

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

А. Н. Салов¹, В. Н. Добрынин², А. А. Миловидова^{2,3,}*

¹ ООО «КСМК-М8», г. о. Сергиево-Посадский, Московская обл., Россия

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

³ Российский технологический университет МИРЭА, Москва, Россия

В условиях высокой неопределенности и сложности производственных процессов необходимы интеллектуальные системы управления. Многоагентные системы (МАС) обеспечивают гибкое и устойчивое управление через автономных программных агентов, координирующих действия на всех уровнях. Они позволяют динамически адаптироваться к сбоям, колебаниям спроса и нестабильности сырья, что обеспечивает быструю перенастройку и кастомизацию. Внедрение МАС демонстрирует повышение эффективности, масштабируемость и готовность предприятия к трансформации в «умную фабрику» Smart Factory, интегрируемую с ERP-системами.

Under conditions of high uncertainty and complexity in production processes, intelligent control systems are essential. Multi-agent systems (MAS) provide flexible and resilient management through autonomous software agents that coordinate actions across all levels. They enable dynamic adaptation to failures, demand fluctuations, and raw material instability, ensuring rapid reconfiguration and customization. The implementation of MAS demonstrates improved efficiency, scalability, and enterprise readiness for transformation into a Smart Factory, fully integrable with ERP systems.

PACS: 07.05.Mh

ВВЕДЕНИЕ

Современное промышленное производство сталкивается с беспрецедентными вызовами: растущей сложностью процессов, высокой рыночной неопределенностью, колебаниями спроса и жесткой конкуренцией. В этих условиях традиционные централизованные системы управления достигают предела своей эффективности, что обуславливает необходимость перехода к новым, интеллектуальным подходам [1]. Таким решением являются многоагентные системы (МАС), которые реализуют принципы распределенного интеллекта. Они обеспечивают не просто автоматизацию, а автономное принятие решений за счет координации

* E-mail: milanna@uni-dubna.ru

специализированных программных агентов на всех уровнях предприятия. Данная работа посвящена исследованию возможностей МАС для создания гибкой, устойчивой и адаптивной производственной системы, способной трансформировать предприятие в формат «умной фабрики».

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Многоагентная система представляет собой не просто набор программных модулей, а новую философию организации управления сложными, распределенными и динамическими процессами [2]. Ее фундамент составляют автономные программные агенты — интеллектуальные сущности, обладающие следующими ключевыми свойствами: автономность (способность функционировать без прямого вмешательства извне), реактивность (способность воспринимать окружающую среду и реагировать на ее изменения), проактивность (способность проявлять целенаправленное поведение и самостоятельно ставить задачи для достижения целей) и социальность (способность взаимодействовать с другими агентами через специализированный язык коммуникации).

В контексте производственного предприятия агентом может быть назначен программный модуль, отвечающий за управление отдельным станком с ЧПУ, роботизированной ячейкой, складским участком, логистическим потоком или даже за более абстрактные функции, такие как управление энергопотреблением или планирование производственных партий. Каждый агент обладает собственной целевой функцией (например, максимизацией пропускной способности участка, минимизацией энергозатрат, соблюдением временных окон) и локальной базой знаний о своем участке работы.

Главное преимущество такой архитектуры — децентрализация управления. В традиционной централизованной все данные стекаются в единый центр обработки, где принимается единственное оптимальное решение, которое затем доводится до исполнительных механизмов. Этот подход создает «узкое горлышко», уязвимое к сбоям и не способное оперативно реагировать на быстро меняющуюся ситуацию на нижних уровнях [3]. В МАС решения принимаются локально, на уровне агентов, которые лишь координируют свои действия с соседями. Это обеспечивает беспрецедентную устойчивость системы в целом. Выход из строя одного агента или добавление нового узла (например, ввод в эксплуатацию нового станка) является локальным событием и не приводит к коллапсу всей системы. Соседние агенты перестраивают свои связи и логику работы, компенсируя изменение.

Многие современные производства, такие как химическое, фармацевтическое или пищевое, характеризуются сложными, нелинейными технологическими цепочками, где десятки параметров взаимосвязаны. Изменение одного параметра нелинейно влияет на другие. МАС иде-

ально подходят для таких условий. Агенты, закрепленные за каждым параметром или технологической операцией, непрерывно мониторят свои показатели и посредством коммуникации с другими агентами динамически корректируют их, предотвращая каскадное накопление отклонений и выход процесса за критические рамки.

Колебания характеристик поступающего сырья — одна из главных причин брака и простоев [4]. Интеллектуальные агенты, получая данные от датчиков контроля качества на входе (например, спектрографов или хроматографов), могут заранее адаптировать параметры последующей обработки. Например, на предприятии по производству ячеистого бетона агент, анализирующий влажность и гранулометрический состав песка, может отправить сообщение агенту, управляющему дозатором воды, чтобы тот скорректировал рецептуру смеси. Это позволяет не просто бороться с последствиями, а проактивно нивелировать неопределенность на входе, существенно снижая уровень брака и повышая однородность продукции.

В условиях высокой конкуренции способность быстро перестраиваться с одного продукта на другой и минимизировать время переналадки является ключевым конкурентным преимуществом [5]. МАС позволяют реализовать концепцию «виртуального производства», где для запуска нового продукта не требуется физическая перестройка линий. Вместо этого агенты, ответственные за планирование и исполнение, моделируют новую виртуальную производственную цепочку, определяя, какие ресурсы и в какой последовательности должны быть задействованы. Они автономно согласуют между собой временные интервалы, перенастраивают программное обеспечение оборудования и обновляют маршруты перемещения полуфабрикатов. Это радикально сокращает время выхода на рынок для новой продукции. Аналогичным образом система реагирует на внезапные сбои: если агент одного станка сигнализирует о поломке, агенты планирования и логистики оперативно пересчитывают маршруты, перенаправляя заделы на другие доступные мощности, минимизируя общий простой.

Современный потребительский рынок требует все большей персонализации. Эра массового производства уступает место эре массовой кастомизации — выпуску продукции массовыми партиями, но под индивидуальные запросы. МАС являются технологическим инструментом этой концепции. Интеллектуальные агенты верхнего уровня, интегрированные с CRM- и ERP-системами, получают информацию об индивидуальных заказах. Они декомпозируют заказ на производственные задачи и передают их нижеуровневым агентам, которые гарантируют, что конкретная единица продукции проходит по цеху с нужными параметрами, упаковывается и маркируется в соответствии с персональными требованиями клиента. При этом агенты прогнозирования спроса, анализирующие исторические данные и рыночные тренды, могут дать рекомендации

по оптимизации объемов производства и уровней складских запасов, снижая риски перепроизводства и логистические издержки.

Внедрение МАС — это не создание изолированного «островка» автоматизации, а интеграция в единый цифровой ландшафт предприятия. Это реализуется через «горизонтальную» и «вертикальную» интеграцию [6].

«Горизонтальная» интеграция подразумевает взаимодействие агентов внутри одного уровня, но различных функциональных зон (например, агент склада согласует отгрузку с агентом транспорта и агентом производства).

«Вертикальная» интеграция обеспечивает сквозной поток данных и управляющих воздействий от сенсоров на оборудовании через агентов управления технологическими процессами к агентам корпоративного планирования в ERP-системах. Это создает целостный цифровой двойник всего производства, который обновляется в реальном времени.

Следующим эволюционным шагом в развитии МАС является внедрение технологий машинного обучения (ML) и предиктивной аналитики. Агенты могут быть наделены способностью к самообучению, трансформирующей их из реактивных систем в проактивные [7].

Предиктивное обслуживание: агент анализирует данные с датчиков механических узлов, учится распознавать состояния, предшествующие отказу, и инициировать обслуживание до того, как произойдет поломка.

Предиктивное планирование и оптимизация: агенты-планировщики, использующие методы ML, могут прогнозировать колебания спроса с высокой точностью, принимая во внимание сезонность, макроэкономические показатели и даже данные из социальных сетей. Это позволяет перейти от реактивного управления запасами к стратегическому, минимизируя «замороженный» капитал в складах.

Таким образом, МАС развились от системы оперативного управления до когнитивной платформы, способной не только управлять текущими процессами, но и предвидеть будущие события, оптимизируя всю производственную деятельность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход к интеллектуальному управлению на основе многоагентных систем является не опциональным трендом, а стратегической необходимостью для промышленных предприятий, стремящихся сохранить конкурентоспособность в XXI в. МАС предлагают сдвиг парадигмы — от жесткой, реактивной модели управления к гибкой, проактивной и адаптивной экосистеме. Как показало внедрение на предприятии по производству ячеистого бетона, такие системы являются масштабируемыми, интегрируемыми и готовыми к работе в условиях высокой изменчивости среды. Объединяя координацию коллективной деятельности агентов с предиктивными возможностями машинного обучения, предприятия могут

достичь нового уровня устойчивости, эффективности и потребительской ориентации, реализовав концепцию Industry 4.0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Р. А., Абдикеев Н. М., Шахназаров М. М. Производственные системы с искусственным интеллектом. М.: Радио и связь, 1990. 264 с.
2. Бурков В. Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. Д. А. Новикова. М.: Либроком, 2009. 264 с.
3. Добрынин В. Н., Миловидова А. А. Интеллектуальное управление социотехническими системами в условиях информационной неопределенности // Всерос. семинар с междунар. участием «Искусственный интеллект, когнитивное моделирование и интеллектуальная робототехника», Дубна, 13–17 мая 2019 г.
4. Миловидова А. А. Формирование нечеткой системы оценки для системы поддержки принятия решений при управлении процессом переработки в условиях неопределенности информации о качестве материала // Прикасп. журн.: управление и высокие технологии. 2020. № 1. С. 33–48.
5. Добрынин В. Н., Миловидова А. А. Интеллектуальное управление качеством технологических процессов в промышленности // VI Междунар. мультидисциплинар. конф. «Актуальные проблемы науки XXI века», Москва, 30 янв. 2016 г.
6. Добрынин В. Н., Эндерев В. А., Миловидова А. А. Методология моделирования управления качеством дискретно-непрерывных технологических процессов на основе событийно-имитационного мультиагентного подхода // V Междунар. науч.-практ. конф. «Современные концепции научных исследований», Москва, 29–30 авг. 2014 г.
7. Казаринов Л. С., Шнайдер Д. А., Барбасова Т. А. Многослойный подход к модельно-упреждающему управлению технологическим процессом // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2016. Т. 16, № 1. С. 137–144.