачи проволоки.

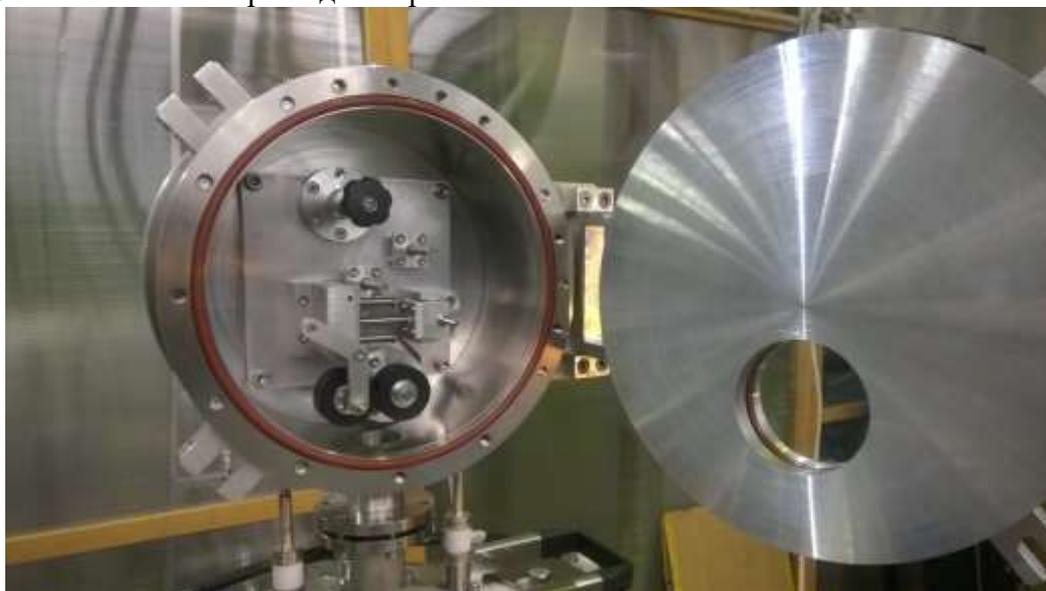
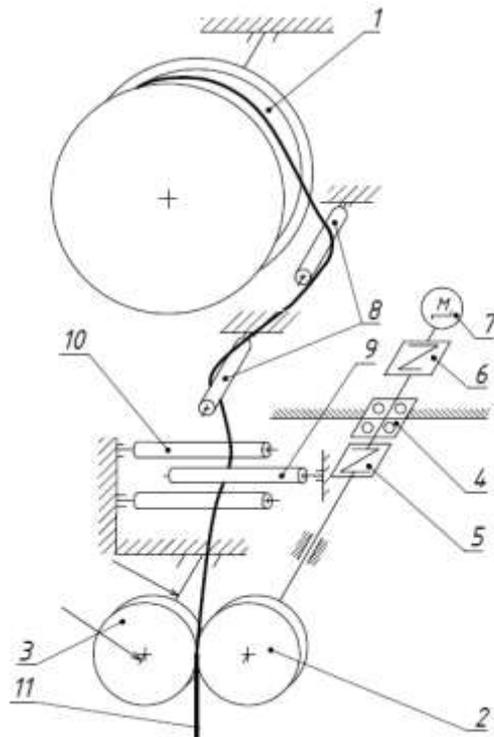


Рис. 12 – Камера подачи проволоки

На рис. 13 представлена разработанная кинематическая схема для механизма подачи проволоки в установке «Колизей».



- 1 – Катущка; 2 – Тянущий ролик; 3 – Прижимной ролик; 4 – Ввод вращения; 5,6 – Муфта упругая;  
7 – Шаговый двигатель; 8 – Ролик поворотный;  
9 – Ролик поворотнo-прижимной; 10 – Ролик горизонтальный; 11 – Проволока; 12 – Вал тянущего ролика.

Рис.13 – Кинематическая схема подачи проволоки установки «Колизей»

Механизм подачи проволоки работает следующим образом:

При включении шагового двигателя 7 крутящий момент передается на ввод вращения 4 через упругую муфту 6, далее на вал тянущего ролика 12 так же через упругую муфту 5, который приводит в движение тянущий ролик 2. Проволока 11 проходит через ролик поворотный 8 (правый на схеме), тем самым ограничивая перемещение проволоки по вертикали. После проволока проходит через еще один такой же поворотный ролик 8 (левый на схеме), тем самым он направляет проволоку 11 горизонтально относительно соприкосновения двух роликов: тянущего 2 и прижимного 3. Далее проволока проходит через рихтовочные ролики 9 и 10, которые представлены на рис. 14.

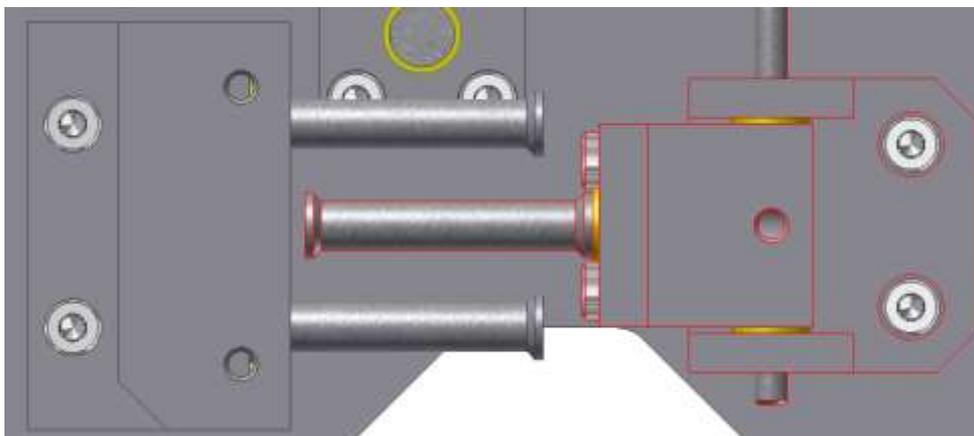


Рис. 14 – Рихтовочные ролики 9 и 10. Вид спереди

Красным контуром выделен ролик поворотнo-прижимной 9. Назван он так, потому что, в пределах 90 градусов может поворачивать основную часть. Сделано это для того чтобы

облегчить заправку проволоки, а именно, когда поднимается ролик проволока вкладывается на два рядом стоящих валка 10 и при опускании ролика 9 перемещение проволоки ограничивается в плоскости.

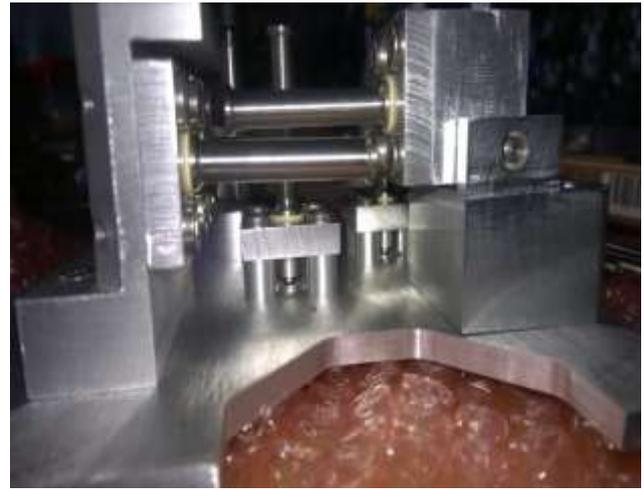
Проволока 11 сматывается с катушки за счет вращательного движения тянущего ролика 2 и ролика прижима 3, направленных друг на друга. Она центрируется в плоскостях Y и Z с помощью рихтовочного механизма. Центровать в плоскости X, не нужно, т.к проволока 11 подается сверху вниз.

Стоит отметить, что катушка самоподтормаживается за счет прижима к втулкам скольжения.

На рис. 15 представлен механизм рихтовки



а) Вид спереди сверху



б) Вид на рихтовочные ролики

Рис. 15 – Механизм рихтовки

На рис. 16 представлена 3D модель камеры подачи проволоки, разработанной в программной среде Autodesk Inventor 2012.

Задний фланец и передняя дверь изготовлены в целях облегчения из сплава АМг-6. Также из этого же материала выполнены и петли, и ручка, и прижимы (светло серый цвет). Из нержавеющей стали 12Х18Н10Т выполнен корпус и фланцы, на которые крепится задний фланец и дверь с петлями соответственно. Также из этого же материала изготовлен и нижний фланец, который соединяется через проставок с камерой испарителя.

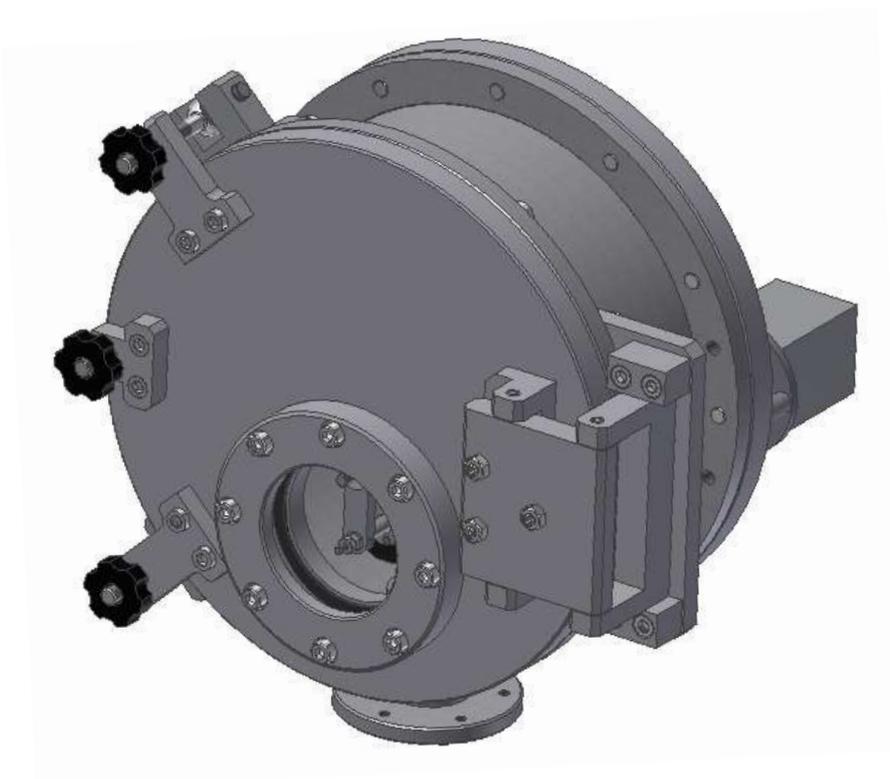


Рис. 16 – 3D модель

Стоит обратить внимание на петли, которые сделаны не как предыдущие одношарнирные. Двух шарнирная петля представлена на рис. 17.



а) Петля при закрытой двери



б) Петля при открытой двери

Рис.17 – Двух шарнирная петля

Состоит из трех основных деталей, это две опоры под дверь и под фланец и коромысло. В коромысло устанавливается упорный подшипник. Штифт выполняет роль оси и вставляется в коромысло с натягом, тем самым фиксируется. Установочные винты служат для регулировки

прижима. Двух шарнирная петля обеспечивает равномерное прижатие вакуумной резины, чем одношарнирная петля, т.к она сжимает ближнюю часть, а дальнюю может недожать, что приведет к щели, через которую будет натекание.

В данный момент установка «Колизей» собрана и находится в технической эксплуатации.