

УДК 681.5

Ван Яньцян

Бакалавр, Костромской государственной университет

Россия, г. Кострома

**АРХИТЕКТУРНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Аннотация. В статье рассмотрены современные аппаратные и программные средства, применяемые при проектировании автоматизированных систем управления специальным технологическим оборудованием электронного машиностроения. Проанализированы особенности использования распределённых систем управления, открытых архитектур и программируемых логических контроллеров при автоматизации сложных технологических процессов. Особое внимание уделено вопросам повышения производительности, надёжности и гибкости систем управления в условиях усложнения технологических маршрутов производства микроэлектронных изделий. Рассмотрены перспективные направления развития, включая применение специализированных вычислительных устройств и виртуальных программируемых логических контроллеров. Возможности практического применения предложенных подходов проиллюстрированы на примере автоматизированной системы управления электронно-лучевым литографом. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и модернизации систем управления специальным технологическим оборудованием в электронной промышленности.

Ключевые слова: автоматизированная система управления; распределённая система управления; программируемый логический контроллер; электронное машиностроение; специальное технологическое оборудование

ARCHITECTURAL APPROACHES TO THE DESIGN OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR SPECIALIZED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN ELECTRONIC ENGINEERING

Yanqiang Wang

Bachelor's degree holder, Kostroma State University

Kostroma, Russia

Abstract. The paper addresses modern hardware and software solutions used in the design of automated control systems for specialized technological equipment in electronic engineering. The features of distributed control systems, open architectures, and programmable logic controllers applied to the automation of complex technological processes are analyzed. Particular attention is paid to improving system performance, reliability, and flexibility under increasing complexity of microelectronic manufacturing routes. перспективные development trends, including the use of specialized computing devices and virtual programmable logic controllers, are discussed. The applicability of the proposed approaches is demonstrated through a case study of an automated control system for an electron-beam lithography system. The results can be used in the development and modernization of control systems for specialized technological equipment in the electronic industry.

Keywords: automated control system; distributed control system; programmable logic controller; electronic engineering; specialized technological equipment.

Развитие отечественных технологий электронного машиностроения определяется федеральным проектом «Технологии производства электроники» и комплексной программой «Развитие электронного машиностроения на период до 2030 года», утверждёнными Правительством Российской Федерации [1]. В рамках указанных документов поставлены задачи по разработке более 100 единиц специального технологического оборудования, а также свыше 500 видов материалов, применяемых в производстве электронной продукции.

Существенное внимание уделяется созданию и развитию систем автоматизированного проектирования.

Специальное технологическое оборудование представляет собой сложные автоматизированные установки, функционирование которых обеспечивается автоматизированной системой управления. Такая система должна выполнять сбор, обработку и хранение информации, а также формировать управляющие воздействия в соответствии с заданным технологическим рецептом. При этом требуется обеспечить как безопасность эксплуатации оборудования, так и эффективность производственного процесса, определяемую производительностью и качеством выпускаемой продукции. Достижение указанных характеристик предполагает высокий уровень автоматизации как отдельных установок, так и производственных линий в целом, наличие логически согласованного и интуитивно понятного операторского интерфейса для выполнения технологических и сервисных операций, а также интеграцию оборудования в единый автоматизированный производственный цикл предприятия.

В настоящей работе проводится анализ современных аппаратных и программных средств, применяемых при проектировании систем управления специальным технологическим оборудованием. Рассматривается унифицированный подход к построению автоматизированных систем управления на основе технологий распределённых систем управления, который может быть использован при создании или модернизации оборудования электронного машиностроения. Предлагаются архитектурные и технические решения, а также формулируются рекомендации по их практическому применению.

Анализ аппаратных и программных средств.

Развитие технологий производства электроники сопровождается усложнением технологических процессов, ростом требований к алгоритмам управления и уровню автоматизации, а также увеличением числа сенсоров, управляющих сигналов и исполнительных механизмов. Эти факторы

обуславливают необходимость применения новых архитектурных решений при построении систем управления [2]. Наибольшее распространение в промышленности получили распределённые системы управления — программно-аппаратные комплексы, характеризующиеся распределённой системой ввода-вывода и децентрализованной обработкой данных. Первые промышленные решения данного класса были представлены в 1975 году и с тех пор получили широкое развитие и внедрение в различных отраслях промышленности [3].

Отечественные распределённые системы управления могут быть реализованы в виде открытых автоматизированных систем управления технологическими процессами. Идеология открытых систем предполагает модульный принцип построения, совместимость и взаимозаменяемость компонентов, а также возможность использования решений различных разработчиков без жёсткой привязки к конкретным производителям. В 2023 году в Российской Федерации была создана межотраслевая рабочая группа по развитию открытых автоматизированных систем управления технологическими процессами [4].

Создание унифицированной распределённой системы управления специальным технологическим оборудованием рассматривается как целесообразное направление развития электронного машиностроения [5]. Такой подход позволяет повысить эффективность разработки, производства и эксплуатации оборудования, а также сформировать единые требования к подготовке и обучению специалистов. Использование принципов распределённых систем управления приводит к представлению автоматизированной системы управления в виде многоуровневой иерархической структуры.

Нижний, или полевой, уровень включает контрольно-измерительные приборы и исполнительные механизмы, такие как датчики и электроприводы. Эти устройства обеспечивают измерение физических параметров

технологического процесса, реализацию управляющих воздействий и обмен информацией с вышестоящими уровнями системы управления.

Средний уровень представлен программируемыми логическими контроллерами, специализированными вычислительными устройствами и регуляторами. Контроллеры принимают информацию от полевого уровня, обрабатывают её в соответствии с заданными алгоритмами управления и передают управляющие команды исполнительным устройствам, а также передают данные на верхний уровень системы. Типовой цикл управления включает приём информации, анализ состояния процесса, формирование управляющих воздействий и их реализацию.

Верхний, диспетчерский, уровень предназначен для централизованного управления технологическими процессами изготовления продукции. На этом уровне осуществляется обработка массивов информации о функционировании оборудования и предприятия в целом, а также реализуется человеко-машинный интерфейс.

Отдельно выделяются уровень управления производственными процессами, реализуемый с использованием систем класса MES, и уровень планирования ресурсов предприятия, обеспечиваемый системами класса ERP. Эти уровни предназначены для координации производственных операций, распределения ресурсов и оптимизации деятельности предприятия.

Функциональные возможности программируемых логических контроллеров расширяются за счёт использования модулей дискретного и аналогового ввода-вывода, коммуникационных и питающих модулей, а также подключения внешних устройств через стандартные цифровые интерфейсы. Современные контроллеры представляют собой высокопроизводительные вычислительные системы с развитой сетевой инфраструктурой и способны обеспечивать частоту циклов управления, достаточную для большинства типовых технологических операций.

В то же время в электронном машиностроении встречаются задачи, требующие существенно более высокой производительности и временной

разрешающей способности. К таким задачам относится, например, управление электронным пучком в электронно-оптических системах литографических установок, где периоды выдачи управляющих сигналов и обработки входной информации находятся в микросекундном и наносекундном диапазонах. Для решения подобных задач применяются специализированные вычислительные устройства, построенные на базе микроконтроллеров или программируемых логических интегральных схем, которые совместно с программируемыми логическими контроллерами формируют контроллерный уровень распределённой системы управления.

В Российской Федерации разработкой и производством программируемых логических контроллеров занимаются ряд организаций, в том числе ООО «Производственное объединение ОВЕН», НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ и ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука» [6]. Отечественные контроллеры характеризуются поддержкой широкого набора промышленных протоколов, возможностью построения отказоустойчивых систем, использованием сертифицированных операционных систем реального времени и реализацией современных средств визуализации и сетевого взаимодействия. Программирование таких контроллеров осуществляется в интегрированных средах разработки, поддерживающих языки стандарта МЭК 61131-3.

В зарубежной практике в последние годы развивается концепция программно-определяемой автоматизации, в рамках которой получили распространение виртуальные программируемые логические контроллеры. Эти решения представляют собой программные компоненты, выполняемые на защищённых серверных платформах и функционально эквивалентные физическим контроллерам. Виртуальные контроллеры не заменяют полностью классические аппаратные решения, однако могут эффективно использоваться в составе комплексных распределённых систем автоматизации [7].

Производственные процессы в микроэлектронике включают последовательное использование различного специального технологического оборудования. Для управления, мониторинга и документирования таких

процессов применяются системы управления производством, обеспечивающие планирование операций, распределение ресурсов, контроль параметров технологических процессов и анализ данных на уровне предприятия.

В микроэлектронике широко используются стандарты SEMI, разработанные Международной ассоциацией производителей материалов и оборудования для полупроводниковой промышленности [8]. Эти стандарты регламентируют требования к аппаратной и программной составляющим технологического оборудования, а также к информационному взаимодействию между оборудованием и системами управления производством.

Применение предлагаемых подходов.

Принципы распределённых систем управления могут быть реализованы при создании автоматизированной системы управления электронно-лучевым литографом. В состав такой установки входят электронно-оптическая, вакуумная и механическая подсистемы. Электронно-оптическая подсистема обеспечивает генерацию и формирование электронного луча с заданными параметрами, вакуумная подсистема поддерживает требуемые значения давления в рабочих камерах, а механическая подсистема отвечает за перемещение координатного стола и транспортировку обрабатываемых объектов.

Система управления электронно-лучевого литографа включает совокупность вычислительных узлов, решающих специализированные функциональные задачи. Управление элементами электронно-оптической системы осуществляется путём подачи токов и напряжений, значения которых должны формироваться с высокой точностью, стабильностью и динамикой. Это позволяет обеспечить формирование топологического изображения с требуемым качеством и минимальными временными затратами.

Синхронизация работы всех подсистем осуществляется на автоматизированном рабочем месте оператора, которое обеспечивает загрузку файлов топологических данных, запуск технологических рецептов и контроль выполнения полного цикла формирования изображения.

Рассмотренная распределённая иерархическая система управления может быть использована для управления технологическими процессами в производстве изделий микроэлектроники. Предложенные технические и архитектурные решения, апробированные на примере электронно-лучевого литографа, могут быть применены при разработке автоматизированных систем управления специальным технологическим оборудованием электронного машиностроения.

Список источников и литературы

1. Без своего электронного машиностроения не будет суверенной микроэлектроники. Российский форум «Микроэлектроника». 2015-2024. Available at: https://microelectronica.pro/news/forum_plenarnoe_zasedanie_4_20231012 (дата обращения 20.12.2025).

2. Макеев А. С. Анализ АСУ ТП дожимной насосной станции в рамках процесса управления рисками ИБ. In: Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, 20-23 апреля 2016 г.). Чита: Молодой ученый; 2016, с. 9-15.

3. Automation Mall: online platform. Available at: <https://www.otomasyonavm.com> (дата обращения 20.12.2025)

4. Открытая АСУ ТП: межотраслевая рабочая группа. Available at: <https://openarc.ru/> (дата обращения 20.12.2025)

5. Ассоциация предприятий «Электронное машиностроение». Available at: <https://elmashrussia.ru/> (дата обращения 20.12.2025)

6. ОВЕН: оборудование для автоматизации. Available at: <https://owen.ru> (дата обращения 20.12.2025)

7. Hartner F., Fischer M. Software-defined automation: Part 1 - Living on the (industrial) edge. Siemens Blog. 17.09.2024. Available at: <https://blog.siemens.com/2024/09/software-defined-automation-part-1-living-on-the-industrial-edge/> (дата обращения 20.12.2025)

8. SEMI: Fostering global collaboration in the semiconductor industry. Available at: <https://www.semi.org/en> (дата обращения 20.12.2025)

