

УДК 621.52

Попов Павел Евгеньевич, инженер-конструктор АО «Плутон», студент 4-го курса кафедры МТ11 «Электроника и наноэлектроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Матюшин Матвей Алексеевич, инженер-конструктор АО «Плутон», студент 4-го курса кафедры МТ11 «Электроника и наноэлектроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Гребнев Максим Владимирович, инженер-конструктор АО «Плутон», студент 4-го курса кафедры МТ11 «Электроника и наноэлектроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТА ОТКАЧКИ МАГНЕТРОНОВ И ЛБВ

Аннотация. В связи с увеличением объемов выпускаемой продукции возникла необходимость в создании универсального откачного поста, способного обеспечить автоматизированную откачку как магнетронов, так и ламп бегущей волны. Разработанный откачной пост включает в себя стойку управления и вакуумный технологический пост, позволяющий проводить термовакуумную обработку (ТВО) электровакуумных изделий. Данная работа посвящена разработке и изготовлению такого оборудования на основе выведенных в резерв откачных постов АО «Плутон».

Annotation. Due to the increase in production volumes, it became necessary to create a universal pumping station capable of providing automated pumping of both magnetrons and traveling wave tube. The developed pumping station includes a control stand and a vacuum processing station that allows thermal vacuum treatment of electro-vacuum products. This work is devoted to the development and manufacture of such equipment based on the pumping stations of Pluto JSC that have been placed in reserve.

Ключевые слова: откачной пост, магнетрон, лампа бегущей волны, вакуумная система, система управления.

Keywords: pumping station, magnetron, traveling wave tube, vacuum system, control system.

Введение

Производство электровакуумных приборов (ЭВП) СВЧ диапазона длин волн на предприятиях электронной промышленности включает в себя этап обезгаживания ЭВП [1]. Данный этап обычно выполняется с помощью техники специального назначения – откачного поста, состоящего из пульта управления и вакуумного технологического оборудования [2]. В настоящее время система управления серийными постами откачки, применяемыми в АО «Плутон», требует периодического вмешательства и контроля со стороны рабочего персонала – это нередко становится причиной выхода из строя элементов установки или неверного проведения технологических операций, т.е. возникновения производственного брака. Помимо этого, сложность ручной настройки параметров обработки изделий препятствует универсальному использованию установок.

Исключение описанных выше недостатков может повысить производительность предприятия, что с учетом увеличения гособоронзаказа является весьма актуальным. Для реализации данной цели и минимизации затрат был разработан откачной пост, базой которого стал выведенный в резерв пост откачки ЛБВ. Входящие в него узлы, такие как каркас, подъемник, вакуумный колпак, были определенным образом доработаны и прошли восстановительный ремонт. Многие компоненты систем откачки и жидкостного охлаждения подверглись модернизации или замене на более актуальные варианты. Также были полностью заменены пульт и система управления. Ниже приведено подробное описание составных частей спроектированной установки.

Пульт управления

Разработанная система управления позволяет производить обработку большой номенклатуры изделий, выпускаемых на предприятии, и отличается тем, что выполнение программ обработки магнетронов и ЛБВ реализуется в автоматическом режиме (оператор отвечает только за установку изделия и выбор соответствующей программы). Данные о текущем состоянии основных систем и ходе выполнения обработки выводятся на экран в текстовом и графическом виде. Для манипуляций, не входящих в стандартную программу обработки, наладки и обслуживания оборудования предусмотрен режим ручного управления.

В целях предотвращения выхода из строя компонентов технологического поста в системе присутствуют различные блокировки, остановка процесса в случае аварийных ситуаций, а также срабатывание светосигнальной арматуры при необходимости вмешательства оператора.

Помимо этого, реализовано разграничение прав доступа к различным функциям. Например, набор функций, доступных оператору, сводится к выбору и просмотру программ обработки, частичному управлению вакуумной системой, подъему и опусканию колпака, запуску и остановке цикла, а в учетную запись технолога дополнительно включены функции управления источниками тока и напряжения в процессе тренировки изделий и редактирования программ обработки. Наладчикам и инженерам предоставлен полный доступ ко всем элементам установки (коммутация вакуумной арматуры, запуск исполнительных механизмов, ручное управление нагревом и т.д.).

Подключение установки к локальной сети предприятия дало возможность хранить и редактировать программы обработки на удаленном сервере. Таким образом каждая машина автоматически получает необходимый набор программ. Кроме того, обеспечен удаленный

мониторинг работы установок (рис. 1), что позволит технологам и начальникам участков непосредственно с рабочих мест получать информацию о текущей загруженности участка откачки, просматривать историю обработки изделий и наблюдать за ходом процесса на любой установке в реальном времени.

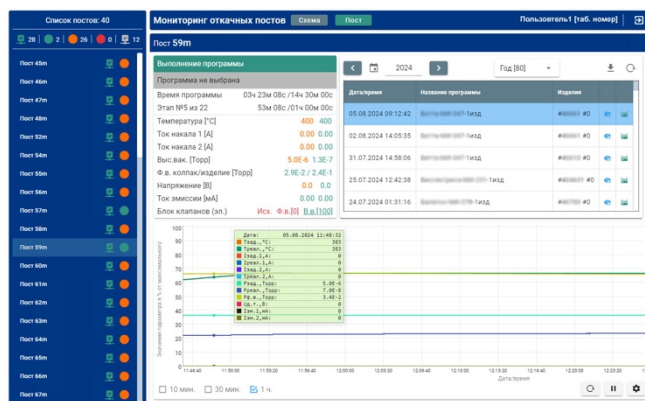


Рисунок 1 – Система удаленного мониторинга откачных постов.

Пульт управления состоит из блоков, приведенных в таблице 1, и размещается в стандартном 19-дюймовом телекоммуникационном шкафу.

Таблица 1. Компоненты пульта управления.

Компонент	Примечание
Блок вакуумметров	Измерение давления в изделии и под колпаком
Блок управления	Управление элементами поста, выполнение циклов обработки изделия
Блок силовой	Включение системы, силовая часть (реле, пускатели)
Блок управления нагревом	Управление параметрами нагрева изделия
Универсальный комплект источников питания	Источник напряжения, тока накала и прочие источники для тренировки изделия
Блоки питания системы откачки	Питание магниторазрядного и турбомолекулярного насосов (ТМН)

Вакуумный технологический пост

Общий вид технологического поста и стойки управления приведен на рисунке 2, позициями показаны основные узлы установки (обшивки технологического поста скрыты).

Так как разработка технологического поста проводилась на базе использовавшегося ранее, был внесен ряд коррективов, направленных на устранение выявленных в процессе эксплуатации недостатков. Большая часть элементов и узлов подверглась модернизации, остальная прошла восстановительный ремонт. Можно выделить следующие основные изменения:

- Установлены направляющие и доработан подъемник (для увеличения плавности хода колпака);
- Заменен нагревательный элемент (ввиду быстрого износа кварцевых ламп);
- Применены безмасляные средства откачки колпака (для предотвращения возникновения нагара внутри вакуумных камер);
- Исключена вакуумная арматура с ручным приводом (для реализации защитных блокировок и автоматизации рабочих циклов);
- Применен современный сверхвысоковакуумный магниторазрядный насос (предельный вакуум ориентировочно на один порядок лучше);
- Применен турбомолекулярный насос для предварительной откачки изделий (для увеличения срока службы магниторазрядного насоса и проведения различных работ по выявлению натекания изделий и их плазменной очистке).

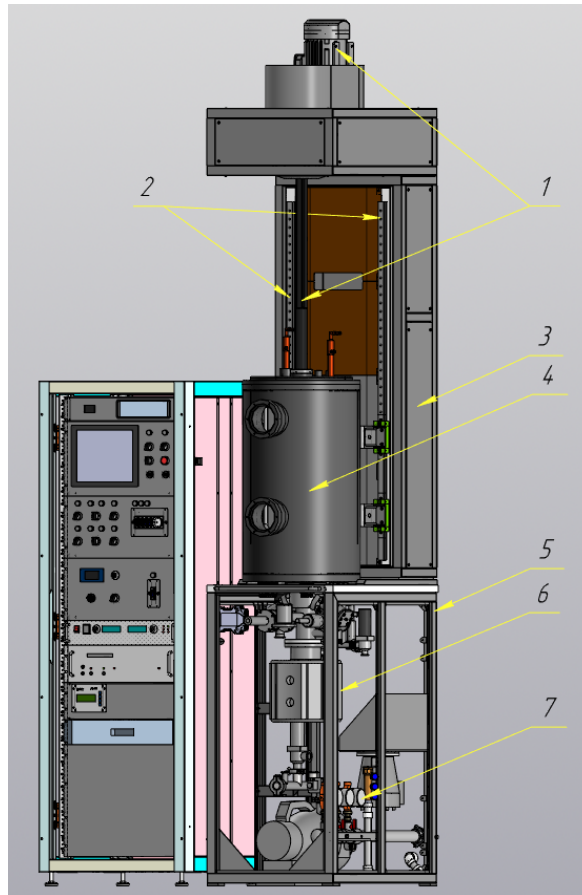


Рисунок 2 – Общий вид откачного поста: пульт управления (слева); вакуумный технологический пост (справа); 1 – механизм подъема колпака; 2 – направляющие; 3 – портал; 4 – колпак; 5 – станина; 6 – вакуумная система; 7 – система охлаждения.

Турбомолекулярный насос даст возможность откачивать объемы изделия и колпака до давлений порядка $10^{-4} - 10^{-6}$ Торр. Это позволит избежать аварийных ситуаций при переводе откачки изделий на магниторазрядный насос, а также при недостаточном вакууме в рабочей камере.

Принципиальная вакуумная схема разработки изображена на рисунке 3 с обозначением позиций в таблице 2.

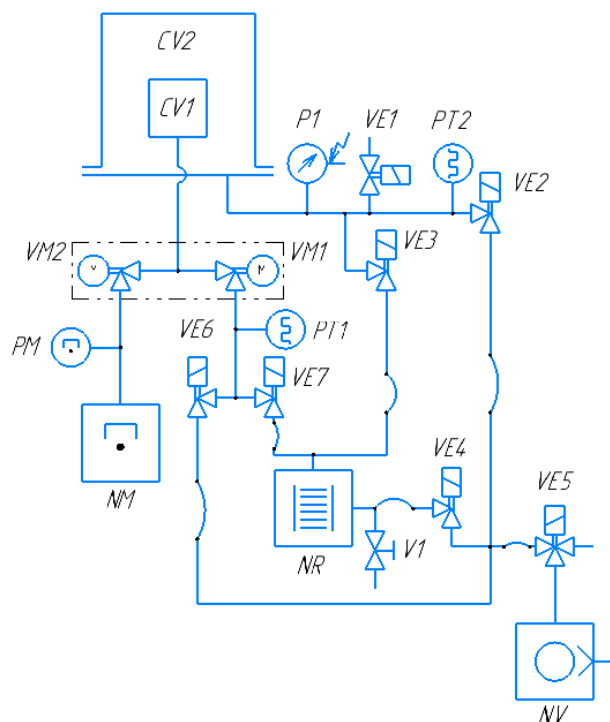


Рисунок 3 – Принципиальная вакуумная схема разработанного откачного поста.

Таблица 2. Компоненты вакуумной системы разработанного поста.

Поз.	Наименование	Примечание
CV1	Изделие	
CV2	Рабочая камера (колпак)	
NV	Насос спиральный 5 л/с	Форвакуумный насос
NR	Насос турбомолекулярный 300 л/с	Предварительная откачка изделия и постоянная откачка колпака
NM	Насос магниторазрядный диодный 100 л/с	Высоковакуумный насос
P1	Реле давления	Контроль давления и предварительной откачки колпака

Продолжение таблицы 2

PT1-PT2	Вакуумметр терморезистивный	Контроль форвакуумной откачки изделия и колпака
PM	Преобразователь манометрический	Контроль высоковакуумной откачки
V1	Клапан вакуумный угловой ручной	Порт для подключения теческателя
VM1	Вентиль высоковакуумный моторизованный	Высоковакуумная откачка изделия
VM2	Вентиль форвакуумный моторизованный	Форвакуумная откачка изделия
VE1	Клапан вакуумный электромагнитный	Напуск в колпак
VE2-VE4	Клапан вакуумный электромагнитный	Откачка колпака и ТМН
VE5	Клапан вакуумный дифференциального давления	Напуск в форвакуумный насос
VE6, VE7	Клапан вакуумный электромагнитный	Контроль форвакуумной откачки

Также использование ТМН приведет к снижению селективности откачки [3], так как магниторазрядные насосы эффективно удаляют только химически активные газы, в первую очередь молекулярный водород [4]. Селективность – важная характеристика высоковакуумных насосов, так как под вакуумом следует понимать не только суммарное остаточное давление в приборе, но и спектр имеющихся в нем остаточных газов и паров и парциальное давление каждого из них. Невыполнение требований по составу и парциальному давлению остаточных газов и паров даже при очень низком суммарном давлении в ЭВП резко снижает его работоспособность.

Особенно важен состав остаточных газов для обеспечения работоспособности катода. Наиболее часто отравление катода связано с наличием таких остаточных газов и паров, как кислород O_2 , диоксид углерода CO_2 , водяной пар H_2O , монооксид углерода CO . В перечисленном ряду степень отравления катода убывает от кислорода к монооксиду углерода [5].

Помимо этого, возможность поддержания постоянного давления в изделии с помощью ТМН и добавление в перспективе натекателя и масс-анализатора (квадрупольного масс-спектрометра) в вакуумную систему позволят проводить исследования влияния газовой среды на активацию катодов, их эмиссионную способность и надежность.

В некоторых случаях допустимо применение гелиевого масс-спектрометрического течеискателя для проверки изделий на вакуумную плотность непосредственно в процессе откачки (не отсоединяя штенгель).

Предварительное разрежение изделий с помощью ТМН позволяет применить магниторазрядный насос диодного типа без водяного охлаждения. Данные насосы отличаются от используемых на данный момент повышенной надежностью и ремонтпригодностью, а также уменьшенным предельным давлением (10^{-9} Торр).

Для предварительной форвакуумной откачки применен сухой спиральный насос. Все клапаны оснащены приводами, что позволит автоматизировать выполнение технологических операций, а также устранить неполадки, которые могут быть вызваны человеческим фактором.

Заключение

Разработанный откачной пост будет способен выполнять откачку и обезгаживание как магнетронов, так и ЛБВ с полной автоматизацией процесса обработки. Наличие автоматической системы управления приведет к предотвращению выхода из строя оборудования благодаря различным блокировкам в случае аварийных ситуаций.

Взятый за основу вакуумный технологический пост был модернизирован: улучшен механизм подъема колпака, заменены или добавлены нагревательный элемент и многие компоненты систем откачки и охлаждения. Присоединение натекателя и масс-анализатора к вакуумной системе позволит проводить исследования влияния состава газовой среды на работоспособность и долговечность ЭВП.

Список литературы

1. ШЕХМЕЙСТЕР Е. И. Технология производства электровакуумных приборов, Москва, Высшая школа. – 1992.
2. Закиров Ф. Г., Николаев Е. А. Откачник-вакуумщик //М.: Высш. шк. – 1977.
3. Демихов К.Е., Никулин Н.К., Свичкарь Е.В. Перспективы развития комбинированных турбомолекулярных вакуумных насосов //Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №. 5 (17). – С. 36.
4. Фролов Е.С., Минайчев В.Е., Александрова А.Т. Вакуумная техника: справ. под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. – 1992.

5. Бычков С.П., Ли И.П., Петров В.С., Полунина А.А. и др. Технология производства электровакуумных приборов: термовакuumная обработка. Экспериментальное сопровождение технологического процесса. Учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022.

References

1. SHEKHMEISTER E. I. Technology of production of electrovacuum devices, Moscow, Higher School. – 1992.
2. Zakirov F. G., Nikolaev E. A. Vacuum cleaner // Moscow: Higher School. - 1977.
3. Demikhov K.E., Nikulin N.K., Svichkar E.V. Prospects for the development of combined turbomolecular vacuum pumps //Engineering Journal: Science and Innovation. – 2013. – №. 5 (17). – P. 36.
4. Frolov E.S., Minaichev V.E., Alexandrova A.T. Vacuum technology: reference. under the general editorship of E.S. Frolov, V.E. Minaichev. – 1992.
5. Bychkov S.P., Li I.P., Petrov V.S., Polunina A.A. and others. Technology of production of electrovacuum devices: thermal vacuum treatment. Experimental support of the technological process. Textbook. Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2022.