

УДК 620.178

А.В. Иванченко, И.В. Смирнов, Н.А. Долгов, А.Ю. Андрейцев, А.В. Бесов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Постановка проблемы. Покрытия, напыляемые в вакууме, позволяют решить ряд проблем, связанных с защитой поверхности деталей машин и элементов конструкций от износа, воздействия высоких температур и агрессивных коррозионно-эрозионных сред. Как свидетельствует опыт напыления таких покрытий, особое внимание уделяется вакуумно-дуговому методу [1–3]. Данный метод, позволяет в широком диапазоне управлять параметрами процесса и свойствами покрытий за счет наличия высокоионизированных частиц в продуктах эрозии катода. Используя катоды из разных металлов, и изменяя состав среды в вакуумной камере, а также режимы работы установки, можно наносить многослойные, градиентные, дискретные и наноструктурные покрытия.

Развитие систем автоматизированного сбора и обработки информации позволяет полностью автоматизировать процесс измерения и управления технологическим процессом нанесения покрытия. В этой связи, создание автоматизированной системы управления процессом вакуумно-дугового напыления покрытий следует считать актуальной научно-технической задачей.

Анализ публикаций по теме исследования. Модульный принцип построения системы гарантирует гибкость эксперимента и достижение необходимой точности измерений. Примеры реализации такого подхода к выбору систем описаны в работах [4, 5].

Типовые системы автоматизированного сбора и обработки информации включают в себя:

- технические средства: интеллектуальные приборы (датчики и исполнительные механизмы), контроллеры, компьютерные рабочие станции и информационные сети;
- прикладное программное обеспечение: SCADA – программы сбора и визуализации технологической информации) и средства программирования контроллеров.

Интеграция и взаимосвязь систем подобного класса, которые состоят из различных компонентов, реализуются путем использования ряда способов (протоколы передачи данных, технологические сети, клиент-серверная архитектура и т.д.) [6].

Цель работы заключалась в разработке многоканальной системы автоматизации работы установки для нанесения вакуумно-дуговых покрытий.

Система построена на современной элементной базе и позволяет проводить долговременные непрерывные измерения тока дуги, остаточного давления в вакуумной камере, температуры деталей, напряжения смещения, проводить моделирование процесса напыления и устанавливать оптимальные значения подконтрольных параметров, а также накапливать и сохранять базу данных результатов измерений.

Основная часть. В процессе эксплуатации установки вакуумно-дугового напыления изучены режимные параметры и их влияние на качество покрытий. Установлено, что основными параметрами являются: ток вакуумно-дугового разряда, остаточное давление реакционного газа и потенциал смещения на подложке. Кроме того, на этапе ионной очистки и в процессе напыления необходим контроль температуры поверхности подложки, в зависимости от чего осуществляется коррекция режимных параметров. Для контроля собственно процесса напыления покрытия измеряют длительность откачивания вакуумной системы, время затраченное на очистку, напыление и охлаждение покрываемых изделий. Таким образом, для получения заданных значений свойств покрытия (толщина, микротвердость, прочность сцепления и др.) на основе моделей управления определяют оптимальные значения режимов напыления.

Типовая блок-схема управления установкой вакуумно-дугового напыления покрытий и функциональная схема вакуумной системы показаны на рис. 1 и 2.

При условии получения качественного покрытия, обрабатываемая поверхность должна быть ровной или выпуклой без резких переходов и микротрещин, и иметь класс чистоты не менее 7. Ситуация усложняется, когда в качестве объектов металлизации служат мелкие детали, например метизы, крепления, мелкий режущий инструмент, порошковые материалы и т.п. [7]. В этом случае предъявляются более жесткие требования для поддержки и контроля режимов напыления.

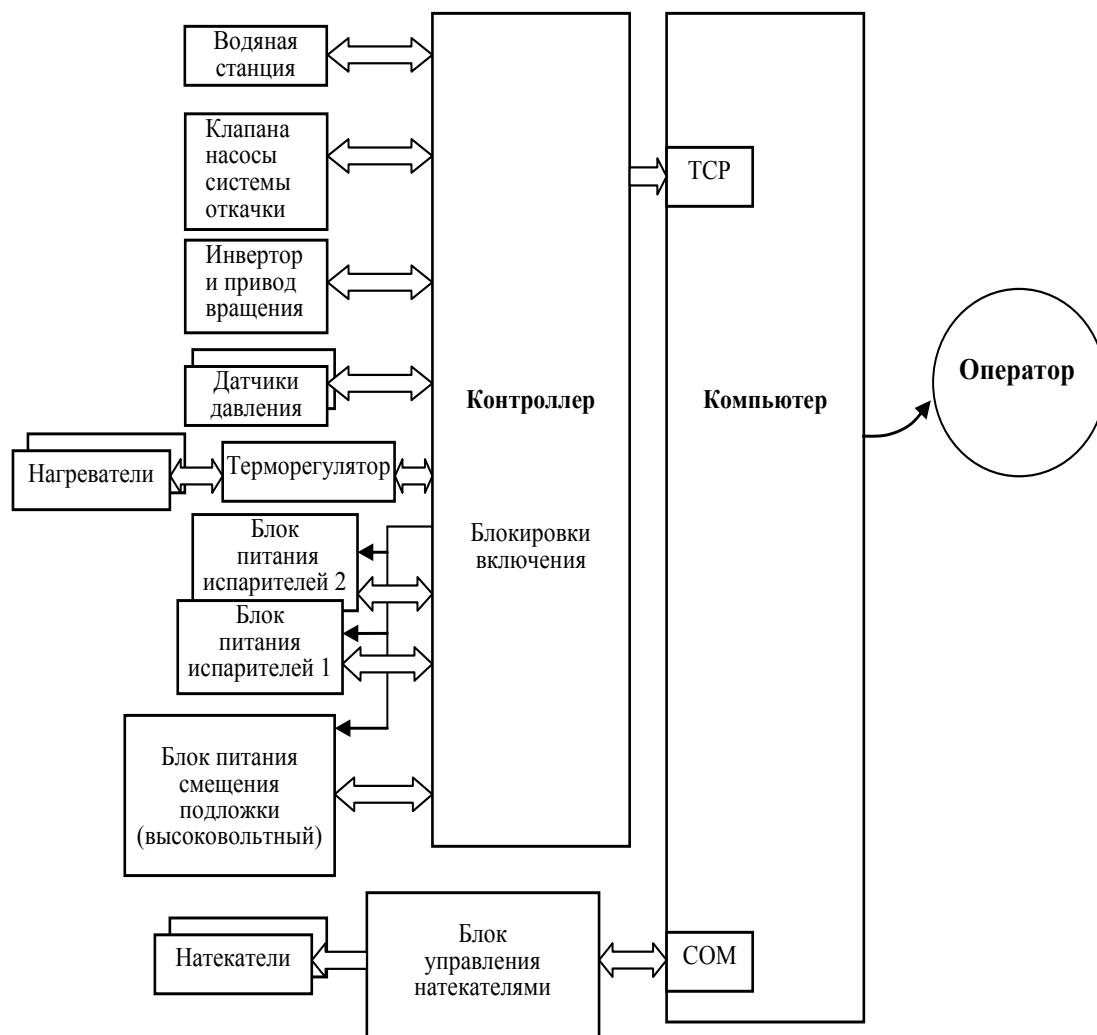


Рис. 1. Блок-схема управления установкой вакуумно-дугового напыления

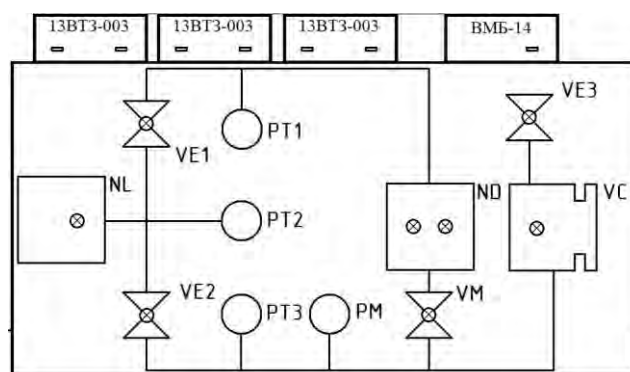


Рис. 2. Функциональная схема вакуумной системы установки

ND – диффузионный насос (НВДМ-400); NL – механический насос (агрегат АВР-50); VC – вакуумная камера; VE1, VE2, VE3 – электромагнитные клапаны ДУ-25; VM – вакуумный затвор; PT1, PT2, PT3 – преобразователи манометрические ПМТ-6-3; PM – преобразователь манометрический ПММ-32-1

Измерительные устройства

Измерение давления в вакуумной системе установки для напыления может проводиться с помощью трех вакуумметров 13ВТЗ-003 и магнитного электро-разрядного блокировочного вакуумметра ВМБ-14. Вакуумметр 13ВТЗ-003 предназначен для работы в диапазоне давлений $10^{-1} \dots 10^5$ Па и работает с преобразователем давления ПМТ-6-3. Отсчет давления ведется по шкале микроамперметра и градуировочных графиков. Вакуумметр оснащен релейным блоком, который обеспечивает автоматическую сигнализацию при достижении двух заданных уровней давления по двум независимым каналам.

Вакуумметр ВМБ-14 предназначен для измерения давления в диапазоне $10^{-7} \dots 1$ Па в автоматизированных вакуумных системах. Этот прибор работает в комплекте с магнитным электроразрядным преобразователем давления ПММ-32-1. Отсчет давления отображается на светодиодном индикаторе и регистрируется универсальным регистрирующим блоком АЦП. В вакуумметре предусмотрены выход аналогового сигнала 0...10 В, пропорциональный измеряемому давлению в соответствии с градуированной характеристикой, световая сигнализация о неисправности преобразователя, а также сигнализация по двум независимым каналам при достижении заданного уровня давления. Температура поверхности деталей контролируется пирометром ППТ с вторичным измерительным преобразователем, имеющим на выходе сигнал постоянного тока 4...20 мА.

Структурная схема технологического процесса нанесения покрытия приведена на рис. 3. Измерительная часть системы построена на модульном принципе, гарантирующем ряд преимуществ при эксплуатации и техническом обслуживании. Структурная схема измерительной части системы приведена на рис. 4.

Модули аналогового ввода имеют расширенный динамический диапазон и разрешающую способность соответствующую 16 битам. Подключение модулей организовано с помощью универсальной витой пары проводников, электропитание — от источника напряжения постоянного тока 10...30 В.

Выбор используемых модулей и их расположения определяются пользователем и могут быть изменены путем добавления или удаления модулей. Использование цифрового промышленного интерфейса RS-485 для связи с компьютером управления и передачи данных обеспечивает повышенную защищенность всей системы.

Модули сбора данных имеют гальваническую развязку по цепи питания и сигнальным линиям, что особенно важно с точки зрения защищенности и искро-безопасности. Число подсоединенных к линии (витой паре) модулей может достигать 32 без дополнительного оборудования. При необходимости дальнейшего расширения системы число модулей увеличивают, устанавливая специальный блок расширения, так называемого повторителя (Repeater). Модули позволяют проводить сбор измерительной информации на расстоянии до 1 км от персонального компьютера, а использование блоков Repeater увеличивает расстояние на 1 км на каждый блок.

Взаимодействие между компьютером управления и модулями сбора информации реализуется путем формирования простых команд в формате ASCII. Архитектура системы построена по стандарту OPC, что позволяет использовать измерительные модули разных производителей.

Установленное на компьютере управления прикладное программное обеспечение выполняет следующие функции:

- обмен данными между компьютером управления и измерительными устройствами (контролерами, модулями ввода-вывода, аналоговыми датчиками, пирометром) по каналам ввода-вывода, с поддержкой протоколов обмена;
- ведение базы данных реального времени для измеренных параметров;
- архивирование истории изменения измеряемых параметров;
- отображение значений измеряемых параметров на мониторе компьютера управления в виде динамических элементов мнемосхем, а также в числовом, табличном и графическом видах;
- обработка действий, расчет скорости конденсации, скорости изменения температуры подложки, остаточного давления и т.п.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Разработана двенадцатиканальная автоматизированная система вакуумно-дугового нанесения покрытий позволяющая проводить измерение параметров процесса вакуумно-дугового нанесения покрытий, а именно: давление в вакуумной камере на этапе подготовки установки к работе и в рабочем цикле; ток вакуумно-дугового разряда на катоде; напряжение смещения; температуру подложки.

2. Система позволяет рассчитывать оптимальные параметры технологического процесса и генерировать соответствующие влияния управления режимами напыления покрытий.

В будущем планируется использование разработанной системы для исследования и отработки технологического процесса плакирования порошков вакуумно-дуговым методом.

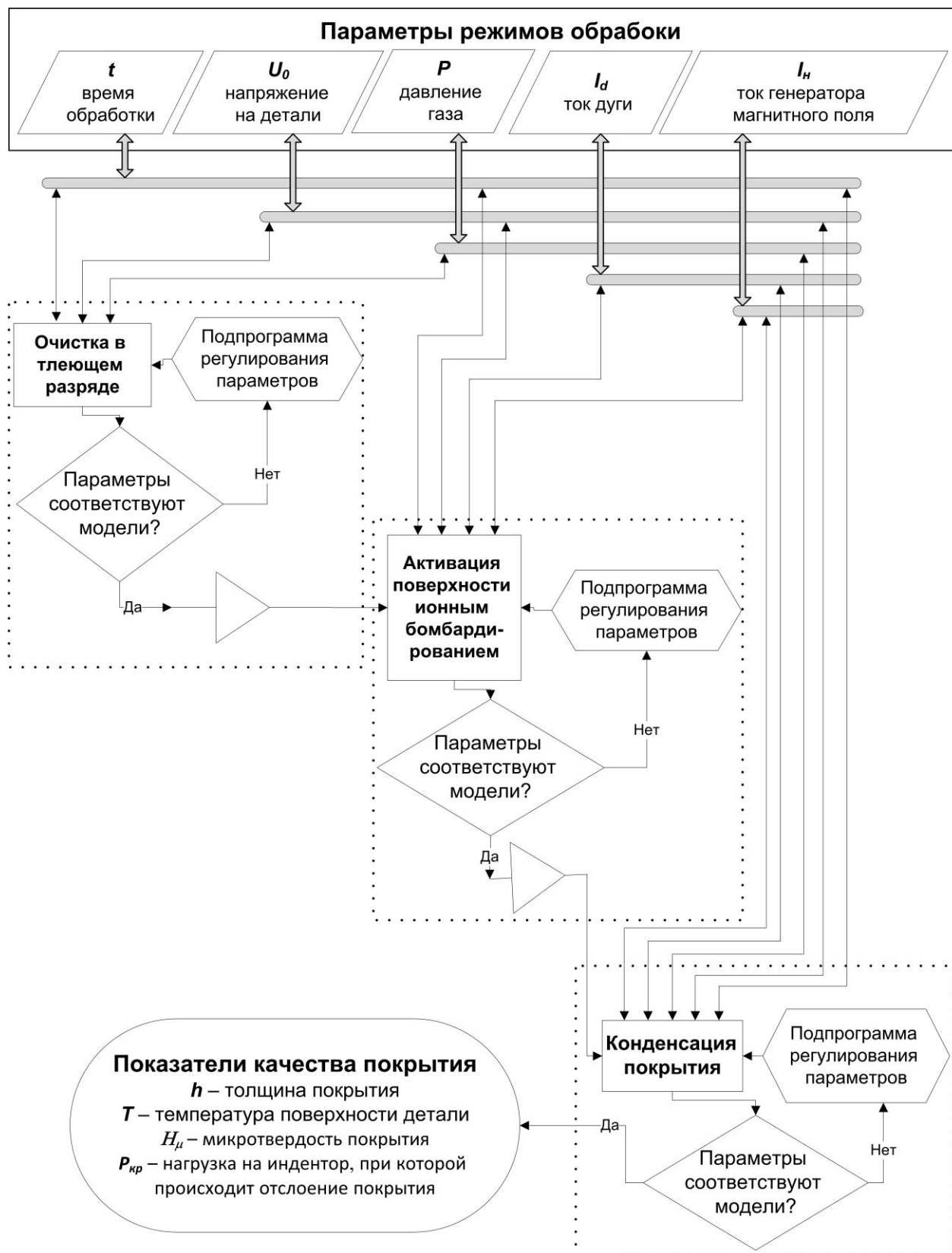


Рис. 3. Структурная схема технологического процесса нанесения покрытия

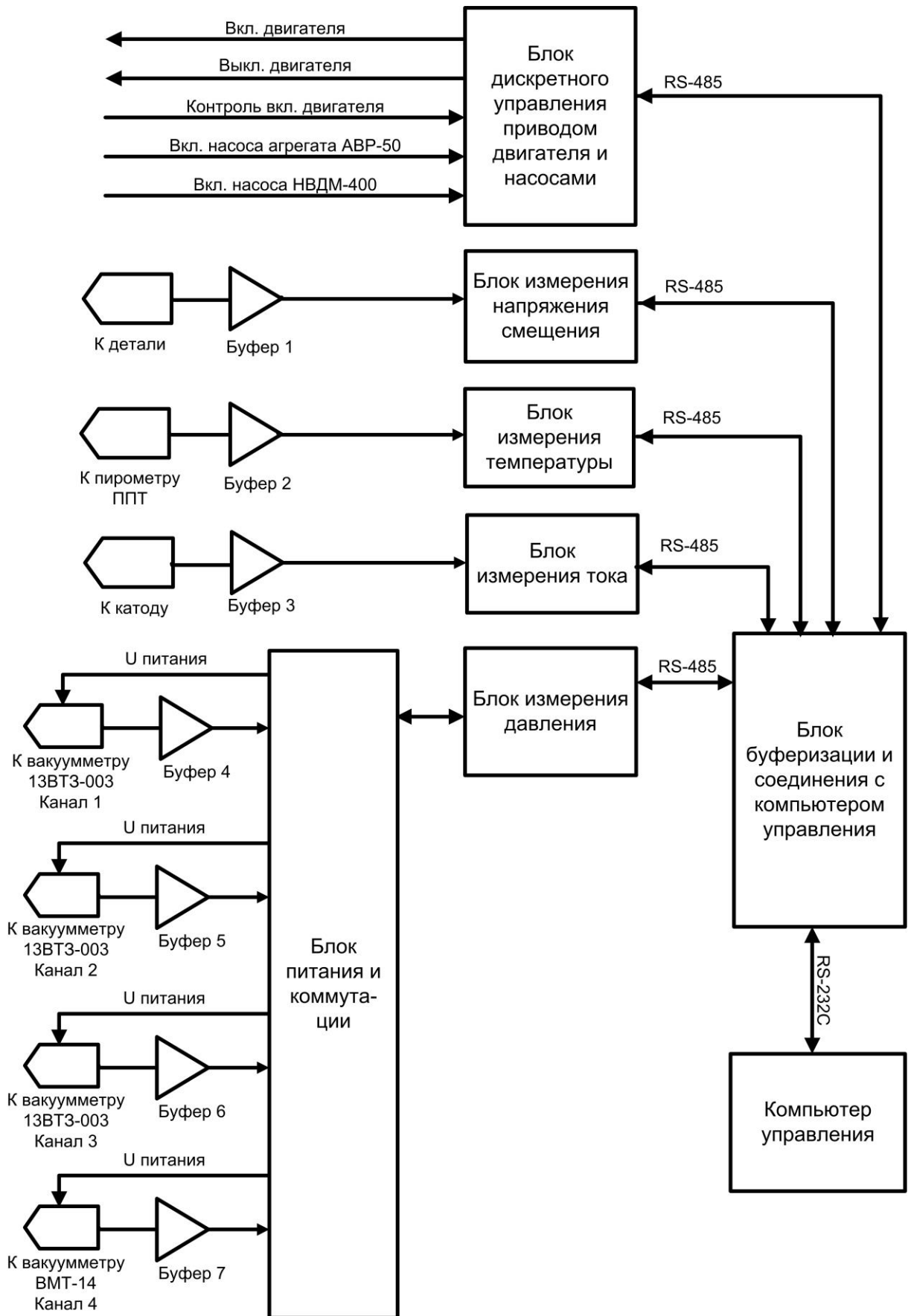


Рис. 4. Структурна схема измерительной части системы

ЛИТЕРАТУРА

1. Mitterer C. Thermal stability of PVD hard coatings / C. Mitterer, P.H. Mayrhofer, J. Musil // Vacuum. – 2003. – V. 71, No 1 – 2. – P. 279 – 284.
2. Carvalho N. Stress analysis and microstructure of PVD monolayer TiN and multilayer TiN/(Ti, Al) N coatings / N. Carvalho, E. Zoestbergen, B.J. Kooi, et al. // Thin Solid Films. – 2003. – V. 429, No 1. – P. 179 – 189.
3. Копейкина М.Ю. Повышение работоспособности режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, вакуумно-дуговыми покрытиями / М.Ю. Копейкина, С.А. Клименко, Ю.А. Мельничук, В.М. Береснев // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 5. – С. 87 – 97.
4. Стухляк П.Д. Теорія інформації (інформаційно-вимірвальні системи, похибки, ідентифікація) / П.Д. Стухляк, О.В. Иванченко, А.В. Букетов, М.А. Долгов. – Херсон: Айлант, 2011. – 371 с.
5. Булгаков Э.Б., Голованов В.В., Климов А.В. Информационно-измерительная система контроля состояния авиационных и общемашиностроительных редукторов, приводов и коробок передач. – М.: ЦИАМ, 1990. – 28 с.
6. Ицкович Э.Л. Способы взаимосвязи и интеграции отдельных систем автоматизации на предприятиях / Э.Л. Ицкович // Датчики и системы. – 2004. – №1 (56). – С. 56 – 62.
7. Смирнов И.В. Некоторые особенности ионно-плазменной металлизации керамических порошков / И.В. Смирнов // Современная электрометаллургия. – 2011. – № 2. – С. 56 – 60.

ИВАНЧЕНКО Александр Васильевич – к. т. н., доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, Киевский национальный университет технологий и дизайна

Научные интересы:

– информационно- измерительные системы, структурные и алгоритмические методы повышения метрологических характеристик средств измерения, математическое моделирование и оптимизация технологических процессов.

СМИРНОВ Игорь Владимирович – д.т.н., профессор кафедры инженерии поверхности, сварочный факультет, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Научные интересы:

– процессы фазо-структурообразования и физико-механические свойства вакуумно-конденсационных покрытий.

ДОЛГОВ Николай Анатольевич – к.т.н., старший научный сотрудник Института проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины.

Научные интересы:

– определение механических характеристик (модуль упругости, адгезионная и когезионная прочности, остаточные напряжения) покрытий; расчет напряженного состояния покрытий аналитическими и численными методами.

АНДРЕЙЦЕВ Андрей Юрьевич – к. ф.-м. н., доцент кафедры высшей математики государственного экономико-технологического университета транспорта.

Научные интересы:

– симметрия дифференциальных уравнений, математическое моделирование экономических и физических процессов.

БЕСОВ Анатолий Владимирович – к.т.н., старший научный сотрудник Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины.

Научные интересы:

– получение металлических порошков, разработка технологии нанесения плазменных покрытий.