

УДК 681.516.75

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКОЙ «КО-МКР»**

О.В. Пащенко, А.М. Соловьев, С.В. Юдаков

Томский политехнический университет

E-mail: ysv@tpu.ru

*Описана система управления промышленной установки «КО-МКР». Кратко отражены конструкция и технологические возможности установки. Обоснован выбор структуры системы управления и центрального контроллера. Описан принцип построения управляющей программы контроллера. Отражены конструктивные особенности системы управления.*

**Ключевые слова:**

Система управления, контроллер ХРАС, рефлектор.

**Key words:**

Control system, controller XPAC, reflector.

**Введение**

Технология ионно-плазменного нанесения многослойных радиоотражающих покрытий на изделия сложной геометрии и большой площади весьма сложна. Она требует взаимодействия многих систем и агрегатов – высоковакуумной системы, системы термического отжига, магнетронов и ионных источников, напуска рабочего газа, механических приводов, систем контроля и т. д. – в реальном масштабе времени. Система должна быстро реагировать на изменения параметров процессов, не допускать ухудшения качества покрытий и порчи весьма дорогостоящих изделий, предотвращать аварийные ситуации.

Вышесказанное обуславливает необходимость создания автоматической системы управления установкой, формулирует требования к ней.

Цель работы – создание системы управления промышленной вакуумной установкой «КО-МКР» (комплект оборудования для металлизации крупногабаритных рефлекторов), снабжённой источниками плазмы магнетронного типа и ускоренных ионов.

**1. Постановка задачи. Описание технологического процесса**

В последнее время углепластик получает широкое распространение в различных областях техники. Прочность данного материала позволяет заменять им многие металлические детали, а его легкость значительно уменьшает их массу. Одной из таких деталей можно назвать рефлекторы параболических антенн. В связи с этим возникает задача по увеличению отражающей способности поверхности углепластика, которая решается осаждением тонкопленочного покрытия. Обычно в качестве материала отражающего слоя этого покрытия применяется алюминий, для предотвращения повреждения отражающий слой защищают пленкой из диоксида кремния или оксида алюминия. В работе [1] авторами был обоснован выбор структуры и материального состава покрытия вида {Ni-Cr} (0,2 мкм) – {Al} (до 3 мкм) – {SiO<sub>2</sub>} (до 0,2 мкм).

Перед нанесением радиоотражающего покрытия необходимо выполнить обезгаживание рефлектора для обеспечения адгезионной прочности покрытий. Обезгаживание проводится при давлении в вакуумной камере менее 1 Па при температуре рефлектора 100 °С в течении 10 ч. Скорость нагрева рефлектора 1...3 град./мин. Точность поддержания температуры  $\pm 3$  °С.

Процедура осаждения радиоотражающего покрытия на поверхность рефлектора на готовой к работе установке включает в себя следующие операции:

- тепловая дегазация рефлектора;
- очистка поверхности рефлектора с помощью ионного пучка;
- осаждение адгезионного слоя из сплава {Ni-Cr};
- осаждение плёнки алюминия;
- осаждение защитного слоя {SiO<sub>2</sub>}.

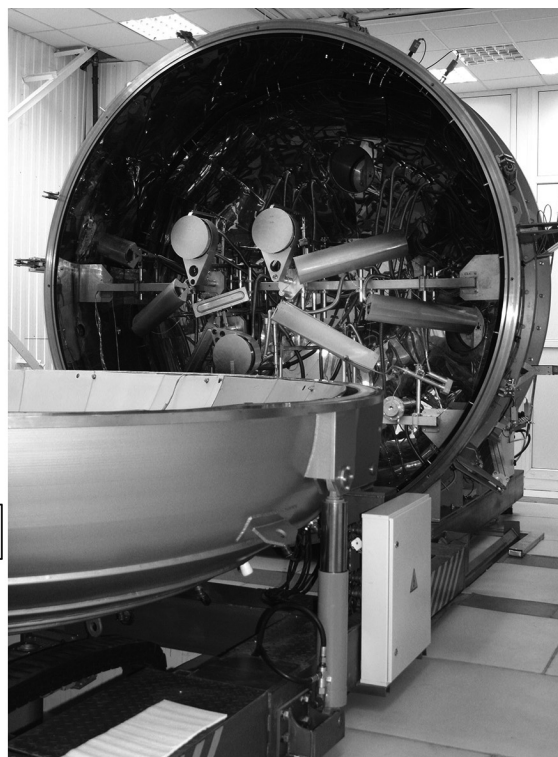
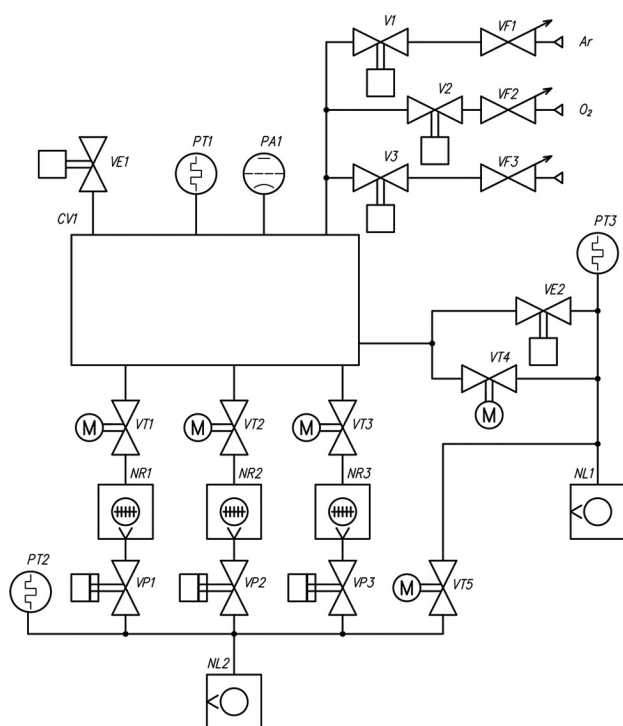
Под эту технологическую схему в Физико-техническом институте ТПУ была спроектирована и изготовлена установка «КО МКР». Для неё была разработана специальная система управления, отвечающая условиям, изложенным выше.

**2. Основные элементы установки как объекты управления**

Установка «КО МКР» состоит из следующих связанных между собой подсистем, которыми необходимо управлять:

- вакуумная;
- напуска рабочего газа;
- электропитания магнетронов и ионных источников;
- транспортная (перемещение тележки и вращение рефлектора);
- нагрева;
- охлаждения;
- электромеханических приводов магнетронов;
- пневматическая.

Подсистемы вакуумная и напуска рабочего газа (рис. 1) предназначены для поддержания рабочего давления (разрежения) и состава газовой среды в вакуумной камере.



**Рис. 1.** Вакуумная схема установки «КО МКР» слева и фотография вакуумной камеры справа (CV1 – вакуумная камера, VT1–VT4 – вакуумные затворы, NL1, NL2 – форвакуумные насосы, NR1–NR3 – турбомолекулярные насосы, V1–V3 – на- текатели рабочего газа, VE1, VE2 – вакуумные клапаны, VF1–VF3 – расходомеры, PT1–PT3 – термопарные вакуумные лампы, PA1 – ионизационная вакуумная лампа)

Вакуумная подсистема включает в себя вакуумную камеру, вакуумные насосы (форвакуумные «Kashiya-та» MU-1203 и турбомолекулярные «Shimadzu» TMP-4203 LMC), затворы тарельчатые 23ВЭ-400, клапаны, трубопроводы, а также датчики и приборы контроля вакуума (АТВ-2 и АИВ-51). Подсистема напуска рабочего газа содержит баллоны со сжатым газом (Ar, O<sub>2</sub>), клапаны (НМБ-1), трубопроводы и расходомеры (устройства, контролирующие величину потока рабочего газа, поступающего в вакуумную камеру) типа РРГ12 фирмы «Элточприбор».

В качестве источников плазмы и ионных пучков используются соответственно планарные магнетроны (9 шт.) на постоянном токе [2] и протяжённые источники ионов (3 шт.) с замкнутым дрейфом электронов [3]. Подсистема электропитания магнетронов и ионных источников включают в себя блоки питания, а также сопутствующие защитные и распределительные устройства. Она предназначена для поддержания необходимых для технологического цикла значений тока и напряжения в этих диодных системах.

Транспортная подсистема предназначена для перемещения подвижной тележки, вращения фермы с рефлектором и для управления гидравлической системой подъема крышки вакуумной камеры.

Подсистема нагрева предназначена контролируемого разогрева и поддержания заданной температуры рефлектора. Включает в себя нагреватели, переизлучатель, схему управления нагревателями

и системы измерения температуры поверхности рефлектора.

Подсистема охлаждения установки состоит из клапанов, датчиков потока и системы охлаждения рабочей жидкости – воды. Охлаждению подлежат вакуумные насосы, магнетроны, ионные источники, стенки вакуумной камеры. Мощность отводимого потока тепла может достигать 100 кВт.

Все магнетроны снабжены управляемыми заслонками, а центральные магнетроны (3 шт.) подвижны и выполняют сканирование при нанесении покрытия на рефлектор. Подсистема электро-механических приводов магнетронов предназначена для управления заслонками магнетронов и сканированием. Для повышения равномерности тонкопленочных покрытий система способна изменять мощность магнетронов при сканировании по задаваемому технологом закону.

Пневматическая подсистема предназначена для управления пневмозамками передней крышки камеры и пневматическими клапанами вакуумной системы (VP1–VP3). Состоит из блока подготовки воздуха, пневмоцилиндров и пневмоклапанов.

### 3. Структура системы управления

Можно выделить три основных функции системы управления установкой:

- управляющая (все виды автоматизированного управления, автоматическое регулирование, технологические защиты и блокировки);

- информационная (сбор, обработка, хранение информации о технологических параметрах и управляющих воздействиях, решение вычислительных задач, формирование отчетов, визуализация);
- сервисная (диагностика датчиков, сетевых связей).

Оптимальным способом построения системы управления, как показывает практика, является децентрализованный.

Это означает, что некоторые компоненты установки, такие как натекатели рабочего газа, электроприводы, блоки питания магнетронов и ионных источников являются «интеллектуальными» и имеют в своем составе специализированные контроллеры, позволяющие этим устройствам работать автономно. Центральный контроллер осуществляет координацию работы всех устройств путем непосредственного управления исполнительными механизмами и задания параметров для работы «интеллектуальных» устройств. В качестве центрального контроллера мы используем программируемый логический контроллер (ПЛК) серии ХРАС фирмы «ICPDAS» (Тайвань). Опыт эксплуатации подобных контроллеров в системах управления вакуумных установок, разработанных ранее в лаборатории [1, 4], свидетельствует о надежности выбранного ПЛК.

Традиционно в системе управления мы выделяем четыре уровня:

- 1) датчиков и исполнительных устройств (вакуумные датчики давления, натекатели рабочего газа, вакуумные и форвакуумные насосы, вакуумные затворы, клапаны и т. д.);
- 2) модулей сопряжения с объектами управления (специализированные оптоизолированные блоки с транзисторными выходами, реле и т. п.);
- 3) ПЛК, который обеспечивает контроль и управление всей установкой;
- 4) оператора/технолога.

Для обеспечения надежности третий и четвертый уровни были совмещены и реализованы на ПЛК.

В системе управления «КО МКР» имеются блокировки на всех четырех уровнях, которые при сбое в работе оборудования (в том числе ПЛК) или из-за некорректных действий оператора не дадут возможности выйти из строя отдельным устройствам, таким как вакуумные затворы, приводы перемещения крышки вакуумной камеры.

#### 4. Программное обеспечение

Программное обеспечение центрального контроллера написано на языке C++ и реализует бесконечный управляющий цикл (рис. 2) с периодом не более 100 мс, обеспечивающий:

- опрос состояния устройств установки. Опрос устройств, коммутируемых по медленным каналам связи, таким как RS-232 или RS-485, реализуется специальным контроллером в отдельных потоках, что способствует уменьшению периода цикла и, как следствие, уменьшению времени реакции управляющей программы;
- посылку управляющих сигналов и команд устройствам установки, определяемых логикой алгоритмов работы системы и командами оператора;
- реализацию макрокоманд-алгоритмов (например, «создать высокий вакуум в рабочей камере»), заключающихся в последовательном и параллельном условном выполнении команд устройствами;
- блокировку недопустимых в данной ситуации команд оператора;
- автоматическое, без участия оператора, выполнение макрокоманд-алгоритмов по выведению установки из аварийных или опасных состояний;
- автоматическое выполнение заданного оператором режима — тепловой дегазации или ионно-плазменной обработки.

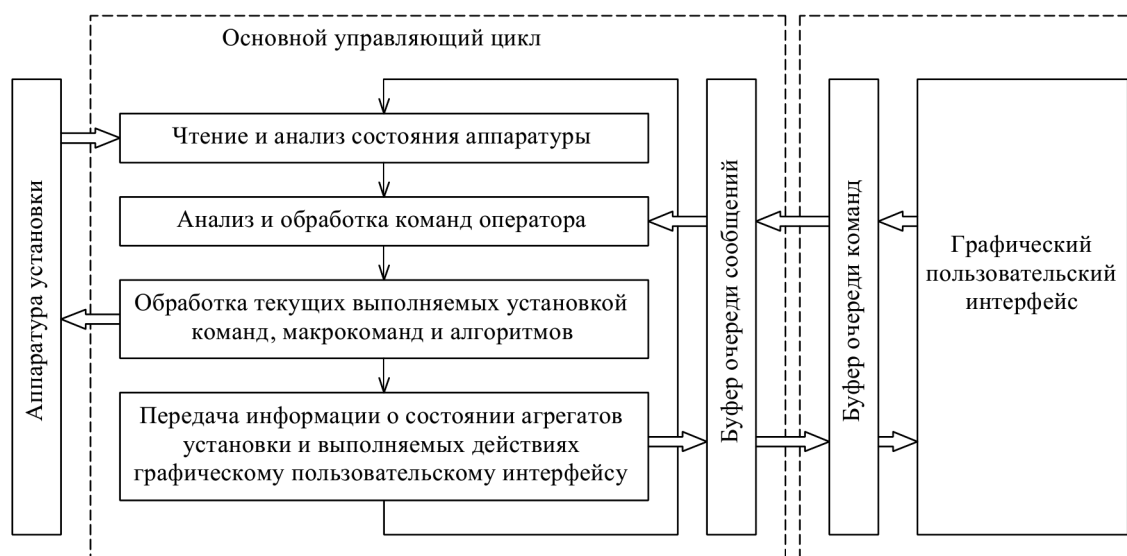


Рис. 2. Структура программы центрального контроллера

Графический пользовательский интерфейс программы обеспечивает:

- визуализацию состояния и активности систем и агрегатов установки в виде мнемосхемы и таблицы состояний объектов;
- протоколирование состояния систем и агрегатов и действий оператора;
- визуализацию основных параметров технологической обработки (параметры облучения, вакуумные условия), их протоколирование для последующего анализа;
- выдачу команд оператора;
- создание и хранение библиотеки режимов облучения для нанесения покрытий различных оптических свойств.

### 5. Конструктивные особенности

В составе установки имеется 3 ионных источника, 9 магнетронов, 3 турбомолекулярных насоса, 2 форвакуумных вакуумных насоса, 5 вакуумных затвора, и 9 вакуумных клапанов, 5 гидроклапанов, 15 датчиков потока воды, 3 расходомера, 4 пирометра и контроллер измерения температуры.

Для управления вакуумной установкой требуется 55 дискретных выходных каналов ПЛК, 66 дискретных входных каналов ПЛК и 21 интерфейсных канала RS-485 – это более, чем способен обеспечить один контроллер. Поэтому было решено ис-

пользовать два контроллера серии XPAC фирмы «ICPDAS», соединенных между собой через интерфейс Ethernet. Первый, ведущий контроллер состоит из базового модуля XP-8741-EN, четырех модулей дискретного ввода I-8040PW-G (32 канала), четырех модулей дискретного вывода I-8041PW-G (32 канала) и одного модуля дискретного ввода-вывода I-8042W-G (16 входных и 16 выходных каналов). Для работы с интеллектуальным оборудованием используется второй контроллер, состоящий из базового модуля XP-8741-EN, модуля I-8114iW/D2 (четыре порта RS-232) и шести модулей I-8144IW (четыре порта RS-485).

Структурная схема системы управления изображена на рис. 3.

Для контроля давления в вакуумной системе были выбраны активные вакуумметры АТВ-2 и АИБ-51 фирмы «Инситек» (г. Томск). Обмен информации между ПЛК и вакуумметрами осуществляется через интерфейс RS-485.

Каждый магнетрон и ионный источник имеют собственный источник питания. В системе используются два типа источников питания магнетронов MPS-15/10-PC (7 шт.) (максимальный ток 15 А, максимальное напряжение 700 В) и MPS-9/5-PC (3 шт.) (максимальный ток 9 А, максимальное напряжение 600 В) фирмы «ИПС» (г. Томск). Кроме того два источника питания

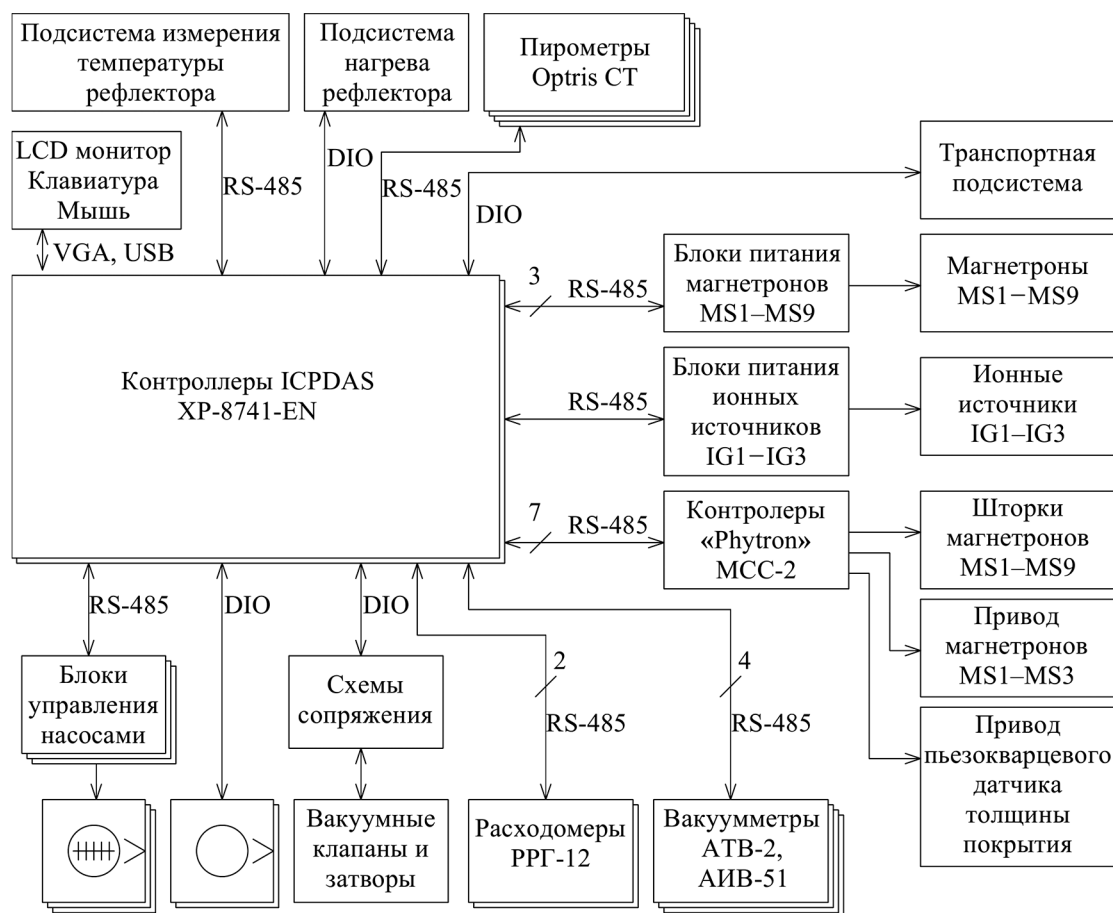


Рис. 3. Структурная схема системы управления установки «КО-МКР»

MPS-15/10-PC объединены и подключены к одному магнетрону, что позволяет увеличить ток магнетрона до 30 А. Источник питания ионного источника — PS-3/5-DC (3 шт.) (максимальный ток 2 А, максимальное напряжение 3 кВ). Возможны три режима работы блоков питания: стабилизация тока, напряжения и мощности. Управление блоками осуществляется через интерфейс RS-485. Для уменьшения времени опроса состояния блоков они разделены на четыре группы по три блока. Каждая группа подключена к индивидуальному порту RS-485 ПЛК.

Для перемещения магнетронов и шторок используются комплектные электроприводы фирмы «Phytron» (Германия), включающие в себя шаговые двигатели с редукторами VSS43.200.2,5 в вакуумном исполнении (14 шт.) и двухкоординатные блоки управления шаговыми двигателями MCC-2 (7 шт.). Несмотря на то, что блоки управления подключаются к контроллеру через интерфейс RS-485, объединить в сеть блоки не удалось. Каждый блок подключен к отдельному порту ПЛК.

Нагрев рефлектора в вакууме осуществляют керамические инфракрасные нагревательные элементы фирмы «Ceramix» (Ирландия). На крышке вакуумной камеры под переизлучателем равномерно расположены 120 нагревателей FFE мощностью 750 Вт и 10 нагревателей HFE — 250 Вт. Для нагрева используются 79 нагревательных элемента, остальные — резерв. Все нагреватели сгруппированы в 6 колец. ПЛК может управлять подачей напряжения на каждое кольцо через соответствующее ему твердотельное реле, осуществляя контролируемый нагрев рефлектора.

Контроль температуры рефлектора осуществляют две независимые подсистемы измерения — это 24 канальная основная подсистема, использующая платиновые термосопротивления Pt100 фирмы «Heraeus» (Германия), и дополнительная — четыре

пирометра «Optris CT LT» (Германия). Связь с подсистемами осуществляется по интерфейсу RS-485.

Конструктивно система управления состоит из нескольких крупных узлов:

- стойка высотой 1600 мм (контроллеры, 17 дюймовый LCD монитор, полка с клавиатурой и манипулятором типа «мышь»);
- стойка высотой 2200 мм (силовая коммутация, блоки питания иконных источников и блоки питания турбомолекулярных насосов);
- стойка с системой кондиционирования (10 источников питания магнетронов). В стойке выполнена теплоизоляция, проведены воздухопроводы. Температурный режим создается и поддерживается холодильным агрегатом RITTAL SK 3387.140;
- на раме вакуумной камеры расположены шкафы: управления двигателями шторок магнетронов, пневмоклапанами;
- на подвижной тележке вместе с крышкой камеры расположены: шкаф управления движением, два шкафа подсистемы нагрева рефлектора. Для укладки шлангов системы охлаждения крышки, силовых кабелей и кабелей управления использованы гибкие кабельные каналы «CPS».

#### Выводы

Разработана система управления промышленной вакуумной установкой «КО МКР», которая позволяет:

- автоматизировать контроль и управление технологическим процессом нанесения модифицирующих плазменных покрытий;
- оперативно выявлять предаварийные ситуации, блокировать их развитие и предупреждать об этом оператора;
- автоматически формировать архивы накопленных данных для дальнейшего анализа и совершенствования технологического процесса и оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асаинов О.Х., Баинов Д.Д., Кривококов В.П., Романенко С.Е., Чернятина А.А. Плазменная технология осаждения отражающего покрытия на поверхность углеродистого пластика // Известия вузов. Сер. Физика. — 2011. — Т. 54. — № 11/2. — С. 158–161.
2. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. — М.: Радио и связь, 1982. — 72 с.
3. Жуков В.В., Кривококов В.П., Янин С.Н. Распыление мишени при ассистировании магнетронного разряда ионным пучком // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 7. — С. 40–45.
4. Асаинов О.Х., Баинов Д.Д., Кривококов В.П., Юдаков С.В. Обработка поверхности материалов плазмой магнетронного разряда и ионными пучками // Известия вузов. Сер. Физика. — 2009. — Т. 52. — № 11/2. — С. 172–175.

Поступила 22.02.2012 г.