

УДК 004.9

КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Валеев В.Т., студент гр. мТП401о, II курс

Научный руководитель: Коложвари Ю.Б., к.э.н., доцент

Новосибирский государственный университет экономики и управления,
г. Новосибирск

Понятие «компьютерно-интегрированное производство» (СІМ) принадлежит к тому классу терминов, чья долгая жизнь в профессиональном обороте обернулась против них же самих. Войдя в инженерный лексикон еще в 1980-х годах, за прошедшие десятилетия оно приобрело настолько размытые очертания, что попытка дать ему операциональное определение наталкивается скорее на набор идеологических постулатов, нежели на непротиворечивую архитектурную модель. Речь, как правило, идет о стремлении ликвидировать фундаментальный разрыв между контурами стратегического планирования и исполнительными уровнями — тем самым разрывом, который с момента появления числового программного управления так и не удалось устранить окончательно.

В классической трактовке СІМ рассматривается не столько как технологический комплекс, сколько как стратегия управления целостностью жизненного цикла изделия. Постулируется, что все этапы — от проектного задания до послепродажного сопровождения — должны быть замкнуты единым информационным контуром. Однако именно здесь обнаруживается первое системное противоречие. Расширение контура интеграции неизбежно ведет к гипертрофии управляющих подсистем, причем каждая новая надстройка, будь то модуль MES или очередной контур планирования, создает дополнительные интерфейсы, требующие согласования. Практика показывает: нередко внедрение таких систем решает локальные учетные задачи, но одновременно порождает «цифровые заторы» на уровне операторского персонала, работающего со станками с ЧПУ. Время, сэкономленное на передаче данных между отделами, начинает теряться на интерфейсах «человек — система управления».

Долгое время архитектурной основой для подобных решений служила модель СІМ-OSI, предполагавшая стратификацию производственных процессов по аналогии с семиуровневой моделью компьютерных сетей. В телекоммуникационной сфере этот подход доказал свою состоятельность. В металлообработке, сборочных производствах и других дискретных отраслях ситуация оказалась иной. Строгая вертикальная иерархия, где каждый вышестоящий уровень директивно задает параметры нижестоящему, демонстрирует низкую устойчивость к стохастическим возмущениям, характерным для реального производственного цикла. Брак, внеплановая

замена инструмента, отклонения в свойствах материала — эти факторы, не поддающиеся полной детерминизации, разрушают логику интеграции, выстроенную на верхних уровнях. Возникает обратная зависимость: чем выше степень жесткой вертикальной интеграции, тем ниже адаптивность системы к нештатным ситуациям.

Трансформация подходов, наблюдаемая в последнее десятилетие, связана с переходом к концепции киберфизических систем. По сути, речь идет об эволюции CIM, но с изменением базовой философии: отказ от централизованной вычислительной модели в пользу распределенной агентности. Интеллектуальные датчики, периферийные контроллеры и сами станки с ЧПУ приобретают способность к локальному принятию решений, ранее закрепленному за центральным планировщиком. Такая децентрализация порождает новую проблемную область: обеспечение интеграции в условиях, когда каждый элемент системы обладает собственной логикой поведения. Вопрос о том, каким образом достигается согласованность состояний распределенных узлов без жесткой субординации, сегодня находится в фокусе инженерных исследований.

Семантическая совместимость остается «ахиллесовой пятой» компьютерно-интегрированных производств. Форматы обмена данными, в частности стандарты STEP (ISO 10303), были разработаны для обеспечения сквозной передачи геометрической и технологической информации. Однако на практике реализация безбумажного маршрута изготовления детали требует такого количества промежуточных преобразователей и постпроцессоров, что его устойчивое промышленное применение ограничивается узким кругом высокомаржинальных отраслей — авиастроением, производством аэрокосмической техники, где стоимость ошибки оправдывает содержание штата интеграторов. В сегменте среднего машиностроения преобладает так называемая «лоскутная автоматизация», при которой системы класса ERP функционируют в относительной изоляции от оборудования, объединенного в локальные сети, но не включенного в единый контур управления.

Если рассматривать CIM в инвестиционной плоскости, картина утрачивает однозначность. Затратная часть поддается калькуляции: лицензионные платежи, обновление парка оборудования, повышение квалификации персонала. Эффективная часть, напротив, распределена во времени и не поддается прямой количественной оценке. Более того, сокращение времени переналадки на определенный процент может быть нивелировано ростом простоев, обусловленных сбоями в работе интеграционной шины. Показательный феномен — «эффект монолита», когда предприятие сознательно выбирает единого вендора для всех уровней автоматизации (Siemens, Rockwell Automation и др.). Такое решение снижает технические риски сопряжения разнородных компонентов, но порождает риски экономические: предприятие оказывается привязано к ценовой политике поставщика, а смена экосистемы становится затруднительной. Альтернативный путь — построение интеграции на открытых протоколах

(OPC UA, MQTT) — требует наличия кадров, способных работать с гетерогенными средами, что для большинства промышленных предприятий является ограничивающим фактором.

Отдельную проблематику составляет взаимодействие с устаревшими основными фондами. Заводы, изначально спроектированные под концепцию CIM («зеленые поля»), составляют незначительную долю. В подавляющем большинстве случаев приходится иметь дело с эволюционно сложившимся парком оборудования, включающим станки с ЧПУ 1990-х годов с интерфейсами, не поддерживающими современные стеки протоколов, и контроллерами, не предназначенными для работы в распределенных системах.

Интеграция такого оборудования неизбежно требует создания промежуточных шлюзов, осуществляющих трансляцию протоколов (Modbus, PROFIBUS и др.) в OPC UA. Каждый такой шлюз вносит дополнительную задержку (latency) и создает дополнительные точки отказа, наличие которых в проектной документации часто нивелируется. В итоге вместо единой интегрированной системы формируется симбиоз, чья надежность определяется наиболее уязвимым звеном. Это порождает вопрос, находящийся на границе инженерной этики и управленческого консалтинга: насколько правомерно позиционировать такую систему как «цифровое производство», если часть оборудования физически не способна предоставлять данные о собственном состоянии в реальном масштабе времени без установки сторонних измерительных комплексов.

В эволюции вычислительной архитектуры CIM прослеживается обратный тренд. Если в 2000–2010-е годы доминировала тенденция консолидации данных в корпоративных дата-центрах и облачных платформах, то в настоящее время наблюдается смещение в сторону периферийных (edge) вычислений. Производственные системы продемонстрировали низкую толерантность к задержкам передачи данных, рискам разрыва каналов связи и требованиям промышленной безопасности, исключающим остановку технологического процесса из-за отказа централизованных узлов обработки. В результате критические функции управления возвращаются на нижние уровни.

В контексте CIM это означает трансформацию самого понятия интеграции. Она интерпретируется уже не как централизованный сбор и обработка всех данных, а как обеспечение согласованного состояния распределенных вычислительных узлов. Современные станки с ЧПУ представляют собой не просто исполнительные устройства, а полноценные вычислительные комплексы с собственными операционными системами, допускающие развертывание агентных приложений. Если ранее инженер по автоматизации разрабатывал логику для центрального контроллера, то теперь его задача заключается в настройке взаимодействия между множеством «умных» устройств, каждое из которых обладает локальной автономией. Это требует компетенций, выходящих за рамки традиционной подготовки специалистов в области программируемых логических контроллеров и

приближающихся к профилю системных администраторов распределенных сетей.

Роль человеческого фактора в компьютерно-интегрированных производствах также претерпевает изменения. Распространенное представление о том, что автоматизация ведет к вытеснению человека, не подтверждается наблюдениями. Меняется функционал: оператор превращается в «дирижера» гетерогенной среды, ключевая компетенция которого заключается не в настройке отдельного станка, а в диагностике ошибок на стыках между различными подсистемами — например, между PLM-системой и контроллером роботизированного комплекса. Парадоксальным образом обслуживание высокоинтегрированных систем требует специалистов с кругозором, который зачастую шире, чем у проектировщиков этих систем, что создает дефицит на рынке труда и ставит под сомнение экономическую целесообразность тотальной интеграции для предприятий, не способных обеспечить соответствующий уровень кадрового сопровождения.

Подводя итог, следует признать, что концепция компьютерно-интегрированных производств переживает этап пересмотра фундаментальных оснований. Идея тотальной интеграции, восходящая к эпохе централизованных вычислительных систем, уступает место моделям управляемого взаимодействия гетерогенных объектов. Наиболее вероятным направлением развития представляются гибридные архитектуры, сочетающие жесткую иерархию планирования, необходимую для экономической координации, с самоорганизующимися средами на уровне производственных ячеек.

Вопрос о критериях отнесения той или иной системы к классу CIM — наличие единой базы данных, способность к самооптимизации в реальном времени или простота реализации сквозных информационных потоков — остается открытым. Ответ, по-видимому, будет различаться в зависимости от типа производства, масштаба предприятия и структуры сложившихся фондов. Более того, существует риск подмены целевой функции: в погоне за атрибутами «интегрированности» упускается из виду конечная цель — обеспечение предсказуемой себестоимости и стабильного качества продукта. В тех случаях, когда традиционные методы управления (например, маршрутные карты на бумажных носителях) достигают этих целей с меньшими затратами и рисками, вопрос о необходимости тотальной интеграции из технической плоскости переходит в плоскость управленческих решений, которые, как известно, не всегда диктуются логикой технологического оптимума.

Список литературы:

1. Васильев Д. А. Компьютерно-интегрированные производственные системы: принципы построения и управления / Д. А. Васильев. — Москва: Машиностроение, 2021. — 412 с.
2. Григорьев С. Н. Цифровое производство: архитектура и внедрение СИМ-систем / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 384 с.
3. Золотарев И. И. Интеграция ERP и MES-систем в компьютерно-интегрированном производстве / И. И. Золотарев. — Екатеринбург: УрФУ, 2023. — 296 с.
4. Маслов А. В. Промышленный интернет вещей как основа компьютерно-интегрированных производственных систем / А. В. Маслов, Т. Ю. Петрова. — Москва: ИНФРА-М, 2024. — 352 с.
5. Халиуллин Р. Р. Моделирование и оптимизация компьютерно-интегрированных производственных систем / Р. Р. Халиуллин. — Казань: КНИТУ, 2021. — 318 с.