



УДК 681.51

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Тонконогий В. М.¹, Киркопуло Е. Г.²

Одесский национальный политехнический университет, Одесса,
ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0003-1459-9870>, ² <http://orcid.org/0000-0001-5570-5989>
E-mail: kateryna.grygoryvna@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI:

Аннотация: Разработана программно-техническая структура компьютерно-интегрированной системы автоматизации установки ионно-плазменного напыления «Булат». Большая часть установок этого типа эксплуатируется в рамках небольших специализированных предприятий, поэтому разработка и отладка новых рецептов часто становится задачей оператора. Разработанное решение по автоматизации позволяет упростить задачу разработки и отладки новых рецептов с помощью специальных средств для имитационного моделирования установки в реальном времени, а также для синтеза и отладки системы автоматического управления для установки с заданными параметрами технологического процесса. Разработанная структура соответствует современным требованиям к системам автоматизации и построена по модульному принципу, что упрощает отладку её отдельных компонентов. Система автоматизации позволяет повысить качество обработки инструментов. Полученные результаты могут быть применены для разработки новых компьютерных систем управления ионно-плазменными установками.

Abstract: The software-technical structure of the computer-integrated automation system of the Bulat ion-plasma spraying unit is developed. Most of this type installations are operated in the framework of small specialized enterprises, so the development and debugging of new recipes often becomes the task of the operator. The developed automation solution simplifies the task of developing and debugging new recipes with the help of special tools for simulating the installation in real time, as well as for synthesizing and debugging the automatic control system for the installation with the specified process parameters. The developed structure meets modern requirements for automation systems and is built on a modular principle, which simplifies debugging of its individual components. The automation system allows you to improve the quality of processing tools. The results obtained can be applied to the development of new computer systems for controlling ion-plasma installations.

Ключевые слова: Компьютерная система автоматизации, ионно-плазменная установка.

Keywords: Computer automation system, ARC PVD ion-plasma installation.

Введение. В связи с ростом потребности в износостойких и качественных металлорежущих инструментах актуальной является задача разработки современных автоматизированных установок плазменного нанесения специального покрытия на инструмент, которое и обеспечивает его износостойкость и качество. Для нанесения покрытия используется разработанная в Украине установка «Булат», реализующая метод катодно-ионной бомбардировки (КИБ). Качество покрытия определяется качеством функционирования системы автоматизации установки. Для решения задачи создания новой современной системы автоматизации установки «Булат» автором разработаны:

- математические модели динамики и проведено комплексное моделирование всех этапов работы установки [1, 2];
- автоматического управления отдельными этапами работы установки [1];



• новый человеко-машинный интерфейс оператора установки в соответствии с современными международными стандартами [3].

Далее рассматривается задача разработки программно-технической структуры системы автоматизации установки. Аналогичные задачи рассматривались в научной литературе [4, 5], однако в предложенных решениях не рассмотрена проблема экспериментального подбора и расширения номенклатуры рецептов. Задача выбора оптимального рецепта рассмотрена в работе [6], но в этой работе задача выбора рационального рецепта по заданным параметрам (время процесса, качество инструмента и т.п.) не сформулирована в явном виде. Задача оценки качества инструмента с помощью эмпирических формул рассмотрена в работе [7].

Рецепты обработки деталей. Как правило, ионно-плазменные установки являются автономными устройствами, управляемыми оператором с использованием компьютерно – интегрированных систем автоматизации в рамках небольшого специализированного предприятия. Исходя из этого, разработка рецептов обработки разного вида инструментов является задачей оператора установки. Рациональный рецепт должен соответствовать следующим критериям: учитывать возможности установки и характерные возмущения, эффективно использовать время циклов, быть экономически эффективным. Следовательно, чисто эмпирически такой рецепт определить невозможно, для его формирования требуется использование адекватной математической модели, а для соответствия всем требованиям необходимо проводить моделирование динамики установки с указанным инструментом и настроенной системы автоматического управления. Для разработки рецепта, который возможно многократно использовать, необходимо выполнить следующие шаги:

- Провести первичный расчет параметров рецепта без влияния системы управления.
- Реализовать рецепт с помощью ручного управления.
- Определить параметры математической модели и сверить поведение по модели с результатами ручного управления.
- Определить параметры уравнений для оценки показателей качества по результатам лабораторного анализа.
- Определить оптимальные параметры системы управления и провести моделирование переходных процессов системы управления.
- Реализовать процесс с полученными параметрами системы управления.
- Уточнить параметры уравнений для оценки показателей.

Общие требования к программно-технической структуре системы автоматизации. Система автоматизации установки «Булат» должна соответствовать следующим требованиям: использовать современные протоколы и интерфейсы связи, быть максимально модульной, включать специальное программное обеспечение для отладки модулей системы автоматизации и отладки рецептов с использованием имитационной модели динамики системы автоматического управления установкой. Автоматизируются три стадии работы установки: ионной очистки, нанесения ионно-плазменного покрытия и охлаждения. Схематически технологический процесс и его основные стадии представлены на рис. 1.

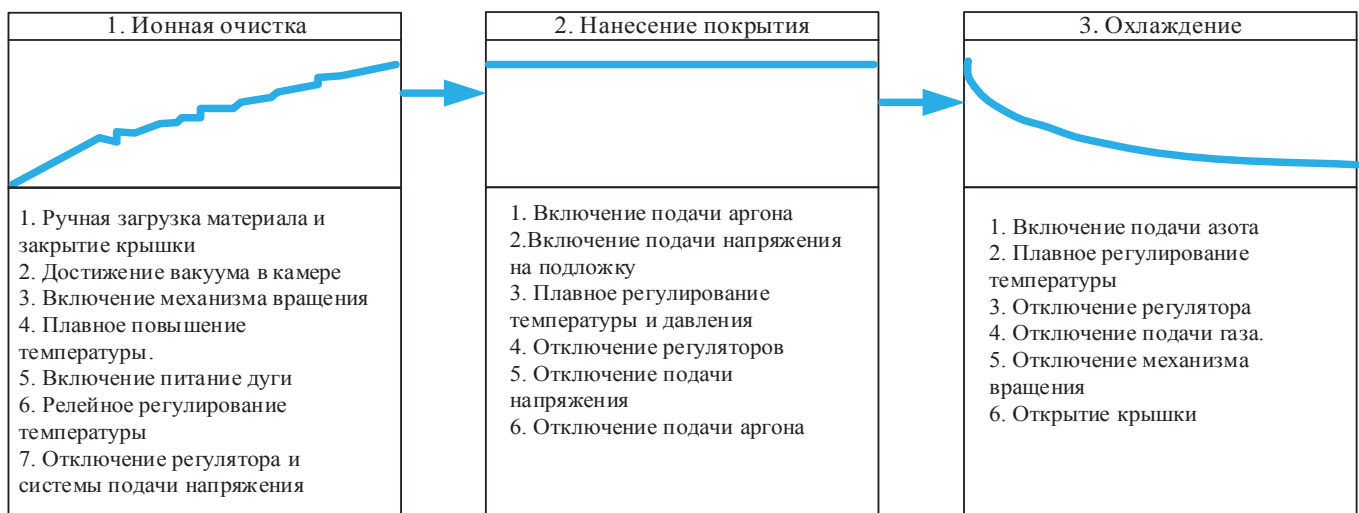


Рис. 1. – Схема технологических стадий работы установки «Булат»



Корректное проведение каждой стадии обеспечивается: достоверностью временного регламента, регламента давления и качественной работой оборудования при заданном регламенте, корректностью настройки регуляторов и компенсацией системой управления характерных возмущений.

Программно-техническая структура системы автоматизации. Полевой уровень системы автоматизации представляет собой сенсорную сеть, объединяющую датчики и исполнительные устройства, с мастером в качестве управляющего промышленного компьютера. Наиболее недорогой и распространенной является сеть RS-485 Modbus-RTU. В качестве операционной системы промышленного компьютера используется система Windows Embedded.

Структурная схема сенсорной сети показана на рис. 2. Датчики положения, веса, скорости, температуры и давления, а также исполнительные механизмы для подачи аргона и азота выбираются с интерфейсом RS-485, что упрощает их интеграцию. Управление реле и напряжением подложки реализуется с помощью специальных регуляторов, которые также подключаются к сенсорной сети.

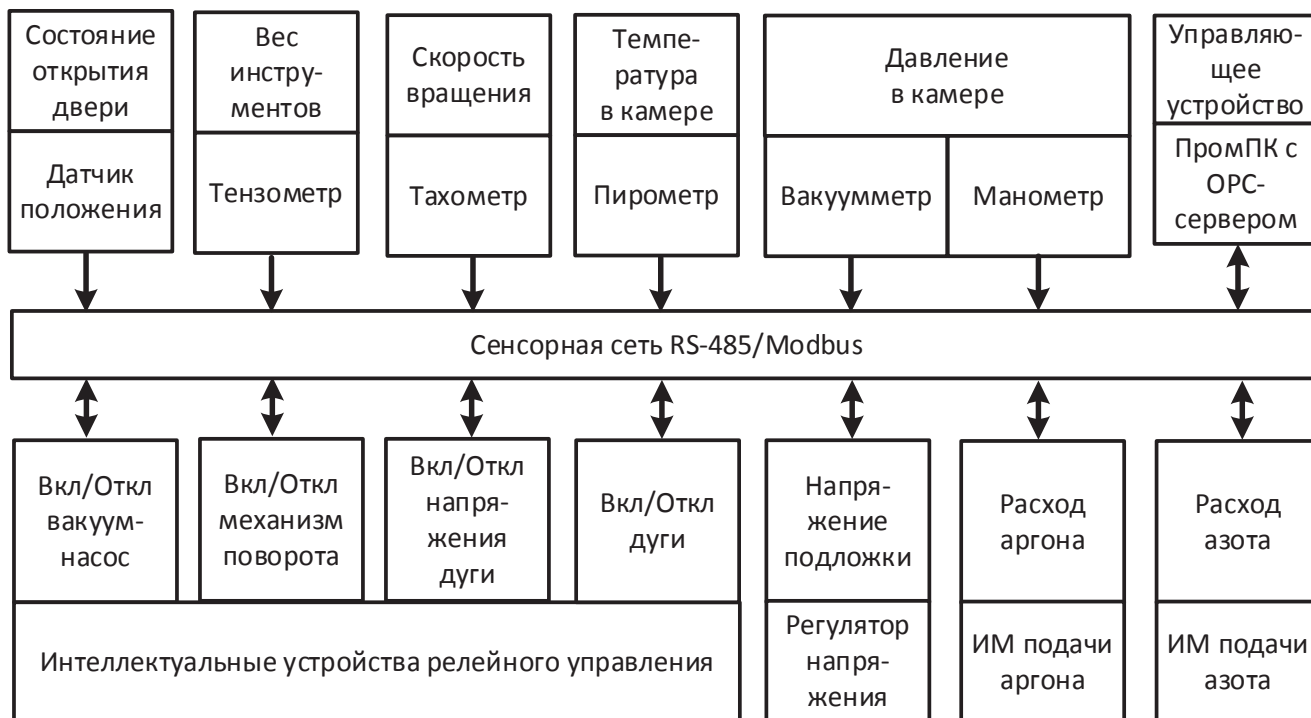


Рис. 2. – Структурная схема сенсорной сети системы автоматизации

Для реализации системы автоматизации требуется следующее функциональное программное обеспечение:

- OPC-сервер – используется для представления технического обеспечения системы автоматизации как множества структурных переменных (тегов) для удобства взаимодействия с программным обеспечением. Сервер должен иметь два режима работы: режим эмуляции и режим взаимодействия с реальной сенсорной сетью.
- Служба системы управления – используется для фонового управления технологическим процессом с помощью автоматических регуляторов, которые выполняют заданную программу. Реализуется в качестве службы операционной системы.
- Сервер баз данных – хранит таблицу доступных рецептов, историю предыдущих запусков SCADA, историю активности системы управления.
- Редактор рецептов – позволяет редактировать и создавать новые рецепты.
- SCADA – используется для автоматической реализации рецепта под контролем человека с представлением ему человеко-машинного интерфейса [8,9] и инструментов воздействия на процесс и анализа его хода после его проведения.

Также требуется имитационное программное обеспечение, которое включает все средства для отладки элементов системы управления и формирования рецепта с использованием имитационной модели технологического процесса:

- Имитационная модель установки – реализует возможность моделирования установки с заданными параметрами
- Программа для ручного управления установкой – позволяет изменять параметры OPC-сервера (показания датчиков и управляющие воздействия) напрямую в режиме эмуляции и взаимодействовать напрямую с



исполнительными механизмами установки для отладки работы сенсорной сети и OPC-сервера в реальном режиме.

- Программа для моделирования переходных процессов – используется для определения оптимальных параметров регуляторов при заданных параметрах инструмента и моделирования переходных процессов в заданном временном режиме.
- Программа для настройки регуляторов системы управления – позволяет изменять параметры регуляторов и отслеживать переходные процессы с регуляторами, а также читать отчет о работе системы управления. Может использоваться как для отладки системы автоматического управления в режиме симуляции, так и в реальном режиме.

Структурная схема информационного взаимодействия программ системы автоматизации показана на рис. 3.

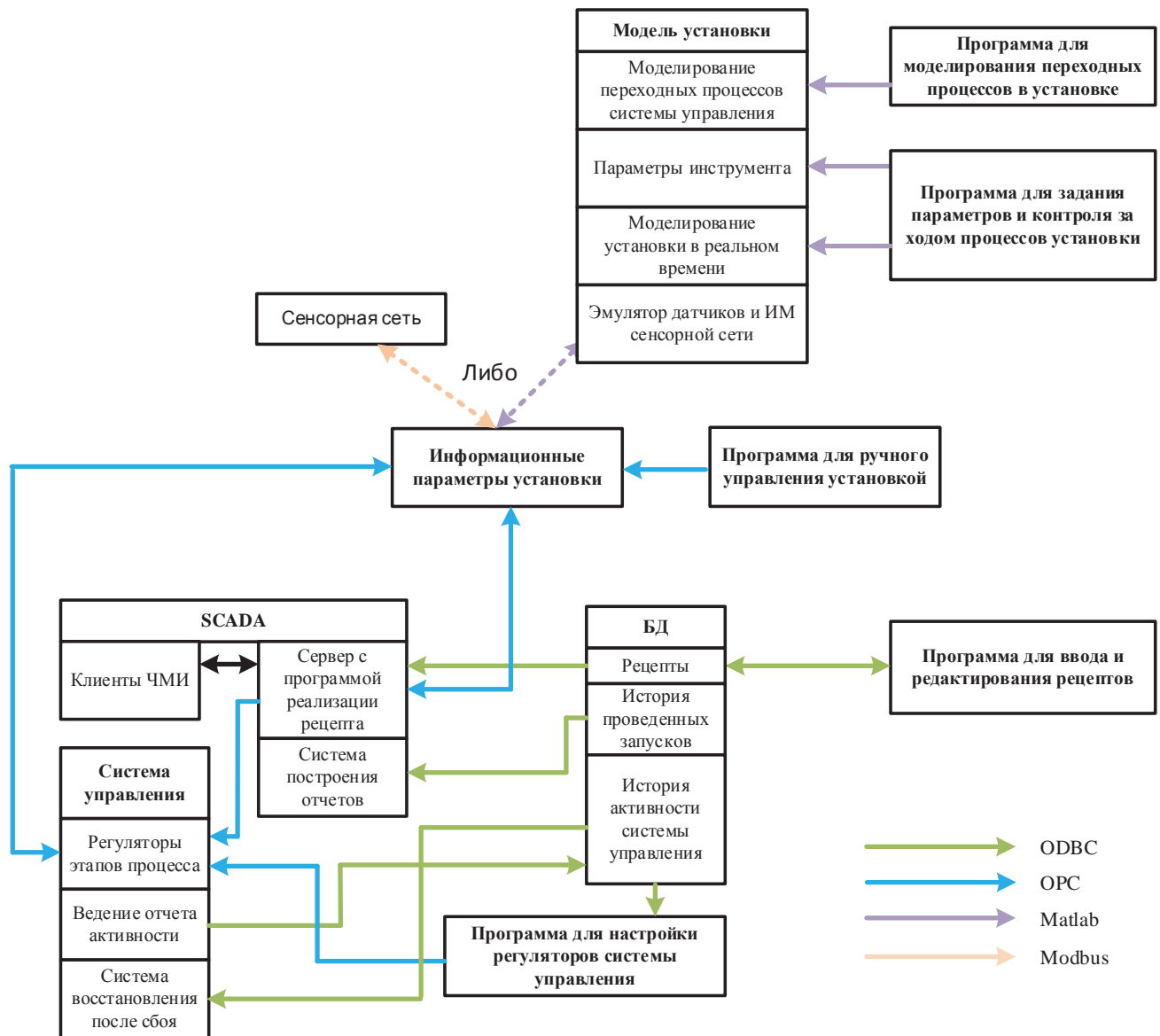


Рис. 3. – Структурная схема информационного взаимодействия программ системы автоматизации

Взаимодействие с базой данных проводится по стандартному для Windows протоколу ODBC. Взаимодействие между имитационным программным обеспечением реализуется с помощью программных интерфейсов Matlab.

Реализация функционального программного обеспечения системы автоматизации. В качестве OPC сервера в системе автоматизации будет использован сервер MasterOPC. Сервер имеет два файла настройки: для реального режима и для виртуального. Загрузка файла настройки определяет режим работы. OPC-сервер работает со следующими группами параметров:



- Датчики – состояние открытия двери, вес инструментов, давление в камере, температура в камере, скорость оборотов механизма поворота.
- Исполнительные механизмы – вкл/откл. вакуумного насоса, вкл/откл. механизма поворота, расход аргона, расход азота, вкл/откл. дуги, вкл/откл. питания дуги, напряжение подложки.
- Регуляторы – Регулятор температуры при очистке: вкл/откл, наличие ошибки, температура завершения процесса, требуемое время процесса, допустимый диапазон отклонения температуры, завершил выполнение.

Регулятор температуры при покрытии: вкл/откл, наличие ошибки, требуемое время процесса, задание, параметры ПИ-регулятора, допустимый диапазон отклонения температуры, завершил выполнение. Регулятор давления при покрытии: вкл/откл, наличие ошибки, требуемое время процесса, задание, параметры ПИ-регулятора, допустимый диапазон отклонения давления, завершил выполнение. Регулятор температуры при охлаждении: вкл/откл, наличие ошибки, температура завершения процесса, требуемое время процесса, параметры ПИ-регулятора, допустимый диапазон отклонения температуры, завершил выполнение. Коэффициент ускорения работы регуляторов (для отладки с имитационной моделью).

Служба системы управления реализуется на языке программирования Python. Для реализации службы используется библиотека ruwin32. Компиляция в исполняемый файл проводится с помощью утилиты pyinstaller. Для связи по протоколу OPC используется библиотека OpenOPC. Для связи с СУБД используется библиотека pyodbc. Поведение программы определяют значения тегов, указанные в соответствующей строке приведенного выше списка. Службная программа выполняет две функции: диагностическую (отслеживание наличия связи с OPC-сервером, сенсорной сетью, устройствами сенсорной сети, проверка корректности показаний, запущенной и адекватной работы сервера SCADA и СУБД, наличие запущенных клиентов SCADA, с каких компьютеров и под какими пользователями они запущены) и реализацию алгоритмов регулирования. Программа постоянно записывает результаты своего выполнения в БД и записывает ошибки своего выполнения в журнал событий операционной системы. В случае невозможности связи с СУБД результаты выполнения записываются в файл, содержимое которого переносится в БД при восстановлении связи. В случае ошибки связи с OPC-сервером, аварийной ситуации или ряда других ошибок программа воспроизводит звуковой сигнал для привлечения внимания оператора.

В качестве СУБД используется MS SQL Server Express. В силу того, что технологический процесс периодический и не имеет большого количества параметров, использование реляционной СУБД является допустимым. В СУБД присутствует таблица параметров рецептов, которая включает следующую информацию: ожидаемый вес инструментов, требуемое давление вакуума, требуемая скорость оборотов механизма, время ионно-плазменной бомбардировки (ИПБ), заданная желаемая температура в конце ИПБ, допустимое отклонение температуры в процессе ИПБ, время покрытия, номинальный расход аргона, номинальное напряжение подложки, параметры регулятора температуры при покрытии, параметры регулятора давления при покрытии, заданная скорость охлаждения, температура окончания процесса при охлаждении, параметра регулятора температуры при охлаждении, формулы для определения показателей качества, служебная информация о марке стали, типе и количестве инструментов. Также присутствует таблица записи сообщений системы управления и ряда разработанных сообщений, и таблица пользователей (операторов), которая, в частности, содержит данные для авторизации в SCADA системе.

При каждом запуске технологического процесса в СУБД создаются четыре новые таблицы, связанные с конкретным запуском: таблица общей информации о запуске (номер партии, оператор, использованный рецепт, партия, дата проведения, успешность или неуспешность проведения процесса, рассчитанные критерии качества), журнал технологических параметров (посекундная запись всех параметров технологического процесса), журнал сообщений SCADA-системы (код сообщения, текст сообщения, время появления и время подтверждения сообщения), журнал управляющих воздействий системы управления. Создание отдельных таблиц является более надежным, чем работа с одной или рядом больших постоянно заполняемых общих таблиц. Для связи с MES использованная СУБД имеет механизм представления и хранимых процедур, что позволяет обеспечить быструю интеграцию в случае необходимости.

Редактор рецептов представляет собой клиентскую программу, которая используется для визуального редактирования таблицы рецептов БД. Программа позволяет задать параметры рецепта и проводит проверку вводных данных. Все взаимодействие с программой фиксируется в таблице сообщений. Внешний вид диалогового окна редактора рецептов представлен на рис. 4.



Рис. 4. – Внешний вид окна редактора рецептов

В качестве SCADA используется Simple SCADA. SCADA реализует клиент-серверную архитектуру, ориентирована на взаимодействие только по протоколу OPC, легко интегрируется с СУБД MySQL и MS SQL Server. Разработанные интерфейсы отлично масштабируются под любое разрешение сенсорного экрана. Для улучшения качества отображения используются средства библиотек графической визуализации OpenGL и DirectX. Язык программирования SCADA – Free Pascal.

Серверная часть SCADA выполняется в фоновом режиме и выполняет ряд циклических задач: выполнение либо ожидание выполнения рецепта; диагностика состояния оборудования установки, обработка ситуаций с потерей связи; запись хода процесса в базу данных, формирование событий, информационных, предаварийных и аварийных сообщений.

Клиентская часть SCADA предусматривает возможность авторизации пользователей, поэтому каждый оператор или инженер выполняет работу под своими учетными данными. Кроме того, предусмотрен доступ для наблюдения, который проводится без требования пароля. Внешний вид работающего экрана в клиентском приложении, реализованного в Simple SCADA, показан на рис. 5. Разработка экранов ЧМИ с обоснованием их содержимого для SCADA проведена в работе [3]. В рассмотренной реализации ЧМИ оператора состоит из 4-х экранов: выбор рецепта, проведение процесса, коррекция параметров процесса, диагностика системы.

На экране выбора рецепта оператор должен выбрать необходимый рецепт. После выбора на экране отображаются параметры рецепта, которые оператор подтверждает. Также на экране необходимо задать индивидуальный номер партии.

Экран проведения процесса представлен на рис. 5. На рисунке показана технологическая ситуация выполнения первого этапа технологического процесса – ионно-плазменной бомбардировки (очистки). При нормальном течении процесса оператор должен наблюдать за ходом процесса с помощью этого экрана и реагировать на возникающие сообщения.



Упрощенная версия экрана проведения процесса без управляющих элементов доступна при входе в систему без авторизации. Выбранная SCADA позволяет обеспечить доступ к экрану как с помощью стандартного клиентского приложения для Windows, так и с помощью браузера.

Экран коррекции параметров рецепта используется оператором для оперативного изменения параметров рецепта как перед запуском процесса, так и для коррекции его хода в процессе работы. Все оперативные изменения рецепта фиксируются.

В случае возникновения аварийных или предаварийных ситуаций оператор должен приостановить ход процесса и использовать экран диагностики для ручного управления исполнительными механизмами установки.

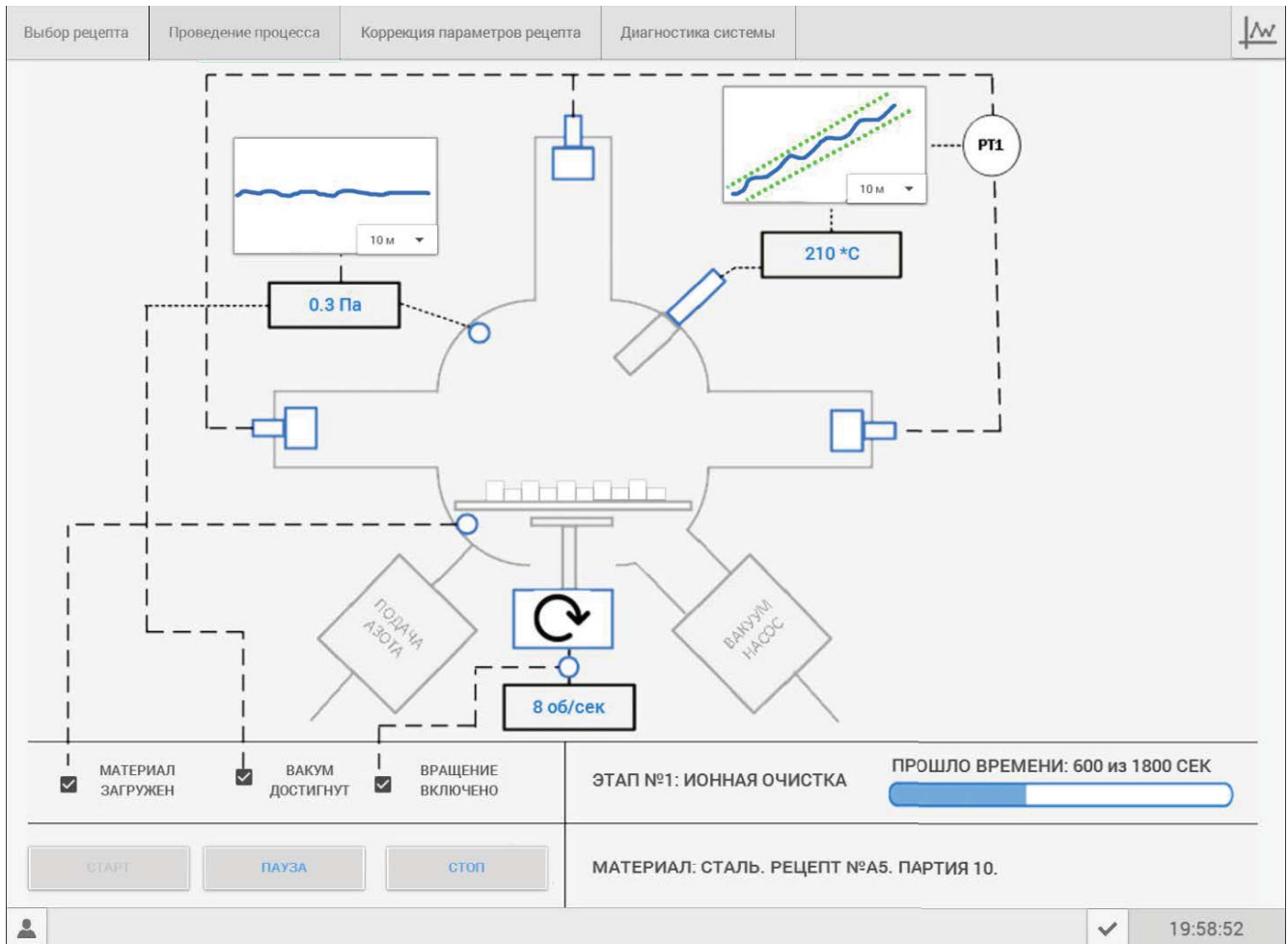


Рис. 5. – Внешний вид работающего экрана клиентского приложения SCADA

Реализация имитационного программного обеспечения системы автоматизации. Использование имитационной математической модели установки, поведение которой в реальном времени близко к поведению физической установки, позволяет достичь следующих результатов:

- 1) Разработка, усовершенствование и отладка программного обеспечения SCADA и системы регулирования может проводиться без материальных потерь
- 2) Задача определения оптимальных параметров рецепта для достижения требуемых качественных показателей при наличии корректной математической модели установки с заданными параметрами инструмента значительно упрощается, что приводит к снижению количества необходимых физически экспериментов.

Имитационная математическая модель представляет из себя программу с графическим интерфейсом, реализованную в Matlab, которая в реальном времени взаимодействует с системой управления и SCADA с помощью протокола OPC. Для этого OPC-сервер должен быть переключен в режим, когда теги не связаны с сенсорной сетью и их значения могут задаваться с помощью программного обеспечения (например, имитационная модель должна сформировать показания датчиков). Базой имитационной математической модели установки являются нелинейные уравнения динамики всех её процессов, разработанные в работе [2]. Алгоритмы имитационной модели позволяют реализовать поведения установки на разных этапах технологического процесса. Для этого перед выполнением



каждого этапа происходит проверка условий выполнения. Если условия не соблюдаются, то имитационное моделирование текущего процесса не проводится. Например, включение вакуум-насоса влияет на давление в камере только если закрыта крышка. В противном случае давление не изменяется. Внешний вид имитационной математической модели представлен на рис. 6.

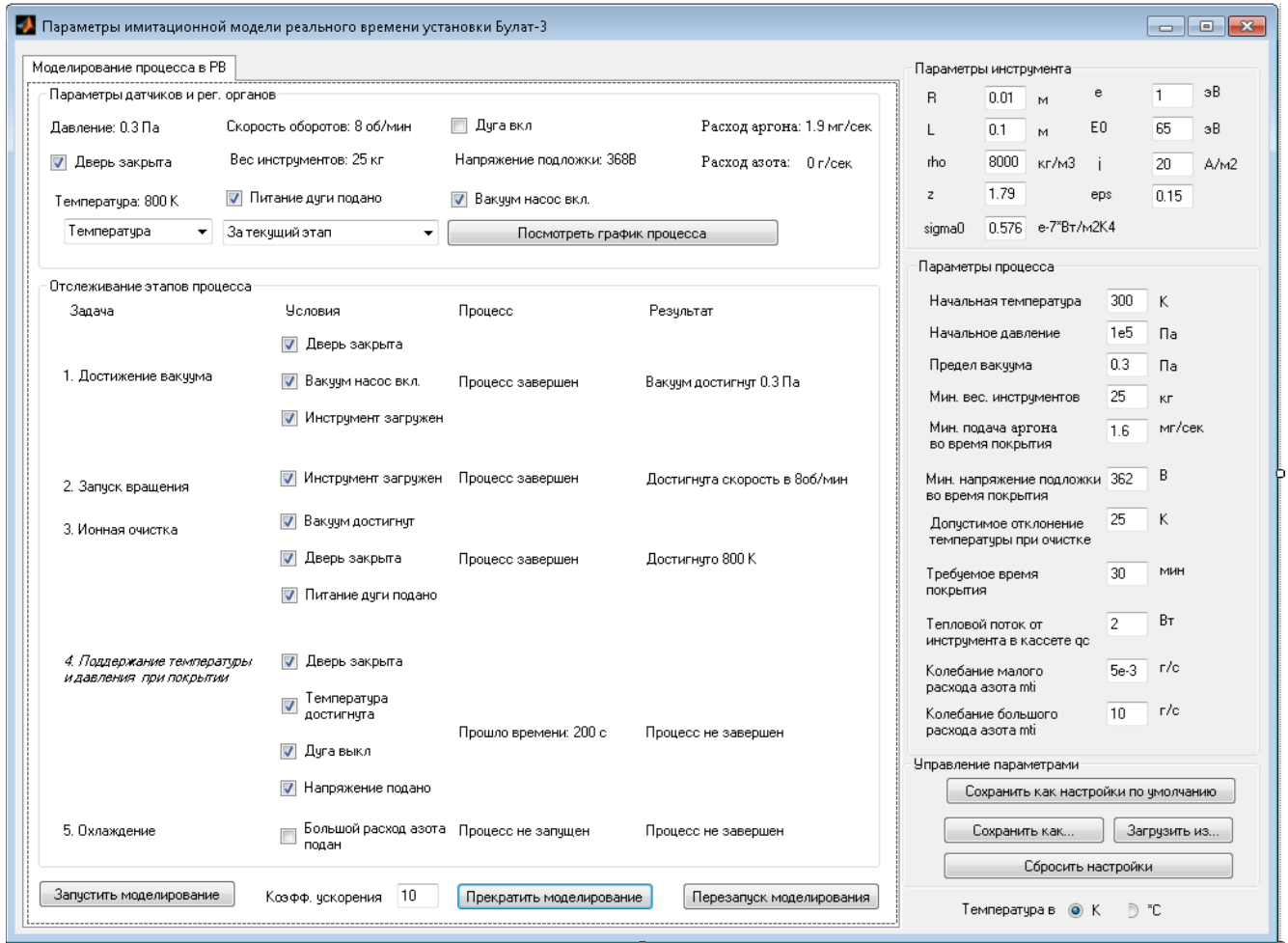


Рис. 6. – Внешний вид графического интерфейса имитационной программы установки

Графический интерфейс обеспечивает следующие возможности:

- 1) Задать параметры инструмента (радиус и длина цилиндра, плотность материала, плотность ионного тока, средняя кинетическая энергия ионов, средняя кратность заряда ионов, заряд электронов)
- 2) Задать стартовые параметра процесса, включая диапазон изменения возмущений систем регулирования.
- 3) Провести запуск, останов или перезапуск моделирования в реальном времени с заданным коэффициентом ускорения.
- 4) Отслеживать изменение этапов выполнения технологического процесса. На рис. 4 показан диалог в момент прохождения этапа покрытия. Текущий этап выделяется курсивом. Показано, что процесс начался, поскольку все требуемые условия выполнены и уже длится 200 секунд.
- 5) Отслеживать динамику изменения технологических параметров с помощью функции построения графиков переходных процессов
- 6) Сохранить текущие настройки в файл и загружать уже сохраненные настройки из файлов.

Программа для ручного управления установкой (рис.7) может быть использована как для управления реальной установкой без SCADA, так и для управления имитационной математической моделью. Программа избавляет от необходимости редактировать параметры OPC-сервера вручную.

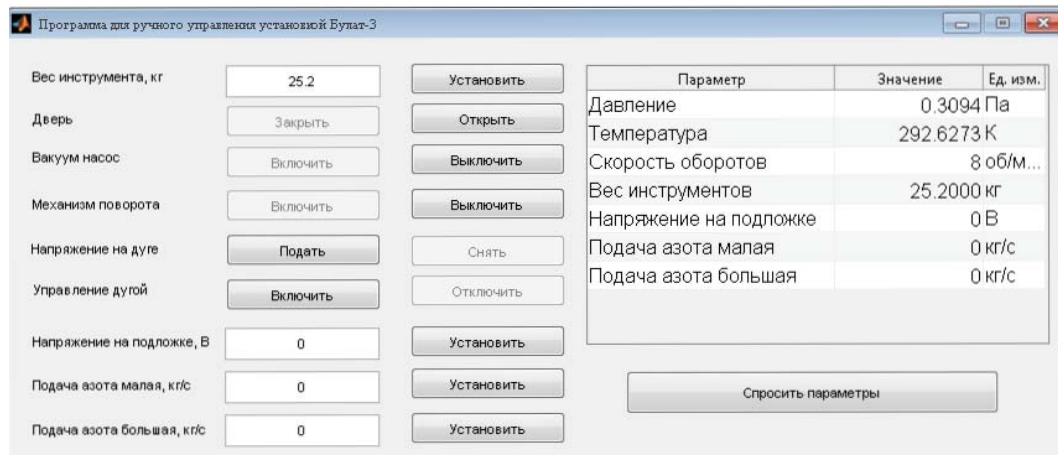


Рис. 7. – Внешний вид графического интерфейса программы ручного управления установкой

Программа для синтеза системы управления установки (рис. 8) позволяет определить оптимальные настройки регуляторов для модели с заданными параметрами. Кроме того, возможно провести моделирование переходных процессов с заданными возмущениями и построить графики переходных процессов. В процессе моделирования критерии качества оцениваются по заданным уравнениям, корректность которых возможно в дальнейшем сверить с показателями реальной продукции. Программа реализована с помощью Matlab.

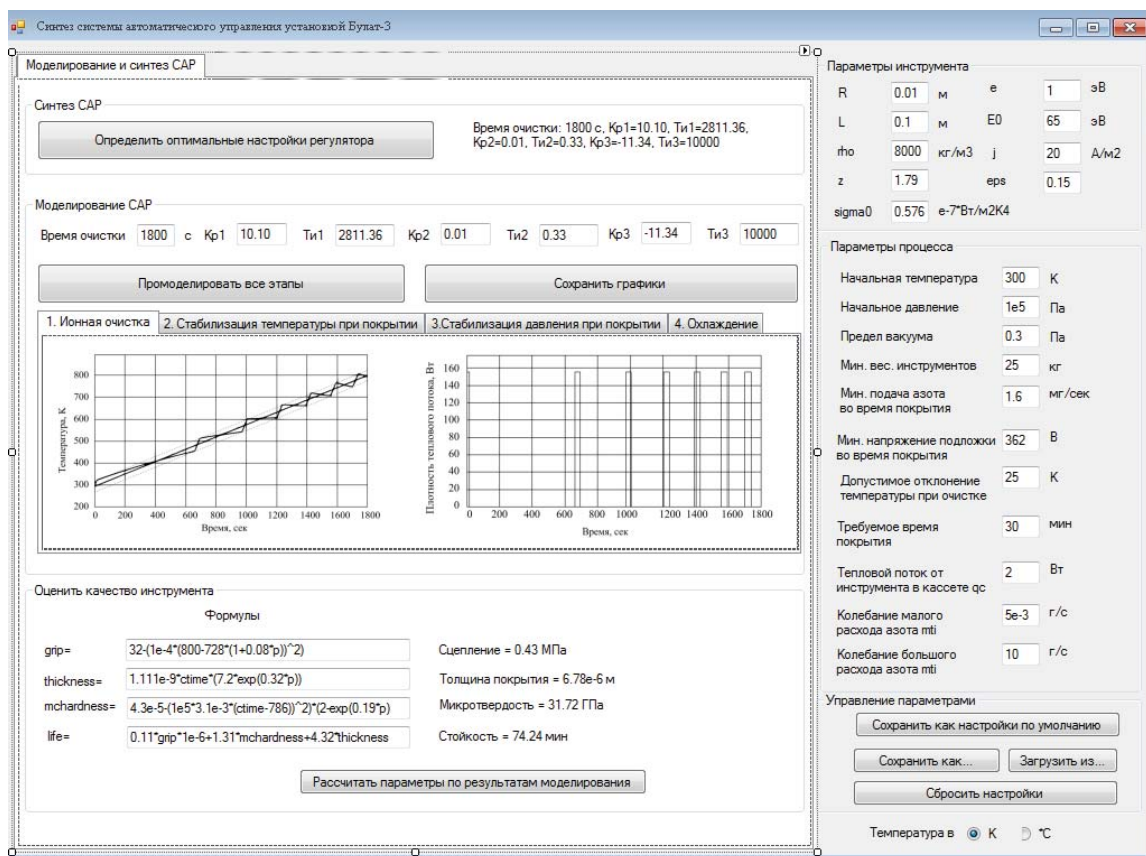


Рис. 8. – Внешний вид программы синтеза системы автоматического управления

Программа для настройки регуляторов системы управления позволяет без редактирования параметров OPC сервера напрямую изменять параметры регуляторов и наблюдать графики переходных процессов реальном времени. Также в программе реализована функция просмотра журнала работы системы регулирования, который сохраняется в базе данных.



Выводы. Разработана программно-техническая структура компьютерно-интегрированной системы автоматизации установки ионно-плазменного напыления «Булат». Большая часть установок этого типа эксплуатируется в рамках небольших специализированных предприятий, поэтому разработка и отладка новых рецептов часто становится задачей оператора. Разработанное решение по автоматизации позволяет упростить указанную задачу, поскольку включает специальные средства для имитационного моделирования установки в реальном времени, а также для синтеза и отладки системы автоматического управления для установки с заданными параметрами технологического процесса. Разработанная структура соответствует современным требованиям к системам автоматизации и построена по модульному принципу, что упрощает отладку её отдельных компонентов. Система автоматизации позволяет повысить качество обработки инструментов. Полученные результаты могут быть применены для разработки новых компьютерных систем управления ионно-плазменными установками.

Список использованных источников

- [1] Киркопуло К.Г. Разработка системы автоматизации ионно-плазменной установки// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали XVIII міжнар. наук.-техн. конференції, 8-13 червня 2018 р. Одеса. 2018. С.110-113.
- [2] Kurkopulo K., Tonkonogiy V., Stopakevych O., Stopakevych A. Design of a set of nonlinear control systems of the arc PVD ion plasma installation//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 2 (92). С. 65-74.
- [3] Киркопуло Е.Г. Разработка интерфейса оператора компьютерной системы автоматизации установки ионно-плазменного напыления// Автоматизация технологических и бизнес-процесов. 2018. №4 (20). С. 54-61.
- [4] Бодягин А. Автоматизированная система управления работой установки ионно-плазменного напыления в вакууме МАП-2// Современные технологии автоматизации. 2009. №3. С.52-56.
- [5] Przybylski J. Multilevel control system for low-pressure plasma processes// Problemy Eksploatacji. 2018. №. 3. С. 115-123
- [6] Шехтман С.Р., Исаев А.Р. Автоматизация выбора параметров технологического процесса нанесения защитного покрытия// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. №1(2). С.315-318.
- [7] Тонконогий В.М., Оборский Г.А. Работоспособность и надежность инструментов с износостойкими покрытиями // Труды Одесского политехнического университета. 1997. № 1 (7). С. 130-133.
- [8] Арабаджи А.Ф., Стопакевич А.А., Стопакевич А.А. Разработка современного человеко-машинного интерфейса в АСУТП на основе международных стандартов // Автоматизация технологических и бизнес-процесов. 2017. Т.10. №4. С.37-46.
- [9] Стопакевич А.О. Аналіз недоліків типової практики розробки комп'ютерних людино-машинних інтерфейсів промислових систем автоматизації// 72 науково-технічна конференція ОНАЗ ім. О.С. Попова, 13-15 грудня 2017. Одеса, 2017. С.45-47.

References

- [1] K. Kirkopulo, "Razrobotka systemy avtomatyzacyy yonno-plazmennoj ustanovky", in "Vymirjuvaljna ta obchysljuvaljna tekhnika v tekhnologichnykh procesakh": Materialy XVIII mizhnar. nauk.-tekhn. konferenciji, Odessa, 2018, pp. 110-113.
- [2] K. Kirkopulo, V. Tonkonogiy, O. Stopakevych and A. Stopakevych, "Design of a set of nonlinear control systems of the arc PVD ion plasma installation", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 292, pp. 65-74, 2018.
- [3] K. Kirkopulo, "Razrobotka interfejsa operatora komp'juternoj sistemy avtomatizacii ustanovki ionno-plazmennogo napylenija", *Avtomatyzacija tekhnologichnykh i biznes-procesiv*. No. 4(20), pp. 54-61, 2018.
- [4] A. Bodjaghyn. "Avtomatyzirovannaja sistema upravlenija rabotoj ustanovky yonno-plazmennogo napylenija v vakuumе МАП-2". *Sovremennye tekhnologhyy avtomatyzacyy*, no. 3, pp.52-56, 2009.
- [5] J. Przybylski. "Multilevel control system for low-pressure plasma processes", *Problemy Eksploatacji*. No. 3, pp. 115-123, 2018.
- [6] S.R. Shehtmam, A.R. Isaev. "Avtomatizacija vybora parametrov tehnohicheskogo processa nanesenija zashhitnogo pokrytija". *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2017. №1(2). pp.315-318.
- [7] V.M. Tonkonoghij, Gh.A. Oborskyj. "Rabotosposobnostj y nadezhnostj ynstrumentov s yznosostojkymy pokrytyjamy, Trudy Odesskoghо polytekhnycheskogho unyversyteta. No 1(7), pp. 130-133, 1997.
- [8] A.F. Arabadzhy, A.A. Stopakevych, A.A. Stopakevych. "Razrobotka sovremennoghо cheloveko-mashynnogho ynterfejsa v ASUTP na osnove mezhdunarodnykh standartov", *Avtomatyzacija tekhnologichnykh i biznes-procesiv*. No. 4(10), pp. 37-46, 2017.
- [9] A.O. Stopakevych. "Analiz nedolikov tipovoji praktyky rozrobky komp'juternykh ljudyno-mashynnykh interfejsiv promyslovykh system avtomatyzaciji" in *72 naukovо-tekhnichna konferencija ONAZ im. O.S. Popova*, 2017, pp.45-47.