

Список литературы

1. Стратегия цифровой трансформации ПАО «Газпром» [Электронный ресурс]. – URL: <https://globalcio.ru/upload/iblock/1db/1db7627c176618bd567da3c3f73256ae.pdf> (дата обращения: 20.11.2023).
2. Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <https://d-russia.ru/strategiya-razvitiya-informatsionnogo-obshhestva-2030-osnovnye-svedeniya.html> (дата обращения: 20.11.2023).
3. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (дата обращения: 20.11.2023).
4. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 № 149-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/ (дата обращения: 20.11.2023).
5. Оценка цифровой зрелости Счетной палаты [Электронный ресурс]. – URL: <http://cpur/operational/ocenka-czifrovoi-zrelosti-organizacii-na-primere-shetnoy-palaty-rossijskoj-federazii-2> (дата обращения: 20.11.2023).
6. Брусакова И.А. Имитационное моделирование бизнес-процессов для цифровых двойников // Петербургский экономический журнал. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. – № 1. – С.51–62.

УДК 004.896

doi:10.18720/SPVPU/2/id24-53

Шошков Николай Олегович,

руководитель департамента исследований и разработок,
канд. техн. наук

КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЦЕПИ ПОСТАВОК ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Россия, Санкт-Петербург, общество с ограниченной ответственностью
«Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус»,
n.shoshkov@hyundai-motor.ru, nikolay@shoshkov.com

Аннотация. Предложен перечень из девяти основных видов прикладных корпоративных информационных систем, необходимых для реализации концепции цифрового двойника цепи поставок дискретного производства для разных уровней. Цифровой двойник четвертого и пятого уровня является перспективной информационной технологией для мониторинга и управления производственным предприятием. Для реализации цифрового двойника четвертого уровня необходимо создать системы имитационного моделирования в реальном времени и интегрировать их с MES-системами. Для реализации цифрового двойника пятого уровня необходимо создать MES-системы нового поколения, имеющие в своем составе технологии искусственного интеллекта.

Ключевые слова: цифровой двойник производственного процесса, MES-системы, Индустрия 4.0, Индустрия 5.0.

Nikolay O. Shoshkov,

Head of R&D Department, Candidate of Technical Sciences (PhD)

CORPORATE INFORMATION SYSTEMS FOR CREATING A DIGITAL TWIN OF THE DISCRETE PRODUCTION SUPPLY CHAIN

LLC “Hyundai Motor Manufacturing Rus”, St. Petersburg, Russia,
n.shoshkov@hyundai-motor.ru, nikolay@shoshkov.com

Abstract. The list of nine main types of applied corporate information systems is proposed, which are necessary for the implementation of the digital twin concept of the discrete production supply chain of different levels. The digital twin of the fourth and fifth levels is a promising information technology for monitoring and managing a manufactory. To implement a digital twin of the fourth level, it is necessary to create real-time simulation systems and integrate them with MES systems. To implement a digital twin of the fifth level, it is necessary to create a new generation of MES systems that include artificial intelligence technologies.

Keywords: digital twin of the production process, MES systems, Industry 4.0, Industry 5.0.

Введение

Технологии имитационного моделирования и цифровых двойников, являясь одними из фундаментальных элементов концепции четвертой «промышленной революции» Industry 4.0 [1], продолжают свое развитие и совершенствование в рамках наступающей пятой «промышленной революции» Industry 5.0, ключевой идеей которой является «повышение эффективности производства путем создания персонализированных продуктов, способных удовлетворить требования клиентов» [2, 3]. Для достижения этой цели необходимо совершенствовать системы управления и мониторинга цепей поставок, начиная от поставщиков сырья, продолжая у потребителей и заканчивая ее утилизацией для повторного использования в рамках развития «биоэкономики» и Industry 5.0 [4].

В работах [5, 6] был предложен подход к созданию цифрового двойника производственного процесса для организации информационно-управляющего взаимодействия в логистической цепи дискретного производства (далее ЦДПП), который позволяет разрешать конфликт интересов между участниками цепи поставок дискретного производства, использующими современные корпоративные информационные системы: для управления спецификацией продукции (BOM — Bill of Materials), календарного планирования (APS — Advanced Planning & Scheduling), производственного планирования (MRPII — Manufacturing resource planning) и производственного контроля (MES — Manufacturing Execution System).

Под ЦДПП [5, 6] понимается программно-аппаратный комплекс, состоящий из:

– **цифрового двойника-прототипа** производственного процесса, т. е. комплекса дескриптивных моделей, описывающих элементы проектируемого производственного процесса, связи между ними и порядок их функционирования, и нормативных моделей, описывающих целевые функции участников с учетом степени информированности и используемой стратегии;

– **цифрового двойника-экземпляра** производственного процесса, описывающего существующий производственный процесс, на основе комплекса дескриптивных и нормативных моделей двойника-прототипа и данных о фактическом состоянии производственного процесса, полученных по каналам и средствам связи от сенсоров, установленных внутри производственного процесса;

– **цифрового двойника-агрегатора**, который представляет собой объединение всех остальных двойников (и прототипов, и экземпляров), позволяющее моделировать различные варианты информационно-управляющего взаимодействия.

ЦДПП позволяет реализовать информационно-управляющее взаимодействие в автоматическом или автоматизированном режиме как между подсистемами производственного процесса с заданным интервалом времени, так и между ЦДПП смежных предприятий в логистической цепи.

В рамках этого подхода предложено понятие уровня ЦДПП характеризующего степень автоматизации информационно-управляющего взаимодействия внутри производственного процесса. Предлагается использовать 5 уровней: от начального или первого (минимальный набор программ и средств) до высшего или пятого (полностью автоматизированное управление производственным процессом). При этом значение уровня может быть равно нулю, что означает отсутствие автоматизации.

В настоящей работе предлагается перечень основных классов прикладных корпоративных информационных систем (КИС), которые необходимо использовать для управления цепью поставок производственным предприятием, его поставщиками и клиентами, чтобы при этом был реализован ЦДПП разных уровней (от 1 до 5) [5, 6].

1. Постановка задачи

1.1. Описание цепи поставок дискретного производства

На рисунке 1 показана цепь поставок дискретного производства на примере производства легковых автомобилей. Она включает в себя 7 основных уровней: клиенты, дилеры, дистрибьютеры, производитель, поставщики 1-го и 2-го уровня, поставщики сырья и материалов.

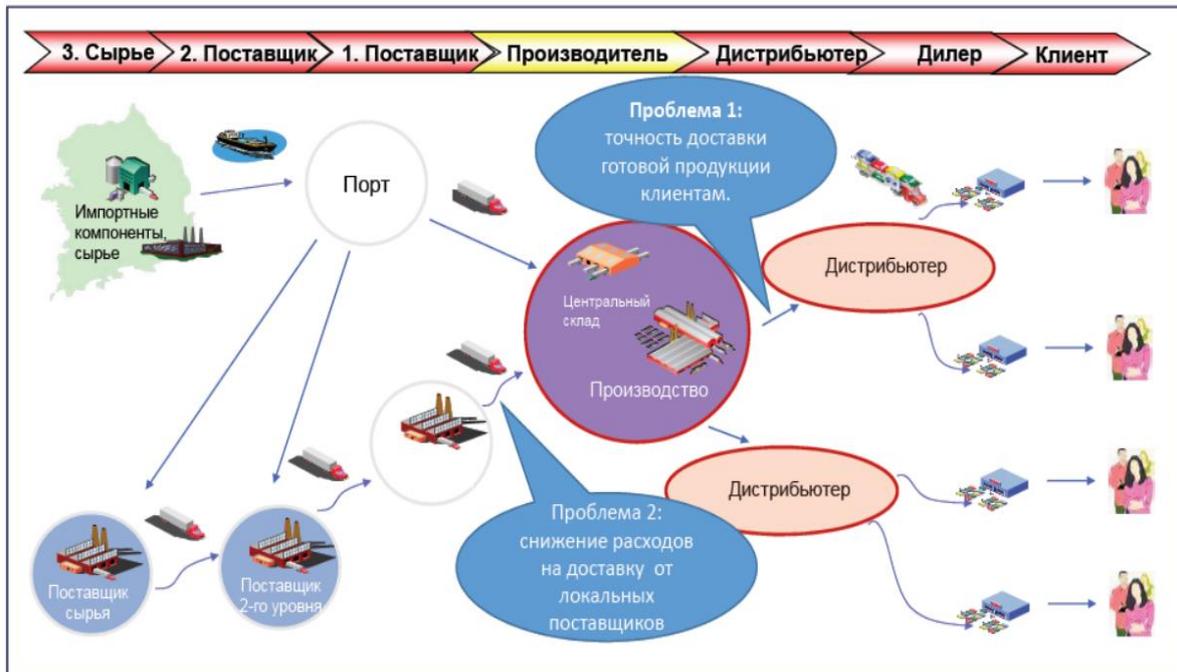


Рис. 1. Цепь поставок дискретного производства

Центральным звеном в цепи является автосборочный завод, так как в нем концентрируются информационные и материальные потоки. Под информационными потоками понимаются результаты постоянного процесса по обработке с помощью корпоративных информационных систем различных прогнозов, планов, заказов и спецификаций на производимую продукцию, расчет потребностей в сырье и комплектующих на заданные периоды времени.

На рисунке 2 показана модель цепи поставок с точки зрения движения информационных и материальных потоков для случая «вытягивающей» (от англ. “Pull”) цепи поставок. Каждый элемент цепи поставок на уровне материального потока можно представить в виде системы из трех базовых элементов: склад с сырьем и компонентами, центр обработки, склад с готовой продукцией.

На уровне информационного потока также происходят однотипные процессы: предшествующий элемент (на рис. 2 — дистрибьютер) в момент времени T_3 формирует для последующего элемента (на рис. 2 — сборочное производство) прогноз на заказ, в момент времени T_2 — уточненный план, в момент времени T_1 — реальный заказ на продукцию.

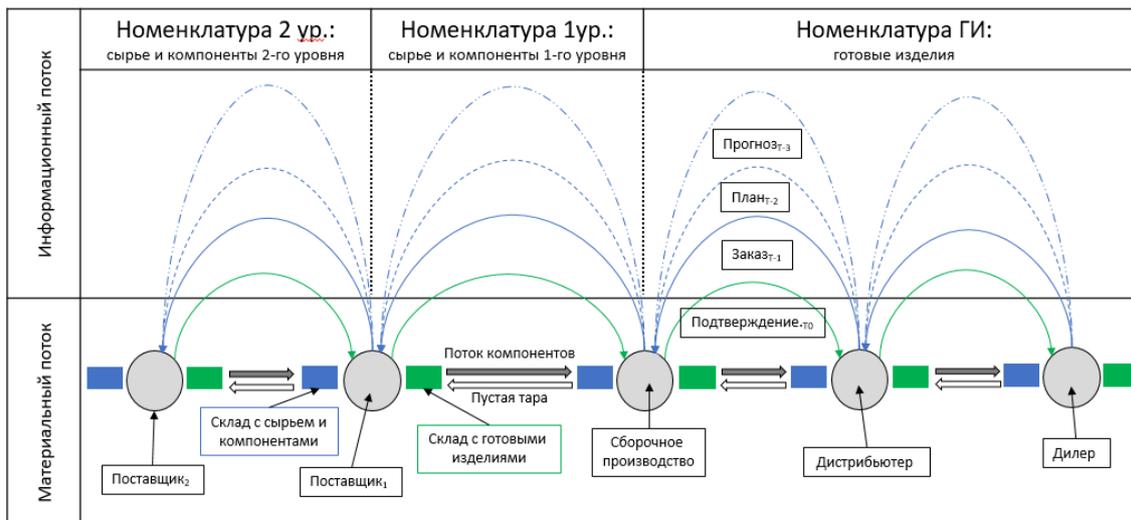


Рис. 2. Информационные и материальные потоки в цепи поставок

Элемент «сборочное производство» на основе полученной информации и своих производственных возможностей с такой же периодичностью передает информацию поставщикам первого уровня с использованием корпоративных информационных систем. Аналогичные процессы происходят у поставщиков первого уровня.

1.2. Определение проблемы

Основными проблемами, связанными с управлением цепями поставок дискретного производства являются:

- обеспечение заданной точности доставки готовой продукции клиентам в разрезе спецификации и времени;
- минимизация расходов на доставку от поставщиков, как импортных компонентов, так и локальных.

В то же время необходимо иметь в виду, что существуют различные способы решения проблем, которые зависят от сложности продукции (номенклатуры, состава комплектующих) и уровня зрелости предприятия с точки зрения использования информационных технологий [5, 6]. Как определить уровень зрелости предприятия в области ИТ, какие нужны классы информационных систем для реализации того или иного уровня?

2. Интеграция корпоративных информационных систем для построения системы производственного контроля и управления

2.1. Требования к системе управления производственным процессом

В работах [5, 6] были предложен перечень требований к системам управления производственным процессом и варианты их значений для последующего определения уровней ЦДПП, которые можно формализовано описать в виде кортежей данных (сокращенное название — в квадратных скобках) и вариантов значения (в круглых скобках):

– [ОМП]: осведомленность о местоположении материалов (компонентов, готовой продукции); варианты значения на уровне организационной единицы (1), ячейки склада или транспортного средства (2), в соответствии с точностью системы определения местоположения в реальном времени (RTLS — Real-time locating systems) (3);

– [ЗВО]: задержка во времени обновления информации — в соответствии с частотой инвентаризации: дни, месяцы (1), в режиме реального времени (2);

– [УАН]: уровень агрегирования номенклатуры продукции — по категориям продукции (1), в соответствии с полным описанием всех (значимых) свойств продукции (2);

– [МПР] метод принятия решений: оператором (1), оператором на основании рекомендаций информационной системы (2), в автоматическом режиме (3).

2.2. Уровни цифровых двойников производственных процессов

В соответствии с комбинацией значений кортежей предлагается классификация из 5 уровней ЦДПП (см. табл. 1), отражающих форму информационно-управляющего взаимодействия оператора и информационной системы в процессе управления. Значения в кортежах данных, отличающие уровень ЦДПП от предыдущего, выделены жирным шрифтом с подчеркиванием.

Таблица 1

Уровни цифровых двойников производственных процессов

| # | Форма информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ) | ОМП | ЗВО | УАН | МПР |
|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Отображение текущего состояния производственного процесса (ПП), фактическое расположение материальных объектов - на уровне организационных единиц (цехов) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Отображение текущего состояния ПП с учетом фактического расположения материальных объектов на конвейере, ячейках склада (адресное хранение), транспорте | <u>2</u> | <u>2</u> | <u>2</u> | 1 |
| 3 | Управление оборудованием с помощью ЦДПП-экземпляра | <u>3</u> | 2 | 2 | 1 |
| 4 | Моделирование будущих состояний ПП, оценка вариантов в режиме реального времени | 3 | 2 | 2 | <u>2</u> |
| 5 | Автоматическое управление ПП с помощью ЦДПП | 3 | 2 | 2 | <u>3</u> |

Для ЦДПП 2-го уровня происходит изменение требований для [ОМП], [ЗВО] и [УАН] для обеспечения линейных сотрудников и руководителей точной информацией о комплектующих и продукции в режиме реального времени.

Для ЦДПП 3-го уровня происходит изменение требований для [ОМП], так возникает необходимость полностью автоматического управления на складских участках.

Для ЦДПП 4-го уровня возникает изменение требований к [МПР], так как возникает необходимость использования информационных систем для формирования вариантов решений операторов, например, на участках контроля качества, оборудованных системой технического зрения [7, 8].

Для ЦДПП 5-го уровня возникает изменение требований к [МПР] в связи с необходимостью перехода на полностью автоматическое управление на всех станциях и участках производства.

2.3. Классы корпоративных информационных систем для ЦДПП

Современные производственные предприятия из сферы дискретного производства используют различные информационные системы (см. табл. 2).

Таблица 2

Корпоративные информационные системы для управления дискретным производством

| Название информационной системы (ENG — РУС) | Область применения |
|---|---|
| BOM (Bill of Material) — справочник материалов о продукте | Управление справочниками номенклатуры |
| MDM (Master Data Management) — нормативно-справочная информация | Создание сводной управленческой отчетности |
| APS (Advanced Planning & Scheduling) — усовершенствованная система календарного планирования | Управление заказами от дистрибьютора (прогноз, план, фактический заказ) |
| ERP (Enterprise Resource Planning) — управление ресурсами корпорации, включая модуль MRP II (Manufacturing Resources planning) | Расчет потребностей в сырье и компонентах от поставщиков с учетом производственной мощности предприятия |
| MES (Manufacturing Execution System) — система управления производством в реальном времени | Контроль производственных процессов в реальном времени |
| WMS (Warehouse Management System) — система управления складом | Управление запасами на складе |
| SS (Simulation Software) — программа для имитационного моделирования. SS RT (Real time) — системы для имитационного моделирования в реальном времени | Моделирование производственных и экономических процессов |
| SCE (Supply Chain Execution) — система управления цепочками поставок | Отслеживание и контроль выполнения логистических операций |
| BI (Business Intelligence) — системы поддержки принятия управленческих решений на основе «больших данных» | Сбор данных из различных систем, создание сводных аналитических отчетов |

Ключевую роль для создания ЦДПП играет система класса MES, которая имеет различные поколения (современное поколение четвертое MES 4.0 [9]), а также подсистемы для автоматического управления складскими системами AS/RS (Automated storage and retrieval system — автоматизированные складские системы) и системы определения местоположения в реальном времени RTLS (Real-time locating systems). По предположению автора системы MES следующего поколения (например, 5.0) будут еще шире использовать технологии искусственного интеллекта, которые позволят автоматически принимать решения для всех производственных процессов.

Исходя из опыта автора в сфере производственного контроля и управления в области машиностроения предлагается следующая последовательность внедрения на предприятии прикладных КИС различного класса для соответствия системы управления предприятием соответствующего уровня ЦДПП (см. табл. 3). Для реализации ЦДПП уровня 1 необходимо внедрить КИС класса ERP, BOM, MDM, APS и BI, что обеспечит «фундамент» для создания следующих уровней ЦДПП. На каждом последующем уровне добавляется дополнительная КИС, которая должна быть интегрирована с существующими КИС. Для реализации ЦДПП необходимо внедрить системы управления производством в реальном времени (MES) и складом (SCM). Для уровня ЦДПП 4 и 5 автором указаны системы, про реальное применение которых у автора нет информации, и это является его предложением.

Таблица 3

Уровни ЦДПП и КИС

| # | Форма информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ) | Используемая приклад. КИС |
|---|---|---------------------------|
| 1 | Отображение текущего состояния производственного процесса (ПП), фактическое расположение материальных объектов — на уровне организационных единиц (цехов) | ERP, BOM, MDM, APS, BI |
| 2 | Отображение текущего состояния ПП с учетом фактического расположения материальных объектов на конвейере, ячейках склада (адресное хранение), транспорте | + MES 4.0, WMS |
| 3 | Управление оборудованием с помощью ЦДПП-экземпляра | +AS/RS RTLS |
| 4 | Моделирование будущих состояний ПП, оценка вариантов в режиме реального времени | +SS RT |
| 5 | Автоматическое управление ПП с помощью ЦДПП | + MES 5.0 |

Заключение

В работе было представлено описание цепи поставок дискретного производства и представлены основные задачи управления цепью, которые предлагается решать путем автоматизации информационно-управляющего взаимодействия между участниками цепи поставок с помощью прикладных корпоративных информационных систем. Предло-

жено пятиуровневое описание степени зрелости производственного предприятия в области информационных технологий на основе понятия цифровой двойник производственного процесса. Эти уровни были описаны с точки зрения требований к системе управления производственным процессом. Была предложена последовательность внедрения прикладных корпоративных информационных систем для достижения требуемого уровня ЦДПП. Предложен новый класс информационных систем, необходимый для достижения четвертого уровня ЦДПП — SS RT (Real time) — системы для имитационного моделирования производственных процессов в реальном времени, которые должны быть интегрированы с MES-системами предприятия.

Список литературы

1. Индустрия 5.0: добавление человеческого потенциала в Индустрию 4.0 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/insights/industry-5-0.html> (дата обращения: 01.10.2023).
2. Бабкин А.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М., Богданова А.А., Сагателян Н.Х. Индустрия 5.0: нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования [Электронный ресурс] // ТТПС. – 2022. – № 3 (61). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-5-0-neyro-tsifrovoy-instrumentariy-strategicheskogo-tselepolaganiya-i-planirovaniya> (дата обращения: 01.10.2023).
3. Индустрия 5.0? Что это такое, и Когда наступит? [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/Xq-16XnN2xLFMAhE> (дата обращения: 01.10.2023).
4. Аренс Ю.А., Каткова Н.А., Халимон Е.А., Брикошина И.С. Пятая промышленная революция — инновации в области биотехнологий и нейросетей // E-Management. – 2021. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pyataya-promyshlennaya-revolyuetsiya-innovatsii-v-oblasti-biotehnologiy-i-neyrosetey> (дата обращения: 01.10.2023).
5. Шошков Н.О. Разрешение конфликтов в логистической цепи поставок дискретного производства на основе цифровых двойников производственных процессов // Сборник статей «Региональная информатика и информационная безопасность». Выпуск № 11. – СПб: СПОИСУ, 2022. – С. 55–61.
6. Шошков Н.О. Цифровые двойники и организация информационно-управляющего взаимодействия в логистической цепи дискретного производства // Сборник докладов XVIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика (РИ-2022)», 28 октября 2022 г., г. Санкт-Петербург, Россия.
7. Кирсанов А.М., Лускарёв Н., Шошков Н.О. Концепция методики обучения искусственных нейронных при автоматизации контрольных операций на производстве // Сборник статей международной научно-практической конференции «Наука настоящего и будущего», 18–20 мая 2023 г., г. Санкт-Петербург, Россия.
8. Кирсанов А.М., Лускарёв Н., Шошков Н.О. Концепция методики использования нейроморфных процессоров для автоматизации контрольных операций при производстве машиностроительной продукции // Сборник статей XXVI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям, 24–26 мая 2023 г., г. Санкт-Петербург, Россия.
9. Manufacturing Execution Systems (MES), Industrial 4.0 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.miac-automation.com/mes-oee-track-and-trace/> (дата обращения: 01.10.2023).