

Цифровой двойник
производственных процессов как
инструмент для измерения
состояния и осуществления
информационно-управляющего
воздействия в логистической цепи
дискретного производства.

Шошков Николай, к.т.н.,
Руководитель департамента исследований и разработок, ООО
«ХММР», Санкт-Петербург.

Специальность 2.3.1 “Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика”
Специальность 2.3.3 «Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»

Актуальность исследования

Структура цепей поставок дискретного производства имеет стандартные элементы, которые были в прошлом и сохранятся в будущем. Информационные технологии играют значительную роль в управлении цепями поставок, а в будущем роль технологий из области искусственного интеллекта только возрастет, например, при внедрении беспилотного транспорта.

Источник конфликта в цепи поставок - противоречия между интересами продавцов и покупателей и необходимо показать роль, которую в этом конфликте могут сыграть информационные технологии.

Модель «цифровых двойников» (Digital Twin), предложенная М. Гривзом в 2002 году, была разработана и внедрена для отдельных продуктов и технических систем (зданий, производств), но недостаточно проработана для сложных организационно-технических систем, которыми являются цепи поставок дискретного производства.

Цели и задачи исследования

Цель исследования:

разработка методологии построения информационно-управляющего взаимодействия между элементами логистической цепи дискретного производства на основе цифровых двойников.

Задачи исследования:

- 1) описание характеристики проблемы информационного взаимодействия в логистической цепи дискретного производства;
- 2) выбор математических методов для моделирования информационно-управляющего взаимодействия;
- 3) разработка методология построения информационно-управляющего взаимодействия логистического процесса на основе цифрового двойника;
- 4) оценка эффективности логистического процесса с помощью цифрового двойника;
- 5) реализация методологии построения информационно-управляющего взаимодействия на примере предприятия машиностроительной отрасли.

Объект и предмет исследования

Цель исследования:

разработка методологии построения информационно-управляющего взаимодействия между элементами логистической цепи дискретного производства на основе цифровых двойников.

Объект исследования: логистическая цепь дискретного производства

Предмет исследования: информационно-управляющее взаимодействие и способы разрешения противоречий между элементами цепи поставок дискретного производства с использованием информационных технологий для разрешения конфликтов между участниками.

Теоретические и методологические основы исследования

Теоретическая основа исследования: методы системного анализа, имитационное моделирование, теория цифровых двойников, теория управления организационными системами, теория рефлексивного управления, теория информации, информационных процессов и систем, теория принятия решений, теория массового обслуживания.

Методологическая основа исследования: теория квалиметрии моделей, теория нечетких множеств и нечеткой логики, теория шкалирования, теория мягких измерений, методы мультиагентного моделирования, теория, методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления, теория управления цепями поставок, модели стратегического менеджмента.

Научная новизна исследования

1. Сформулированы определения понятий:

- «Цифровой двойник производственного процесса» (ЦДПП) на основе понятия «организационная система» из теории управления организационными системами,
- «Уровень ЦДПП», «Ранг информационной рефлексии в цепи поставок»,
и подходов к описанию логистической цепи поставок, конфликта в цепи поставок на основе понятия «ранг информационной рефлексии».

2. Даны иллюстрирующие примеры для информационных систем четвертого уровня ЦДПП (выполнение контрольных операций на производстве с применением нейроморфных процессоров) и предложения для ЦДПП пятого уровня – использование нейронечетких методов для осуществления автоматизированного информационно-управляющего взаимодействия между элементами логистической цепи.

Теоретическая и практическая значимость, достоверность исследования:

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии теории имитационного моделирования, теории цифровых двойников, теории робастного, нейро-нечеткого управления для открытых систем и теории информационных процессов и систем.

Практическая значимость исследования заключается в создании инструмента для оценки эффективности цепей поставок и проведения лабораторных экспериментов для принятия решений при построении новых или изменении существующих цепей поставок.

Достоверность полученных результатов подтверждена 3 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных, наличием 5 публикаций на научных конференциях РФ в 2022-2023 годах.

Часть I. Основные понятия

1

Информационно-управляющее взаимодействие в логистической цепи

2

«Цифровой двойник» производственного процесса

3

Уровень «цифрового двойника» производственного процесса

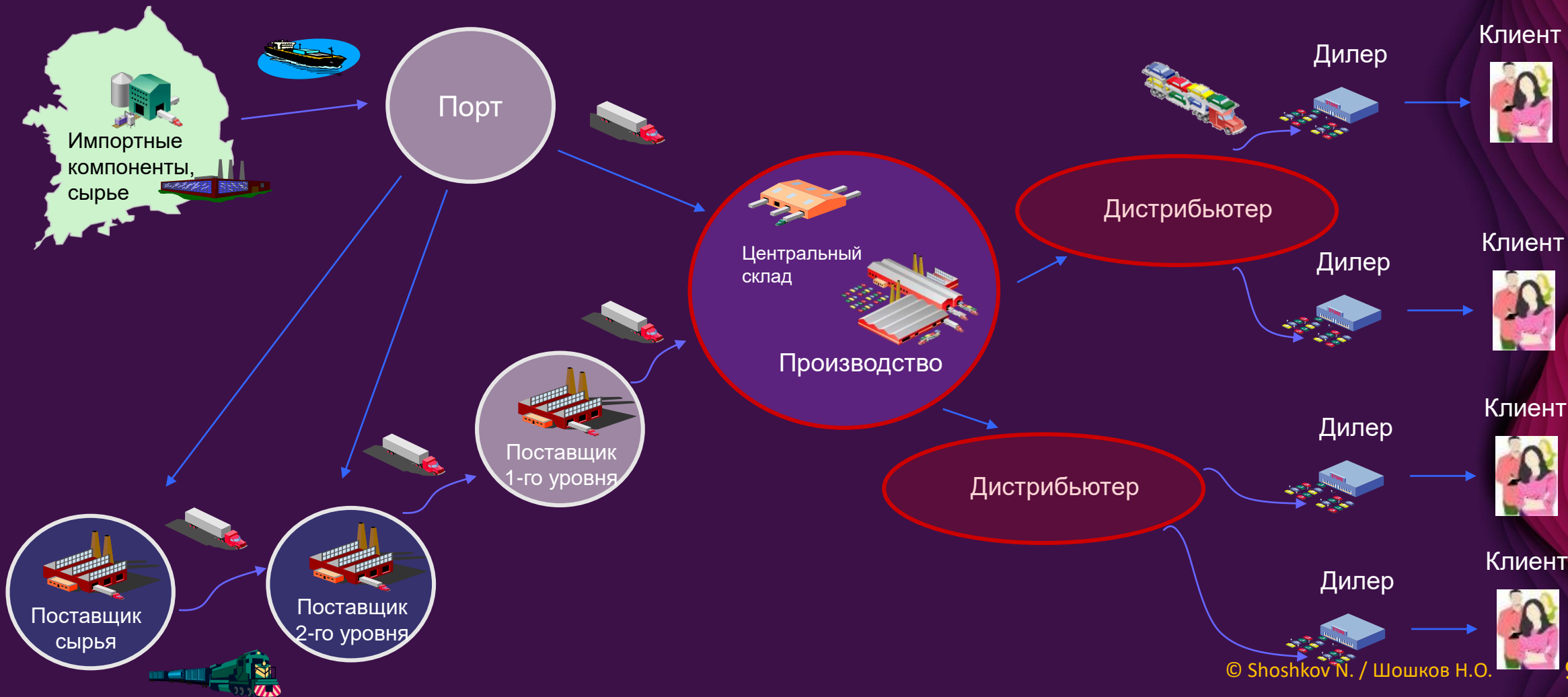
4

Ранг информационной рефлексии участника цепи поставок

5

Использование модели ЦДПП для разрешения конфликтов в цепи

1.1. Структура цепи поставок дискретного производства



1.2. Причины конфликтов в цепи поставок

Идеальная цепь «PUSH» для рынка «продавца»



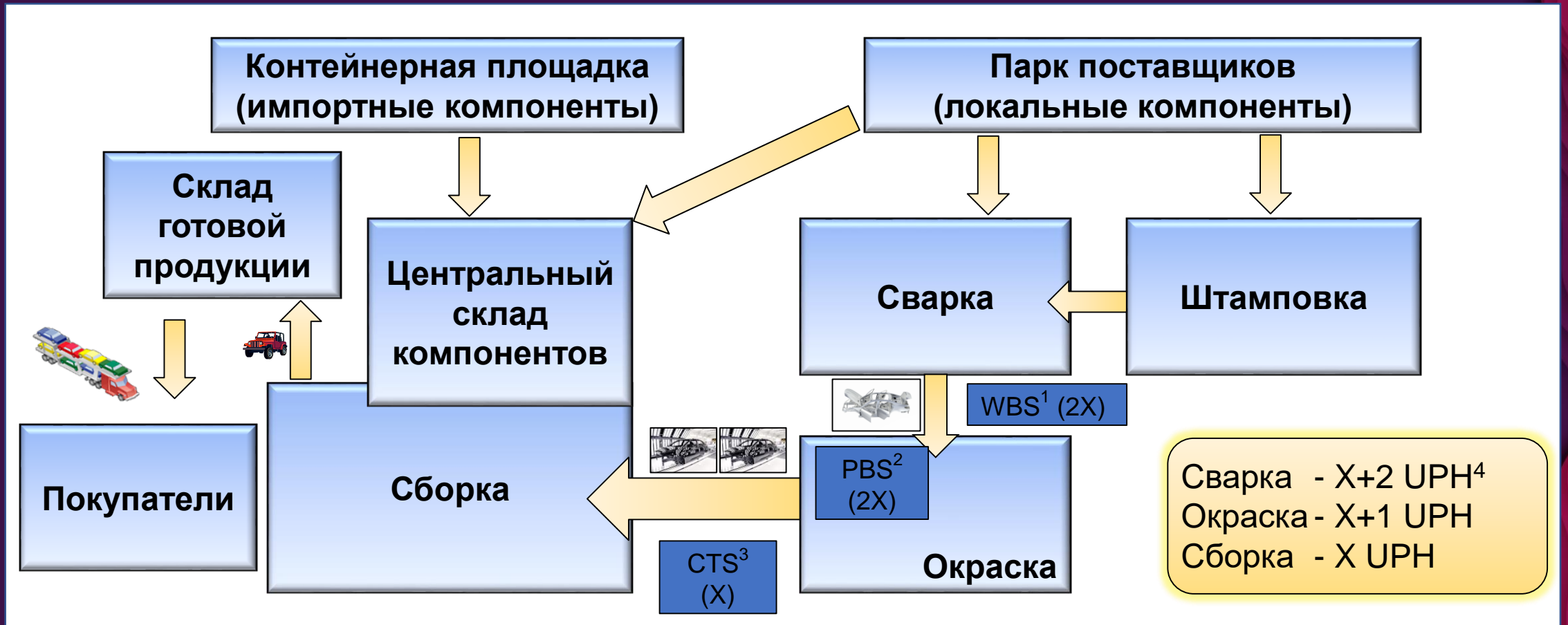
Идеальная цепь «PULL» для рынка «клиента»



Реальная цепь «PUSH & PULL» для переходных состояний



1.3. Схема дискретного производства (на примере легковых автомобилей)



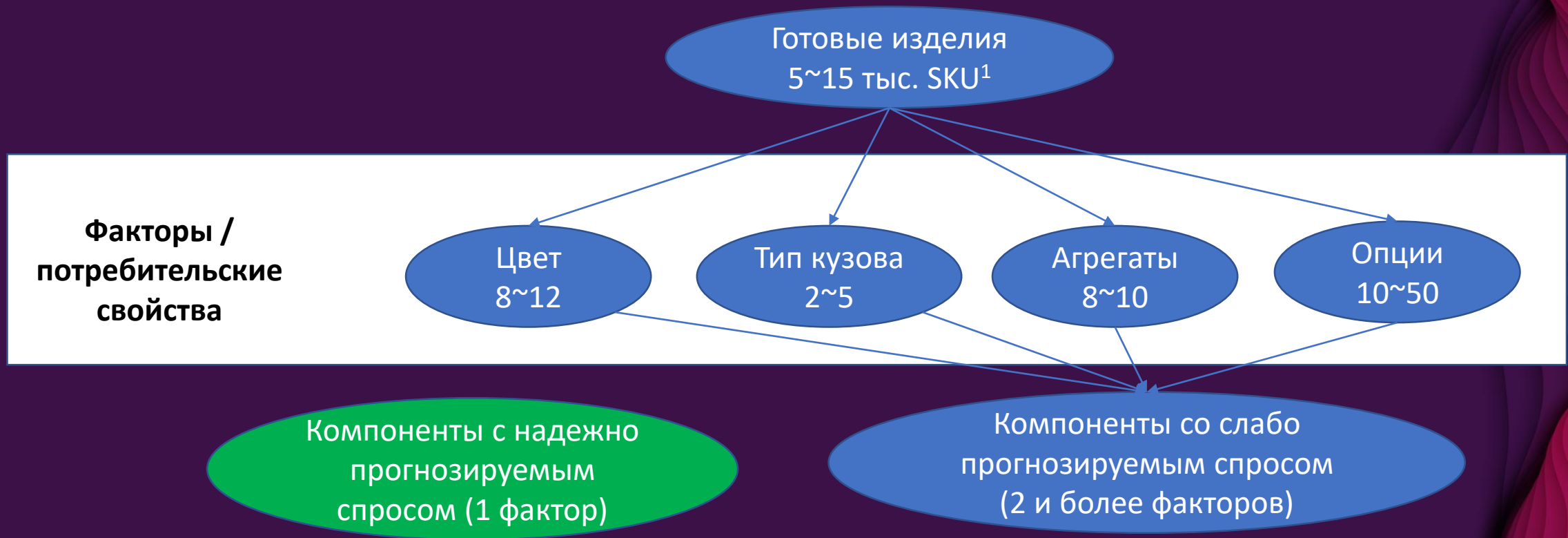
¹WBS – White Body Storage (накопитель неокрашенных кузовов)

²PBS – Painted Body Storage (накопитель окрашенных кузовов)

³CTS – Connection to Trim Shop (накопитель к цеху Сборки)

⁴UPH – Unit per Hour (Машин в час)

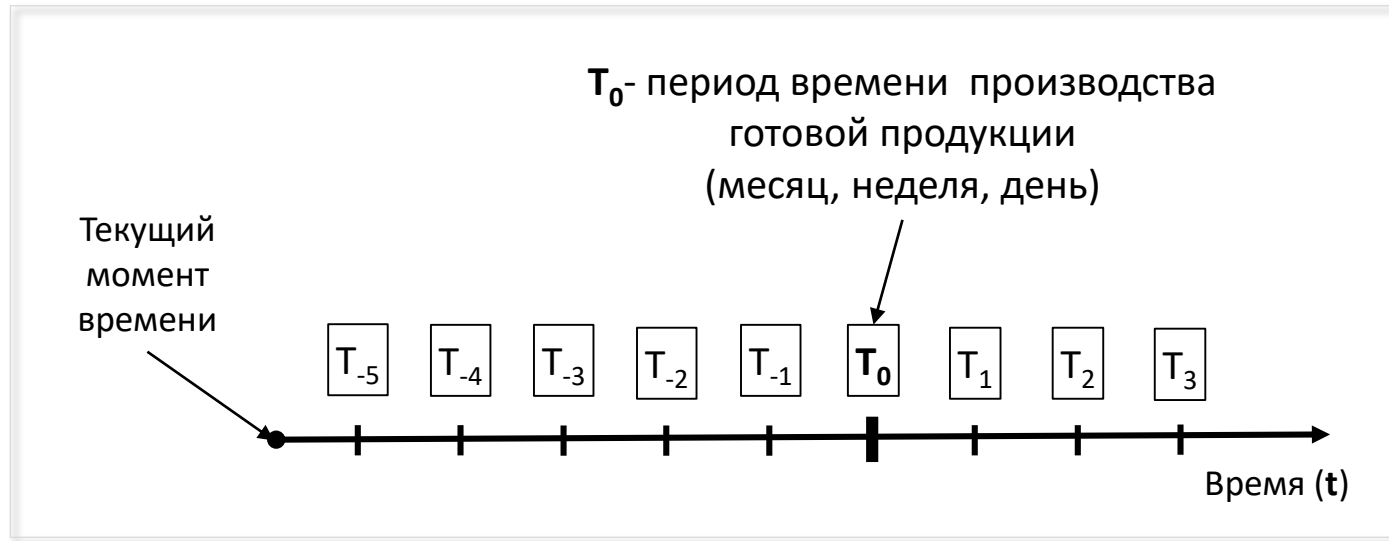
1.4. Факторы, определяющие номенклатуру изделий



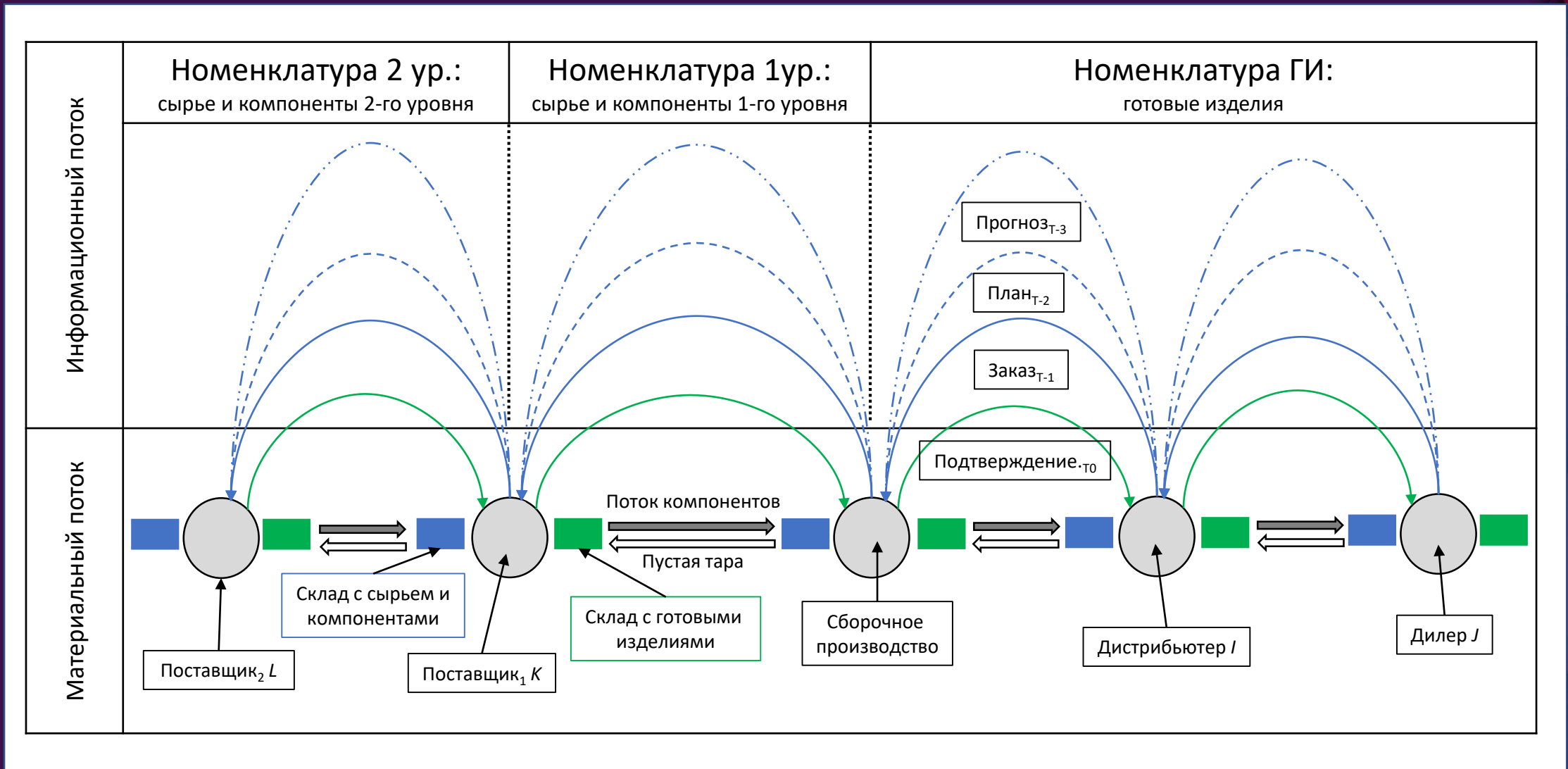
Предложение: компоненты со слабо прогнозируемым спросом должны производиться локально.

¹SKU – Stock keeping unit – номенклатурная единица хранения в логистике

1.5. Использование шкалы времени для планирования

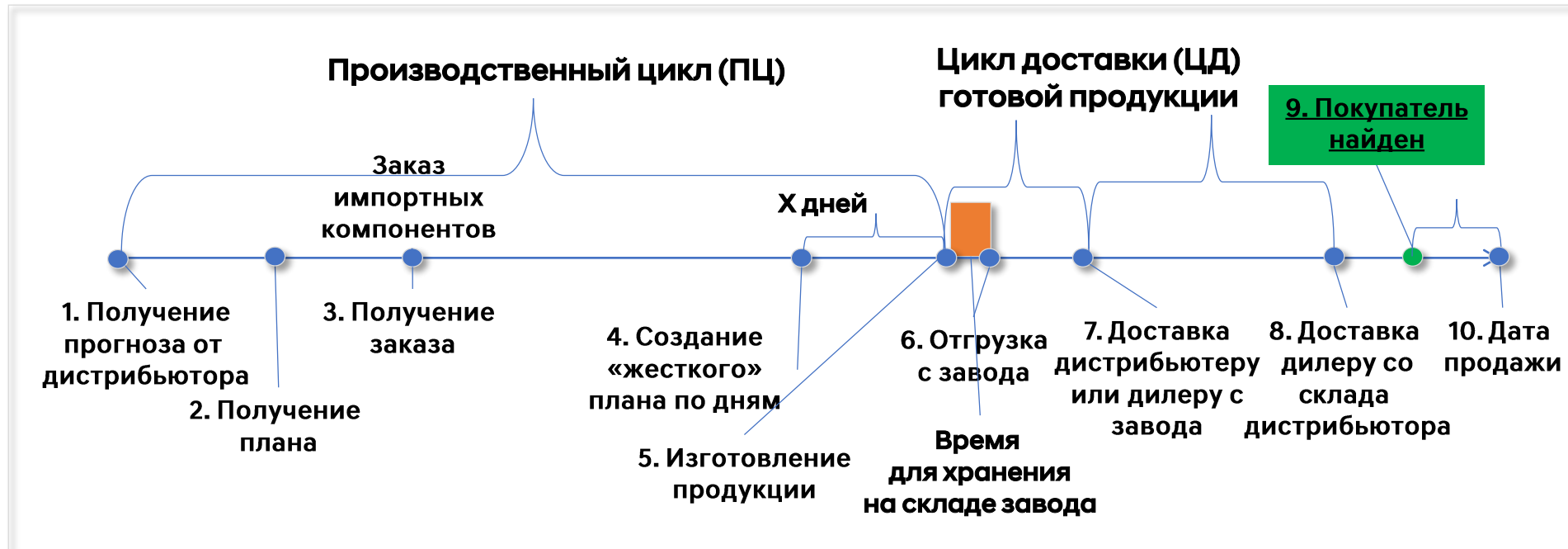


1.6. Модель цепи поставок: информационные и материальные потоки



1.7. Производственный цикл и цикл доставки готовой продукции

Контрольные точки в производственном цикле и цикле доставки готовой продукции



1.8. Виды информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ)

Дистрибьютер -> Производитель

Под производственным циклом (ПЦ) понимается интервал времени от начала планирования заказа компонентов до изготовления продукции и поставки ее на склад.

Под временем упреждения ИУВ понимается интервал времени от получения информации до момента изготовления продукции, измеренный относительно ПЦ.

Вид ИУВ и контрольная точка	Время упреждения/ПЦ	Точность информации, %
Прогноз (1) ¹	1 (1-6) ¹	80%
План (2)	0,8 (2- 6)	90%
Заказ (3)	0,6 (3 – 6)	100%

Производитель -> Дистрибьютер

Под циклом доставки (ЦД) готовой продукции (ГП) понимается интервал времени от получения дистрибьютером информации о дате изготовления готовой продукции до доставки ее на склад дистрибьютера или дилера.

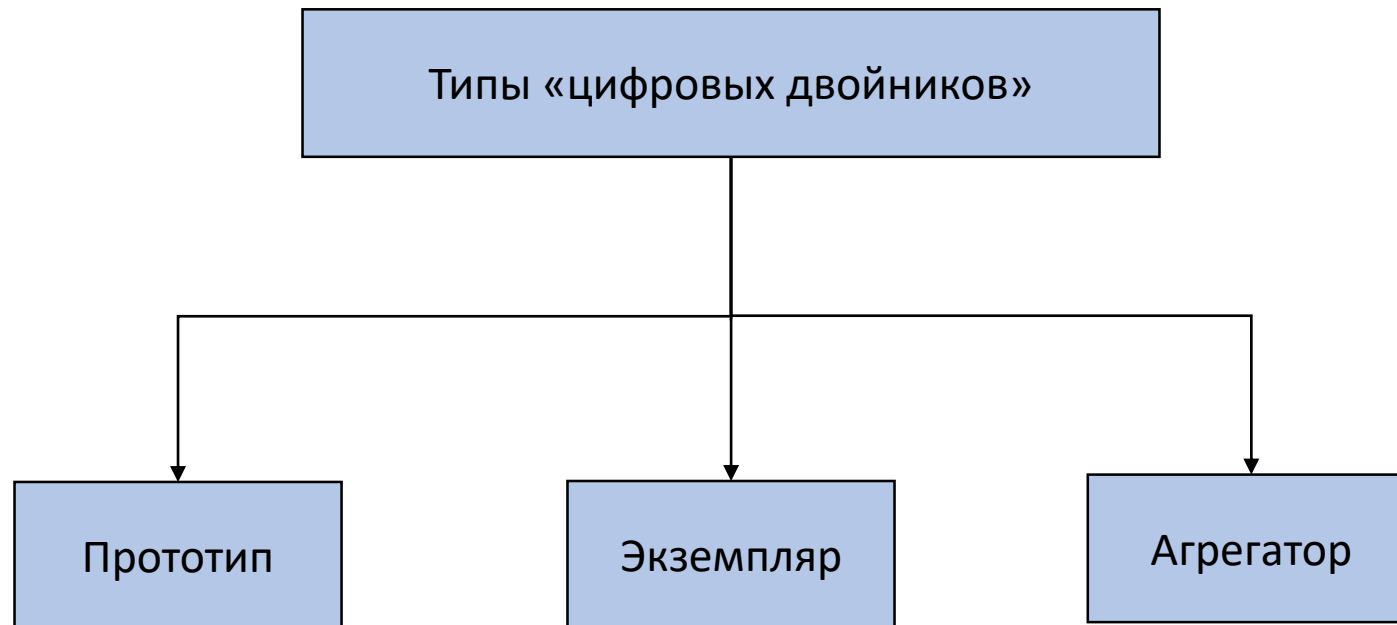
Вид ИУВ	Время упреждения/ЦД	Точность, %
Изготовление ГП (5)	0,2 – 1 (5 – 7 или 5 – 8)	100%

¹ См. контрольные точки на стр.9

1.9. 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	Расчет потребностей в сырье и компонентах от поставщиков с учетом производственной мощности предприятия (MRPII)
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	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

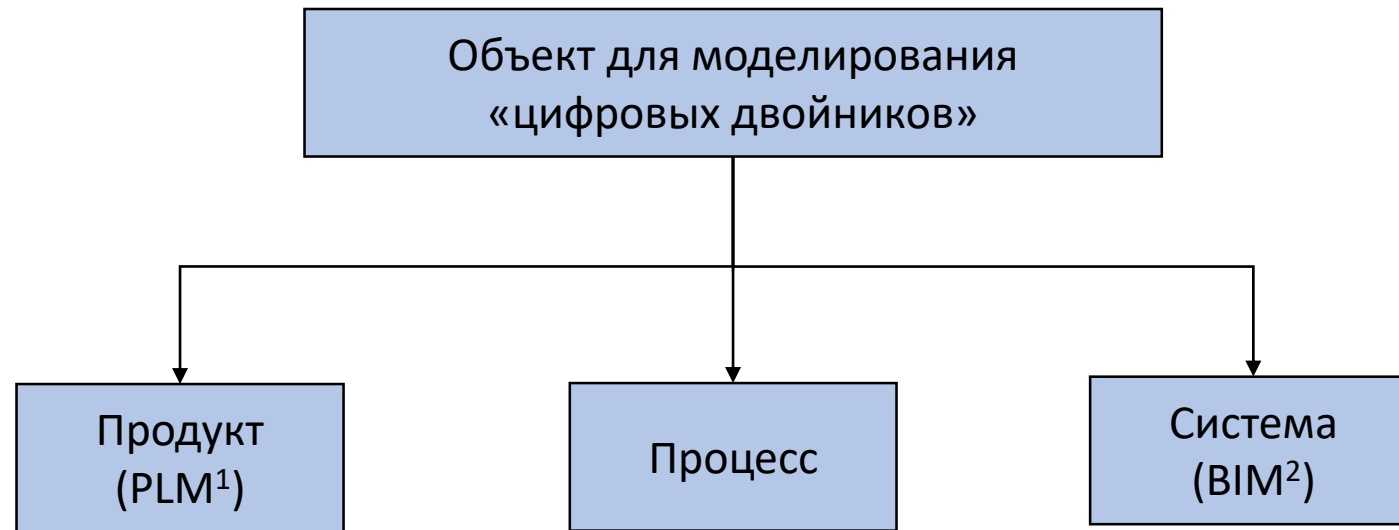
2.1. Типы «цифровых двойников»



Типы «цифровых двойников» по М. Гривзу ¹

¹ Michael W. Grieves Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication – LLC, 2014, 7 p

2.2. Объекты для моделирования с помощью «цифровых двойников»



Области построения цифровых двойников ³

¹ PLM - Product Lifecycle Management – Управление жизненным циклом продукта

² BIM – Building Information Model или Modelling - информационная модель (или моделирование) зданий и сооружений

³ Кокорев Д.С., Юрин А.А., «Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса» // «Colloquium-journal» #10(34), 2019

2.3. Использование «цифровых двойников» в производстве



Использование цифровых двойников в производстве ¹

¹ Кокорев Д.С., Посмаков Н.П., «ПРИМЕНЕНИЕ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ» В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ» // «Colloquium-journal» #26(50), 2019

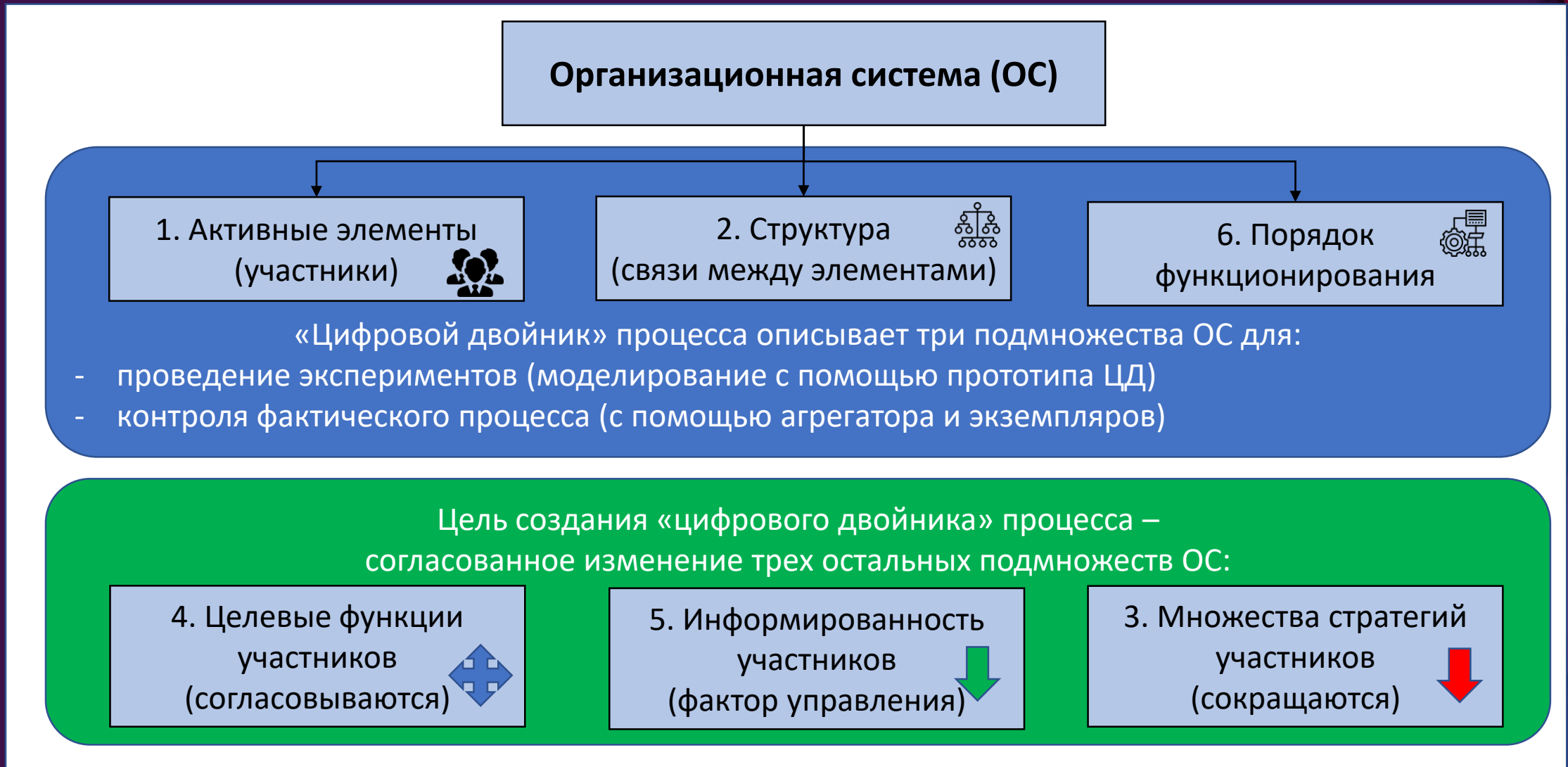
2.4. Модель организационной системы с точки зрения ТУОС¹



¹ ТУОС – Теория управления организационными системами

² Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. «Рефлексия и управление: математические модели. (с.110)

2.5. Особенности «цифрового двойника» производственного процесса



2.6. Определение «цифрового двойника» производственного процесса

Цифровой двойник производственного процесса (ЦДПП) - это 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.

3. Уровни цифрового двойника производственного процесса

Уровень ЦДПП	Форма информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ)	КИС, АСУ ТП	Осведомленность о местоположении материалов	Задержка во времени обновления информации	Уровень агрегирования номенклатуры продукции
0	Контроль в ручном режиме	нет	нет		Категория продукции
1	Отображение текущего состояния ПП, фактическое расположение материальных объектов - на уровне организационных единиц (цехов)	ERP, BOM, MDM, APS, BI	На уровне организационной единицы	В соответствии с частотой инвентаризации (дни, месяцы)	
2	Отображение текущего состояния ПП с учетом фактического расположения материальных объектов на конвейере, ячейках склада (адресное хранение), транспорте	+MES 2.0 - 4.0, WMS	На уровне ячейки склада, транспортного средства	В режиме реального времени	Точное описание всех (значимых) свойств продукции
3	Управление оборудованием с помощью ЦДПП-экземпляра	+AS/RS ¹ RTLS ²	В соответствии с точностью RTLS		
4	Моделирование будущих состояний ПП, оценка вариантов в режиме реального времени	+ SS RT			
5	Автоматическое управление ПП с помощью ЦДПП	+ MES 5.0?			

¹Automated storage and retrieval system – автоматизированные складские системы

²Real-time locating systems - Системы определения местоположения в реальном времени

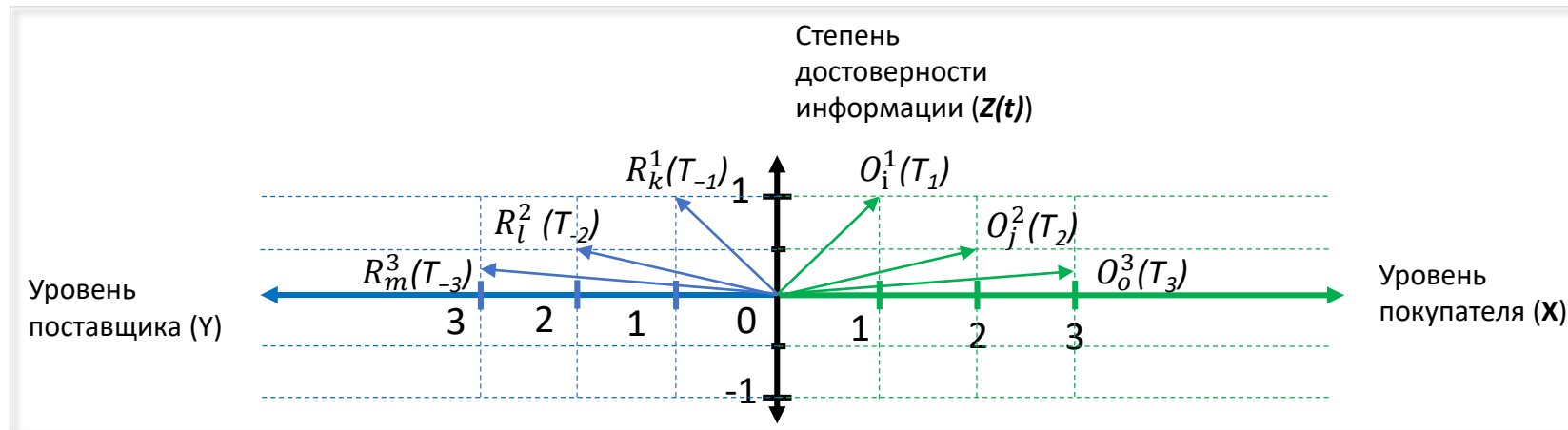
4. Ранг информационной рефлексии участника цепи поставок

Структура информированности в цепи поставок описывает представления агентов о запасах, заказах и планах производства, планах и статусах поставок других агентов внутри цепи.

Вектор-функция $R_i^N(t)$ (resource - ресурсы), определенная на Y и $Z(t)$, обозначает **ранг информационной рефлексии производителя продукции по отношению к поставщикам** n -ного уровня для каждой номенклатурной позиции компонентов и сырья на моменты времени от T_{-1} до T_{-3} в прошлом по отношению к дате производства.

Вектор-функция $O_i^N(t)$ (order - заказы), определенная на X и $Z(t)$, обозначает **ранг информационной рефлексии производителя продукции по отношению к покупателям** n -ного уровня для каждой товарной позиции на моменты времени от T_1 до T_3 в будущем по отношению к дате производства.

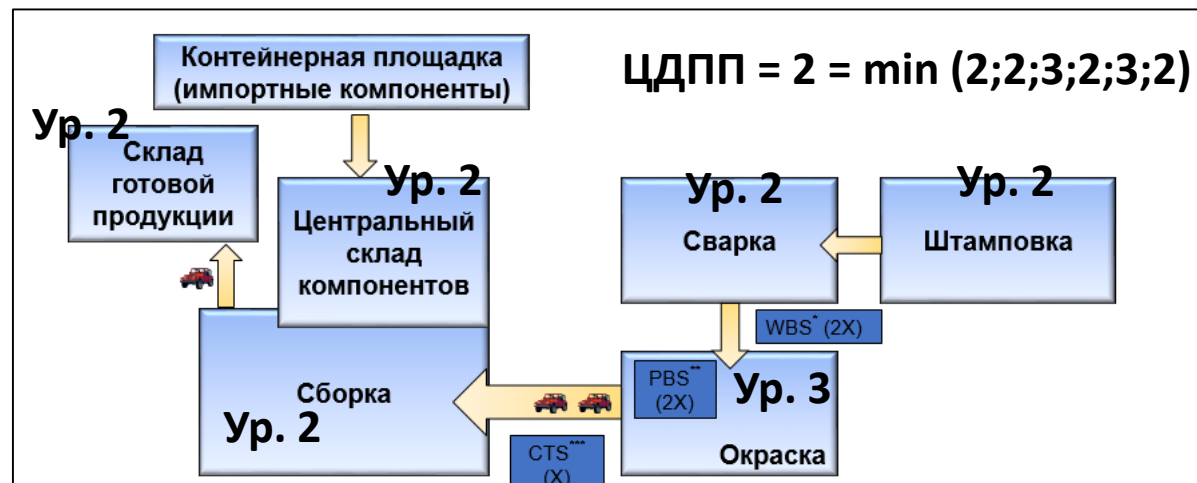
- Способ расчета степени достоверности информации $Z(t)$ индивидуален для каждой цепи поставок и зависит от структуры номенклатуры, ограничений с точки зрения объема хранимой и обрабатываемой информации, фактических запасов материалов.
- Скалярное значение вектора для поставщика/покупателя 1-го уровня не может быть больше 1 и меньше «-1».



5. Утверждение 1.

Определение уровня цифрового двойника производственного процесса (далее ЦДПП) для предприятия целиком.

Пусть производственный процесс предприятия представляет из себя комплекс из технологических и вспомогательных процессов, для каждого из которых имеется ЦДПП, имеющий уровень от 0 до 5, тогда уровень ЦДПП предприятия в целом будет равен минимальному уровню ЦДПП из множества имеющихся процессов.



Уровень	Форма информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ)	КИС, АСУ ТП
0	Контроль в ручном режиме	нет
1	Отображение текущего состояния 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 2.0 - 4.0, WMS
3	Управление оборудованием с помощью ЦДПП-экземпляра	+AS/RS ¹ RTLS ²
4	Моделирование будущих состояний ПП, оценка вариантов в режиме реального времени	+ SS RT
5	Автоматическое управление ПП с помощью ЦДПП	+ MES 5.0?

5. Утверждение 2.

Определение возможности информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ) между участниками логистической цепи, имеющих ЦДПП различных уровней

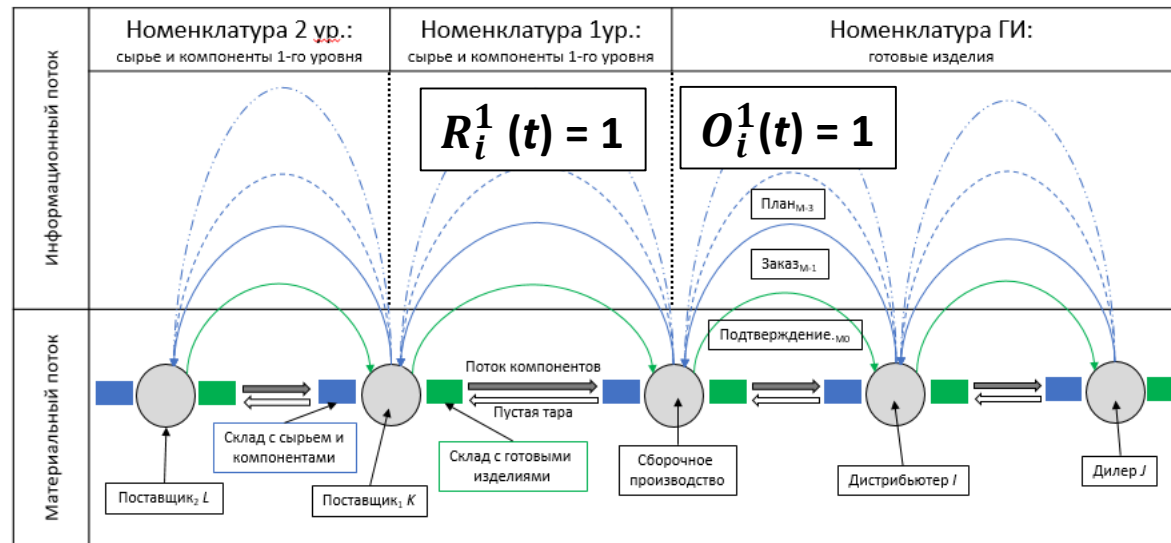
Информационно-управляющее взаимодействие между участниками может быть осуществлено на том уровне, который соответствует минимальному уровню из множества взаимодействующих ЦДПП.

Участник	Поставщик ₁ K	Логистическая компания (ЛК ₁)	Сборочное производство	ЛК ₂	Дистрибьютер I	ЛК ₃	Дилер J
Уровень ЦДПП	3	2	3	1	2	0	0
Возможный уровень ИУВ	Уровень 2 = min (3; 2; 3)						
				Уровень 1 = min (3; 1; 2)			
					Уровень 0 = min (2; 0; 0)		
Материальный поток							

5. Утверждение 3.

О решении конфликта в цепи поставок

Для решения конфликта в цепи поставок сумма рангов информационной рефлексии соседних участников (сумма скалярных значений вектора $O_i^1(t)$ и вектора $R_i^1(t)$) должна быть равна 2, т.е. производитель, его поставщики и покупатели полностью и своевременно обмениваются информацией о своих запасах, заказах и поставках.



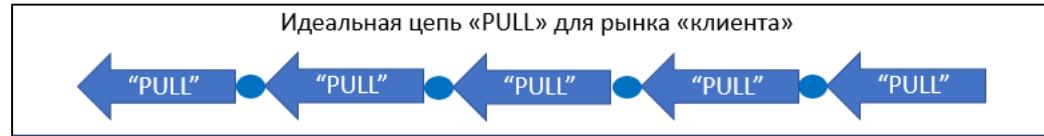
Реальная цепь «PUSH & PULL» для переходных состояний



5. Утверждения 3.1 и 3.2.

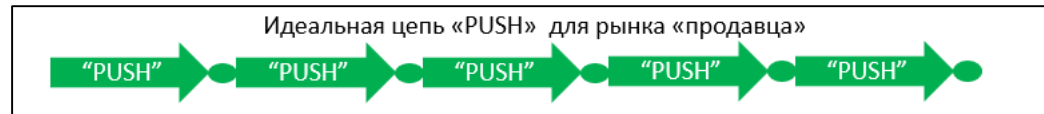
О необходимом и достаточном условии устойчивости и эффективности в цепи поставок для цепей «Push» и «Pull»

3.1. Для построения эффективной и устойчивой «вытягивающей» цепи ранг информационной рефлексии поставщика по отношению к покупателю первого уровня (т.е., скалярное значение вектора $O_i^1(t)$) должен быть равен 1 для каждого участника цепи.



$$O_i^1(t) = 1$$

3.2 Для построения эффективной и устойчивой «выталкивающей» цепи ранг информационной рефлексии покупателя по отношению к поставщику (т.е., его скалярное значение вектора $R_i^1(t)$) должен быть равен 1 для каждого участника цепи.



$$R_i^1(t) = 1$$

5. Выводы по части I

Предлагается подход с использованием понятий из **теории управления организационными системами (ТУОС)** и **рефлексивного управления** для интеграции корпоративных информационных систем управления и АСУ ТП участников логистической цепи дискретного производства с **целью измерения состояния и автоматизации их информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ)**. Для этого вводятся понятия:

- **цифровой двойник производственного процесса (ЦДПП),**
- **уровень ЦДПП (классификация из пяти уровней),**
- **ранг информационной рефлексии участника цепи поставок,**

что позволяет дать **формализованное описание ИУВ в цепи поставок** и предлагает **способ решения конфликта интересов** между покупателем и поставщиком путем согласования методов обмена информации о запасах, планах поставок и производства компонентов и готовой продукции **для повышения качества обслуживания клиентов и снижения логистических затрат.**

При этом следует найти ответы на следующий вопрос:

- **как избежать комбинаторного взрыва** при автоматизации ИУВ и моделировании будущих состояний производственных процессов?

Список использованной литературы в части I.

1. Шошков Н.О., Источник конфликта в цепи поставок – взаимодействие логистических стратегий «Push» и «Pull». Рекомендации для осуществления «импортозамещения» // VI Международный Невский форум 2022, 23-25 июня 2022
2. Моисеев Н.Н., Человек, среда, общество. Проблемы формализованного описания. Междисциплинарные исследования: вопросы языка и метода. О математических моделях неживой природы, живой материи, общественных процессов. Концептуальная модель биосферы. Теория управления и проблема «человек – окружающая среда». Проблема альтернативы, Изд. 2-е, – М.: ЛЕНАНД, 2021, 248 с.
3. Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн, Теория игр и экономическое поведение. Перев. с англ. под ред. и с доб. Н.Н. Воробьева. Главная редакция физико-математической литературы, изд-ва «Наука», 1970, 706 с.
4. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семина Е.А. Теория игр: Учеб. пособие для ун-тов. – М.: Высш. шк., Книжный дом «Университет», 1998, 304 с.
5. Лефевр В.А. Лекции по теории рефлексивных игр.– М.: «Когито-Центр», 2019, 218 с.
6. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. «Рефлексия и управление: математические модели. – М.: Издательство физикоматематической литературы, 2012, 412.
7. Гермейер Ю.Б., Игры с противоположными интересами, «Наука», 1976, 328 с.
8. Шапиро Дж., Моделирование цепи поставок / Пер. с англ. под ред. В.С. Лукинського – СПб.: Питер, 2006, 720 с.
9. Бусленко Н.П., Моделирование сложных систем. Изд.2-ое переработанное, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М.,1978, 399 с.
10. Кокорев Д.С., Юрин А.А., «Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса» // «Colloquium-journal» #10(34), 2019
11. Michael W. Grieves Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication – LLC, 2014, 7 p
12. Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles //53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA. – 2012. – С. 1818

«Концепция методики использования нейроморфных процессоров
для автоматизации контрольных операций при производстве
машиностроительной продукции»

Н.О. Шошков¹, А.М. Кирсанов², Н.Д. Лускарев¹

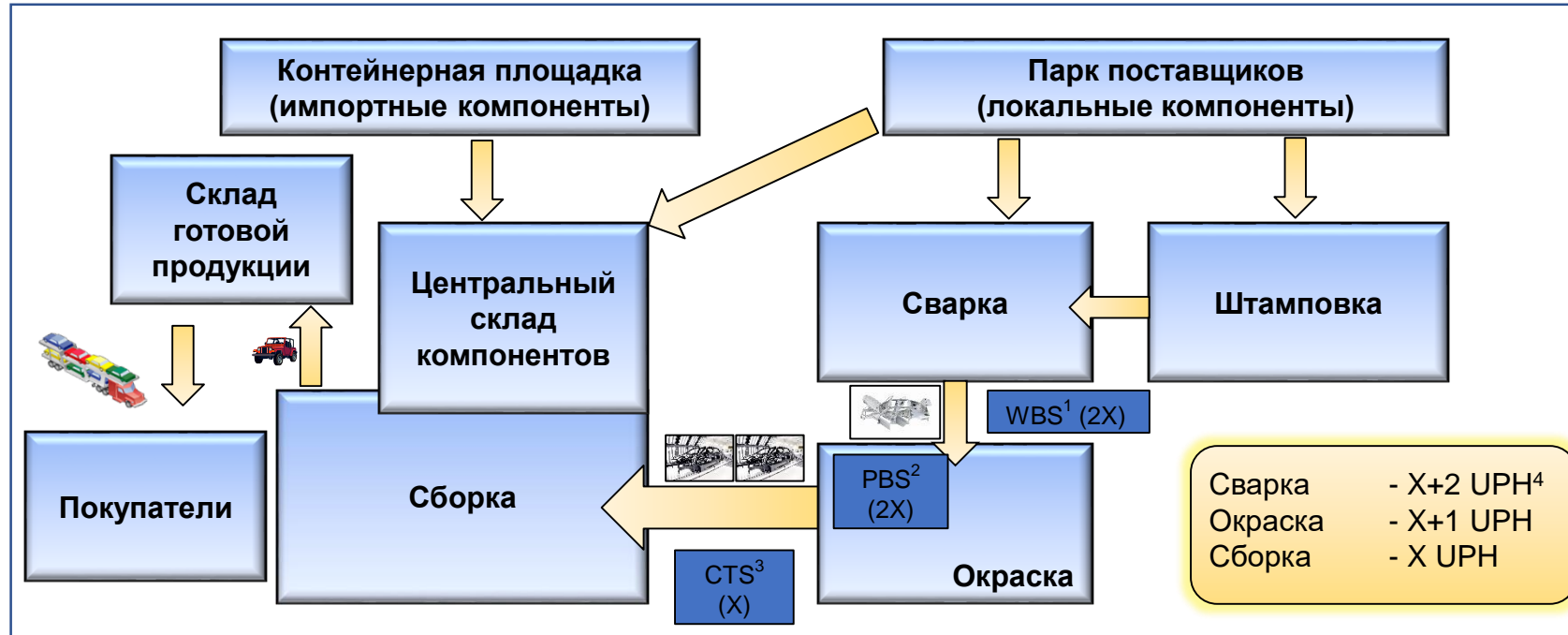
¹*СПБГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова(Ленина)*

²*Unirock Partners, Австралия, Сидней.*

E-mail: noshoshkov@etu.ru

Научная статья в сборнике статей международной научно-практической
конференции «Наука настоящего и будущего», 18-20 мая 2023

1. Расположение станций нанесения и проверки VIN



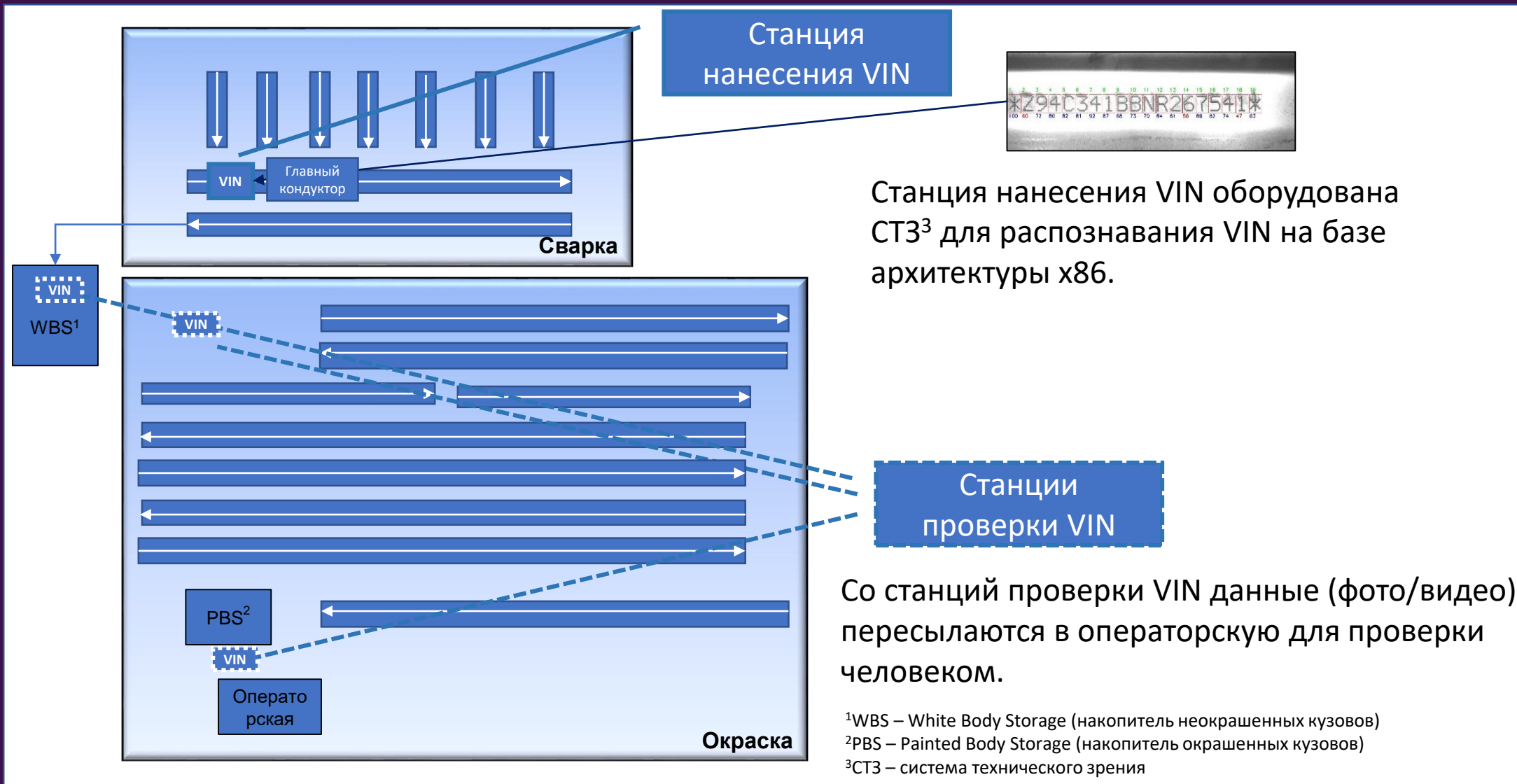
¹WBS – White Body Storage (накопитель неокрашенных кузовов)

²PBS – Painted Body Storage (накопитель окрашенных кузовов)

³CTS – Connection to Trim Shop (накопитель к цеху Сборки)

⁴UPH – Unit per Hour (Машин в час)

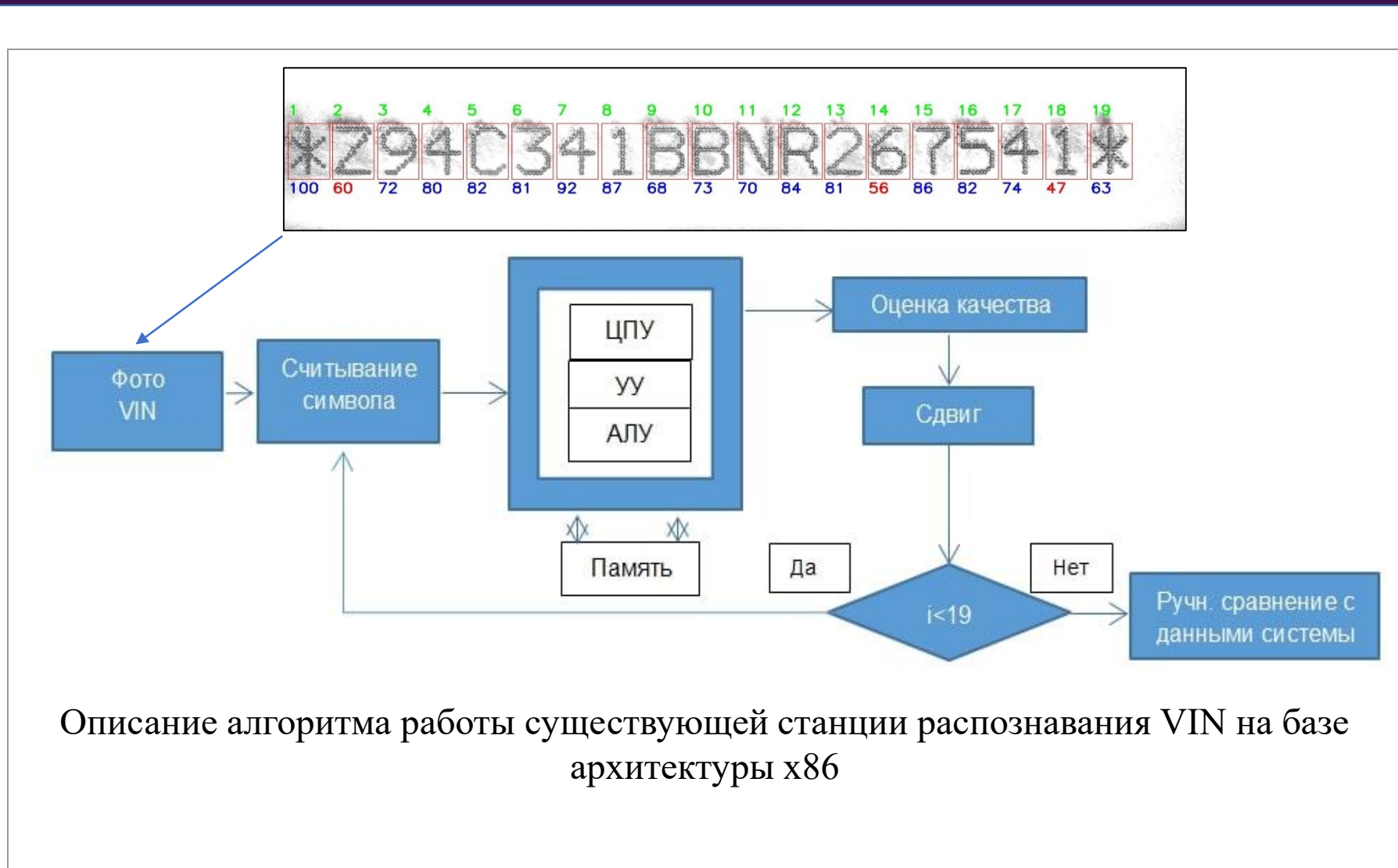
1. Схема дискретного производства (на примере легковых автомобилей)



2. Спецификация системы технического зрения на станции нанесения VIN

Название компонента	Ед. изм.	Спецификация
Механическая часть	1 компл.	Механическая часть для комплекта
Видеокамера	1 шт.	Матрица 1/1.8", 4.4 мкм, макс. разрешение 1624 × 1224 при 29 к/с
Объектив	1 шт.	Кратность увеличения: × 0.03 Поле зрения: 150 × 112.5 мм
Светодиод	4 шт.	Линейная диодная матрица
Сетевая интерфейсная плата	1 шт.	Локальная вычислительная сеть (Ethernet)
ПК	1 шт.	Промышленный компьютер (ЦПУ Intel Core2 Q8300 2.5 ГГц - 4 шт., в/карта NVIDIA GeForce GT610)
Потребляемая мощность 1 процессора	Вт	95 Вт
Производительность	GFLOPS	40
Монитор	1 шт.	19"
Корпус	1 шт.	Ш (600 мм) × Д (640 мм) × В (1600 мм)
Библиотека изображений	1 шт.	Matrox (сопоставление с образцом)
Программное обеспечение	1 экз.	ПО для проверки гравировки на кузове автомобиля
Прочее	1 компл.	Кабеля и другие материалы

3. Описание алгоритма работы существующей станции распознавания VIN



4. Предлагаемое решение на базе нейроморфных процессоров

Параметр для сравнения	Нейроморфные процессоры					x86
	Модуль NM Stick [10] (Россия)	NVIDIA Jetson TX2 [11]	Intel® Movidius™ Myriad™ X Vision Processing Unit (VPU) [12,14]	NVIDIA Jetson Nano [13]	NVIDIA Jetson TX2 NX [13]	Intel Core2
Программные библиотеки	NMDL (NeuroMatrix® DeepLearning)	Пакет драйверов NVIDIA Linux для Tegra®, включая пример файловой системы на основе Ubuntu	SDK с библиотеками для глубокого обучения	JetPack SDK	JetPack SDK	
Рек.ст-сть, \$	н/д	н/д (нет данных)	н/д	99 \$	н/д	
Автономность	Подключ. к ПК (x86)	Независимый компьютер с встроенным модулем для использования искусственного интеллекта				
Потребляемая мощность модуля, Вт	<u>2</u>	<u>10-20</u>	<u>н/д</u>	<u>5 - 10</u>	<u>7.5 - 15</u>	<u>95</u>
Производительность GFLOPs	<u>н/д</u>	<u>1260</u>	<u>1000</u>	<u>472</u>	<u>1330</u>	<u>40</u>
Особенности интерфейса чел.-машин. взаимодействия	доп. операций программирования не требует	работа с JetPack SDK	Платформа FLIC [17]	JetPack SDK	JetPack SDK	

5. Концепция методики использования нейроморфных процессоров

1. Предварительный анализ и описание контрольной операции.



2. Оценка сложности распознаваемого объекта.



3. Оценка целесообразности использования нейроморфных процессоров и искусственных нейронных сетей (ИНС).



4. Создание ИНС и ее обучение на суперкомпьютере.



5. Установка программного и аппаратного обеспечения.



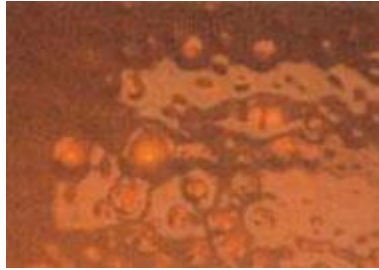
6. Настройка и отладка системы технического зрения.
Опытная эксплуатация. Обучение технического персонала.



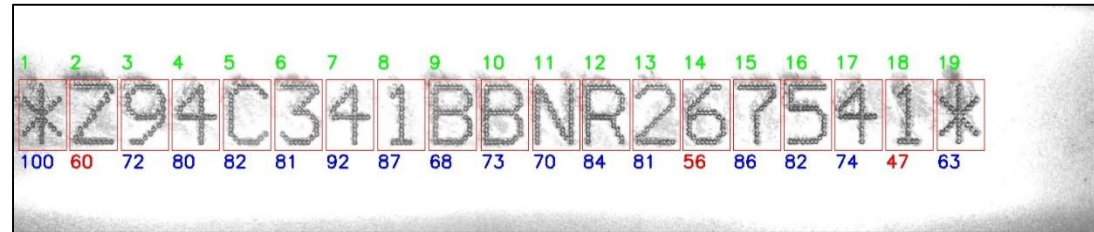
7. Запуск системы в промышленную эксплуатацию.

6. Схема дискретного производства (на примере легковых автомобилей)

Поиск
дефектов
лакокрасочного
покрытия



Распознавание
символов



Идентификация
наличия
элементов



**Automotive
Labeling** for every
part of the vehicle.



7. Пример из практики завода BMW в Регензбурге



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ЧАСТЬ II

- [1] – Шошков Н.О., «Цифровые двойники и организация информационно-управляющего взаимодействия в логистической цепи дискретного производства» // доклад на XVIII Санкт-Петербургской международной конференции “Региональная информатика (РИ-2022)”, Санкт-Петербург, 28 октября 2022, 2-ое пленарное заседание конференции.
- [2] – Галушкин А.И. «Нейрокомпьютеры. Кн 3» : Учеб. Пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2000. – 528 с.: ил. (Нейрокомпьютеры и их применение).
- [3] – Цехановский В.В., Мельников В.Б., Бутырский Е.Ю., Куликов И.А., Жукова Н.А., «Искусственные нейронные сети. (Бакалавриат, Магистратура). Учебник.»
- [4] – Kirsanov A., A.Vavilin, K-H. Jo, «Vector Processing Contours» // Proceedings “The 5th International Forum on Strategic Technology”, Oct.13-15, 2010, Ulsan, Korea
- [5] – Дуда Р., Харт П., «Распознавание образов и анализ сцен. Пер. с англ. Г.Г. Вайнштейна и А.М. Васьковского. Под ред. В.Л. Стефанюка. М. Мир 1976г. 512 с.
- [6] – Харрис, Харрис, «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера, 2-ое издание», 2013
- [7] – Zheng, N. & Mazumder, P., «Learning in energy-efficient neuromorphic computing: algorithm and architecture co-design». 2020. s.l.:Wiley-IEEE Press.
- [8] – Руководство по использованию и эксплуатации VIN Laser Marking System.
- [9] – <https://www.intel.co.uk/content/www/uk/en/products/details/processors.html>
- [10] – https://www.module.ru/uploads/pages/nmdl_ru.pdf
- [11] – <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-tx2/>
- [12] – <https://www.intel.co.uk/content/www/uk/en/products/sku/204770/intel-movidius-myriad-x-vision-processing-unit-0gb/specifications.html>
- [13] – <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano>
- [14] – <https://www.intel.in/content/www/in/en/products/docs/processors/movidius-vpu/myriad-x-product-brief.htm>

Часть III. Иллюстрирующий пример для информационных систем пятого уровня

Уровень ЦДПП	Форма информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ)	КИС, АСУ ТП	Осведомленность о местоположении материалов	Задержка во времени обновления информации	Уровень агрегирования номенклатуры продукции
0	Контроль в ручном режиме	нет	нет		Категория продукции
1	Отображение текущего состояния ПП, фактическое расположение материальных объектов - на уровне организационных единиц (цехов)	ERP, BOM, MDM, APS, BI	На уровне организационной единицы	В соответствии с частотой инвентаризации (дни, месяцы)	
2	Отображение текущего состояния ПП с учетом фактического расположения материальных объектов на конвейере, ячейках склада (адресное хранение), транспорте	+MES 2.0 - 4.0, WMS	На уровне ячейки склада, транспортного средства	В режиме реального времени	Точное описание всех (значимых) свойств продукции
3	Управление оборудованием с помощью ЦДПП-экземпляра	+AS/RS ¹ RTLS ²	В соответствии с точностью RTLS		
4	Моделирование будущих состояний ПП, оценка вариантов в режиме реального времени	+ SS RT			
<u>5</u>	<u>Автоматическое управление ПП с помощью ЦДПП</u>	<u>+ MES 5.0?</u>			

Часть III. Идеи создания ЦДПП пятого уровня

Предложения

1. Для реализации цифровых двойников производственных процессов 5-го уровня в качестве математического обеспечения следует применить методы нейро-нечеткого управления, адаптированные для «открытых» систем.
2. Для лабораторных экспериментов при построении ЦДПП 5-го уровня предлагается использовать методы агентно-ориентированного моделирования.

Заключение

1. Предлагается подход с использованием понятий из теории управления организационными системами (ТУОС) и рефлексивного управления для описания и интеграции корпоративных информационных систем управления и АСУ ТП участников логистической цепи дискретного производства с целью измерения состояния и автоматизации их информационно-управляющего взаимодействия (ИУВ). В зависимости от зрелости информационных технологий, используемых на предприятии, предлагается классификация из пяти уровней.
2. В качестве основной аппаратной части реализующей на практике методологию цифрового двойника производственного процесса (четвертого уровня) предлагается использовать нейроморфные процессоры.
3. Для реализации цифрового двойника производственного процесса (пятого уровня) предлагается использовать методы нейро-нечеткого управления, адаптированные для «открытых» систем.

Спасибо!

Контакты:

Шошков Николай Олегович, к.т.н., руководитель департамента
исследований и разработок ООО «ХММР»

Email: n.shoshkov@hyundai-motor.ru nikolay@shoshkov.com

Телефон/WhatsApp: +7 (921) 332-31-86