



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

# КАФЕДРА ТЕЛЕМАТИКА

**Курс: методы исследовательской работы**

## Лекция I

«Цифровые двойники»:

«кривое зеркало» или инструмент  
развития производственных технологий

---

28 января 2021 г.

# Используемые «коды» понятий:



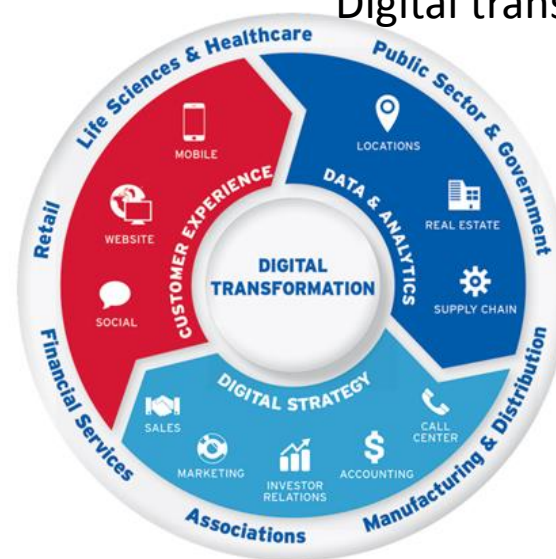
Digital twin



Digital transformation

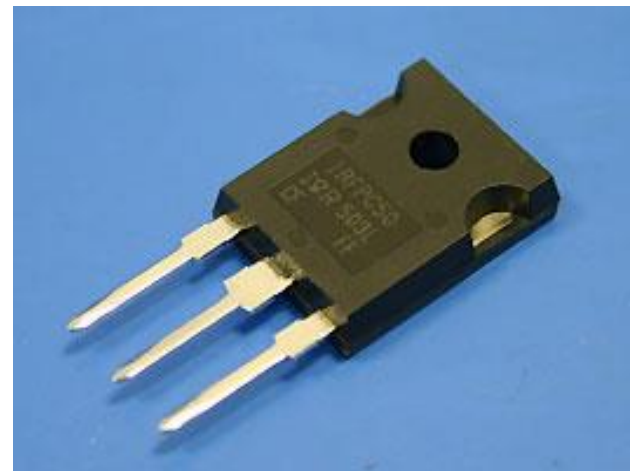
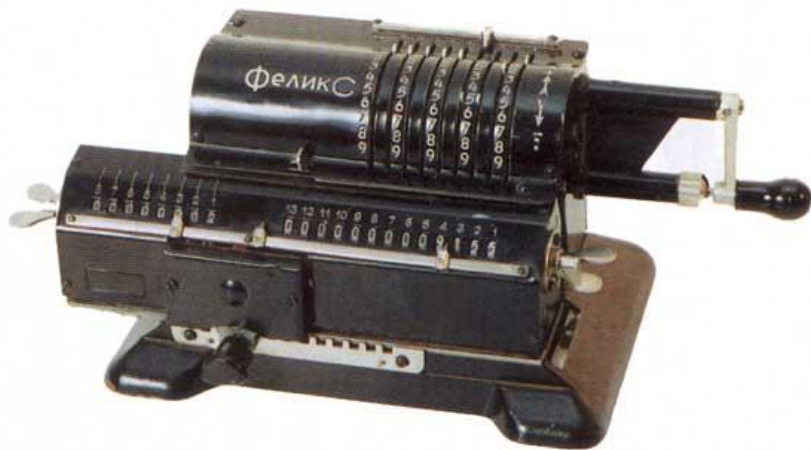


distorting mirror

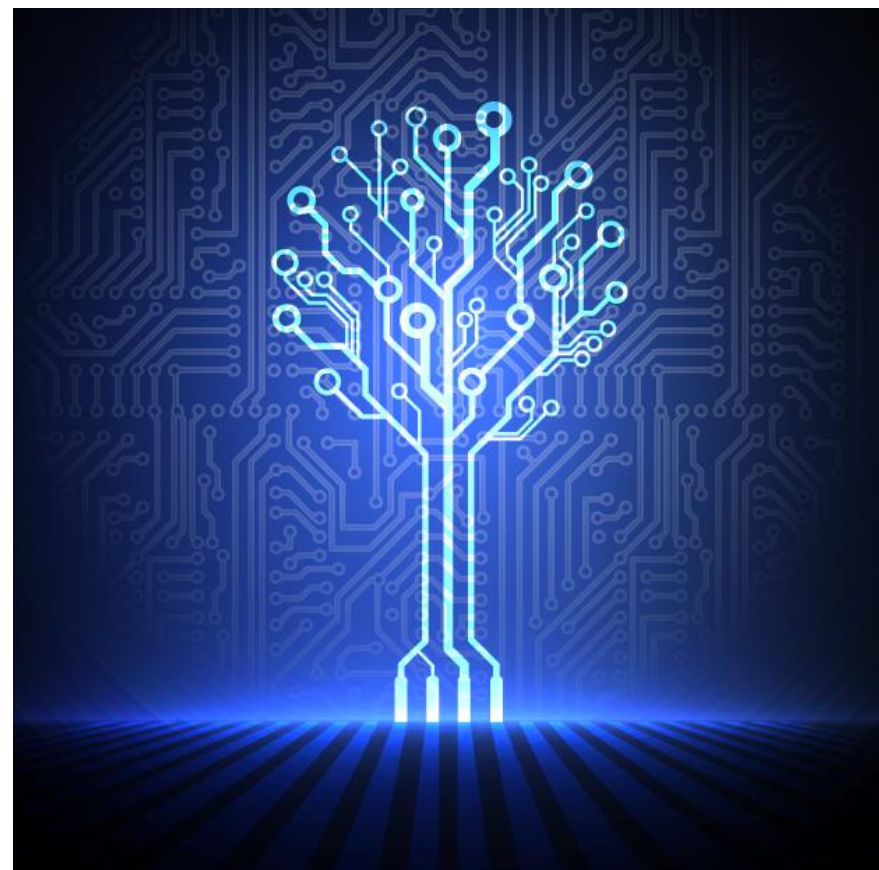




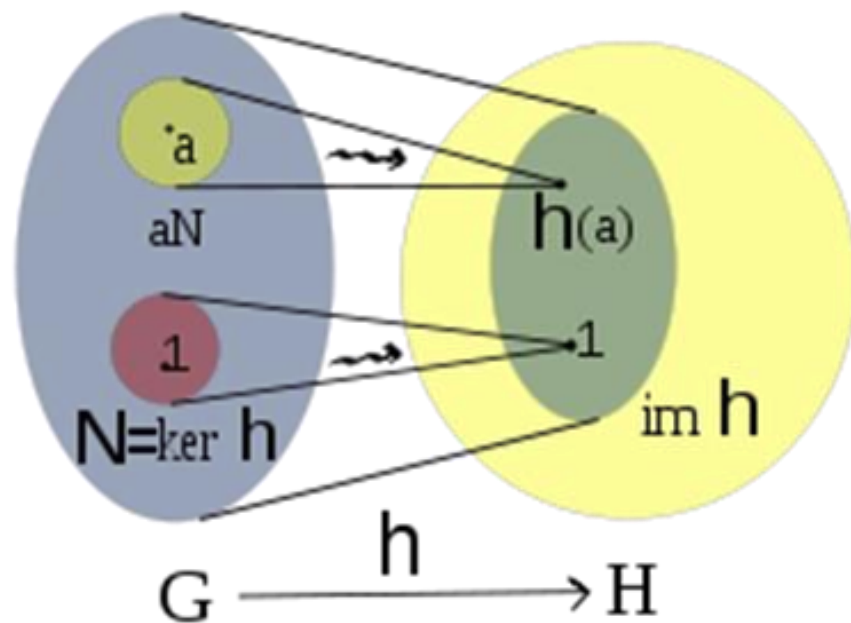
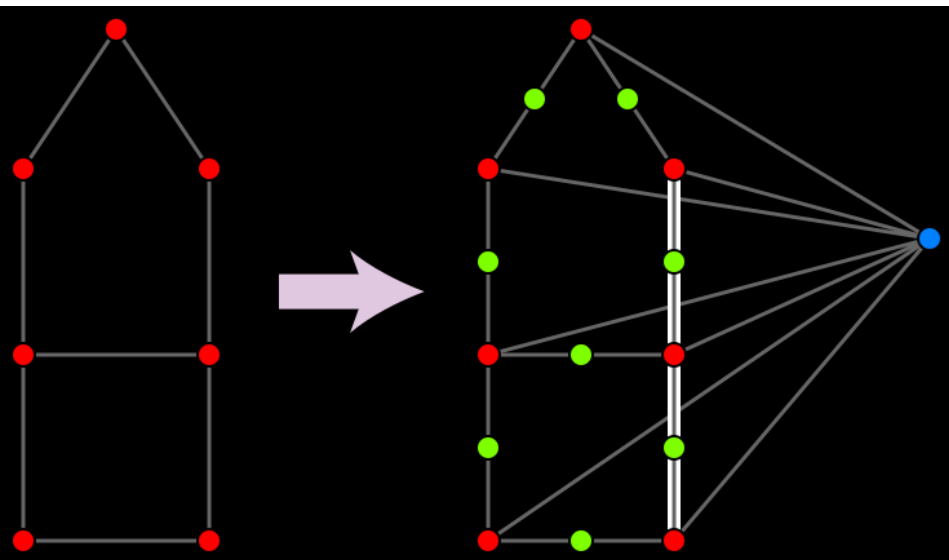
# вычисление как физический процесс



или - новый объект !?

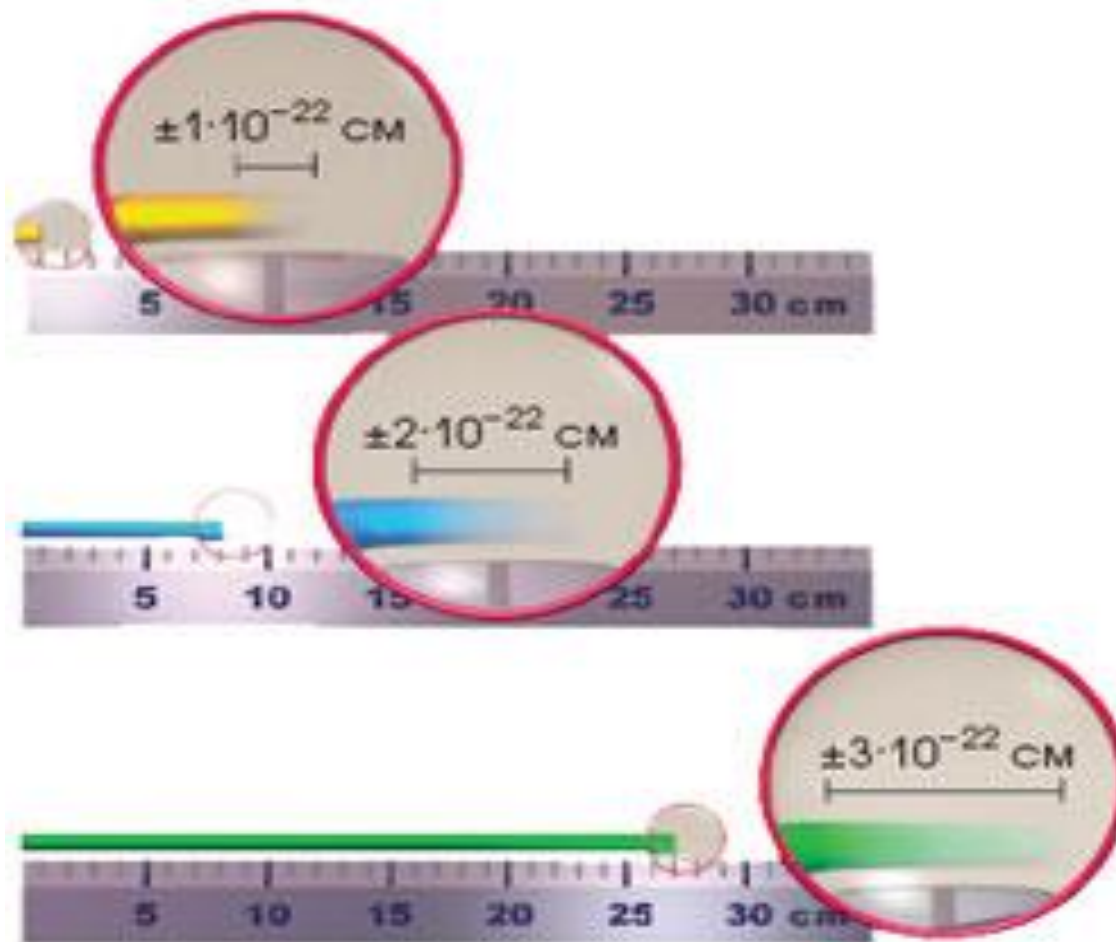


Цифровой двойник – сохраняет операции и отношения, характерные для реального объекта:



Точность измерений и коды атрибутов зависят от размеров объектов

7



# Роль «наблюдателя» в формировании приближенной картины Мира

- Поскольку полнота и точность воспроизведения физического мира в сознании человека всегда **относительны** (а о «взаимной однозначности» т.е. изоморфизме вообще не может быть речи), то соответствия между предметами внешнего мира и их образами в человеческом сознании **носят гомоморфный** (приближенный) характер.
- В каждый момент времени, каждый человек использует «картину мира», с характерными для данной ситуации операциями и отношениями.
- Учет роли наблюдателя заключается в логически непротиворечивой для текущей «картины мира» **свертке всей доступной в результате измерения информации** об объектах или, процессах в удобную для последующих «вычислений» форму.



# Digital Twin или Цифровой Двойник (ЦД)

**Определение.** ЦД – специальная база знаний - параметрически и структурно «замкнутое» описание промышленного изделия, объединяющее (на основе многомасштабной, гибридной компьютерной модели) различные процессы, участвующие в его проектировании, производстве и эксплуатации.

Как: ЦД создается путем агрегирования компьютерных моделей, которые валидируются на основе данных, получаемых от датчиков, средств телеметрии, систем моделирования, оборудования, участвующего в изготовлении, сборки и техническом обслуживании изделия.

Зачем: Цель применения ЦД - повысить уровень эффективности производства за счет поддержания на заданном уровне основных эксплуатационных характеристик работы изделия на всех этапах «жизненного цикла», а также совершенствование процессов проектирования, производства и модернизации изделия с учетом опыта эксплуатации прототипов.

# этап Digital Transformation

ЦД представляет из себя **новый класс «интегрированных баз знаний»**, которые **построены на основе** стекинга мультимодальных данных и иерархических композиций цифровых моделей изделия, агрегируя информацию о:

- производственных операциях на заводе-изготовителе (**as-build**),
- свойства применяемых для изготовления изделия материалов,
- особенностях процессов обслуживания (**as-maintained**), выполняемых доработках, изменениях в конструкции, технологии производства и версиях используемого ПО

в набор доступных для компьютерной обработки цифровых данных

# Industry 4.0: общее пространство цифровых данных в САМ-системах

ЦД - основа формирования "общего пространства цифровых данных" трех ключевых инженерных этапов

- разработка изделия
- производство изделия
- эксплуатация изделия

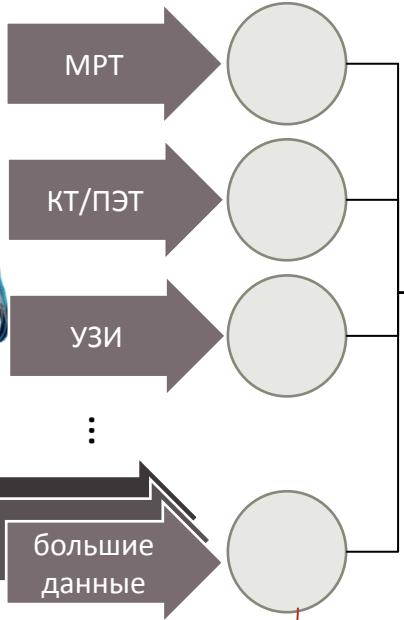
и структуру цифровых потоков данных (ЦПД) в САМ-системах, определяющих персонализированные особенности жизненного цикла (ЖЦИ) конкретного промышленного изделия

# «Цифровая нить», связывающая разработку, производство, потребление и обслуживание продукции

1. Реализация процессного подхода ко всему жизненному циклу продукции
2. Разработка ролевой модели технического персонала
3. Формирование цикла проектирование - производство - эксплуатации за счет технологий интернета вещей, машинного обучения и применения систем ИИ
4. . Передача функций технического персонала и сбора информации об эксплуатации продукции автоматизированным системам на основе сети IIoT
5. Автоматизация процессов доработки, исправления ошибок проектирования и модернизации изделий с использованием ПМИ

# Пример: «ЦД пациента»

Потоки первичных данных, характеризующих состояние биологических тканей и процессов

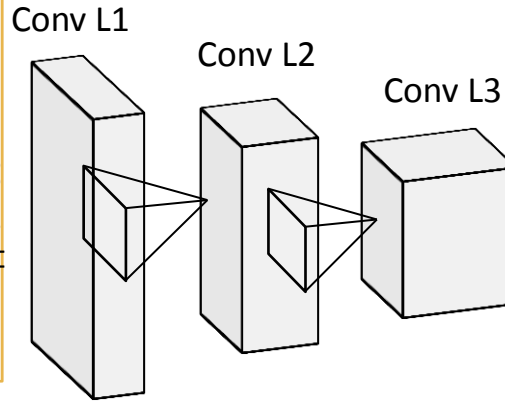


Персональный цифровой «двойник»

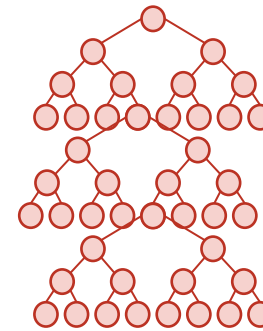
## Суперкомпьютерный центр хранения, анализа и предсказательной диагностики

Нейронная «сверточная» сеть предварительной классификации

вход в систему классификации и диагностики



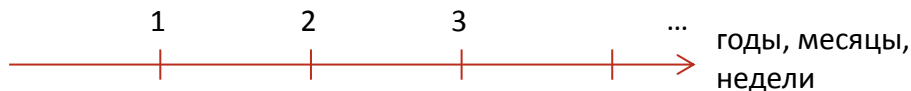
«Глубокие леса» анализа метаданных



персональные данные

Данные мониторинга и клинические анализы

«мультимасштабные ряды данных» результатов анализа патологий, генерации диагноза в сети «БЛОК chain»



Персональные

Публичные

# «Кривое зеркало» ЦД

Очевидно, что современное производство, интегрирующее различные процессы и объекты, не может быть конкурентоспособным без внедрения цифровых решений. Однако:

- Внешнее сходство не гарантирует функционально-динамическое подобие, что принципиально важно при использовании ЦД для описания неустойчивых процессов и объектов;
- «Поведение» ЦД как финитной модели в различных режимах работы может радикально отличаться от поведения его физического прототипа.
- ЦД – как база знаний может «знать» правила, но не наделена способностью «понимать» их суть.

ЦД не наделенный функцией самоконтроля целостности становится «кривым» зеркалом реальности. Эта фундаментальная проблема и ее уровень сложности соизмерим со знаменитой проблемой  $P=NP$ .

# Стандартизация как проблема обеспечения безопасности и устойчивого развития

Развитие технологий происходит слишком быстро, быстрее чем формирование стандартов.

В этих условиях лучшее, что есть – кооперация в использовании структур данных с учетом требований обеспечения информационной (кибер) безопасности.

При этом проблема аутентификации тех, кто запрашивает информацию о ЦД изделия из PLM систем имеет ключевое значение для технологии IoT индустриального уровня или IIoT.

Поэтому «вычисление» рисков поломок или даже аварий в реальном масштабе времени на основе скейлинга мультимодальных корреляций о состоянии объекта, формирует новый стандарт на «цифровую» бизнес-модель современного «безопасного производства» и PLM как постоянно (устойчиво) развивающуюся систему.

# Все дело в данных

Цифровой двойник – это пополняемая база знаний о данных и моделях поведения изделия на различных стадиях его создания и эксплуатации, которая не может быть полностью сформирована на стадии планирования или организации производства изделия.

Итак, для ЦД требуются данные, которые получаются в процессе эксплуатации, модернизации и ремонта изделия.

Суть проактивной технологии производства на основе ЦД в непрерывности цифрового жизненного цикла изделия, так как ЦД объекта или процесса в реальности постоянно изменяться и эти изменения необходимо отразить в используемых цифровых моделях.



# «Цифровое потоки данных» (ЦПД) - кровеносная система «Индустрии 4.0»

ЦПД позволяют автоматизировать процессы управления качеством промышленных изделий, повышать надежность, снижать стоимость эксплуатации и владения сложными промышленными изделиями за счет:

«замыкания» в общем цифровом пространстве данных и моделей информационной петли обратной связи всех процессов ЖЦИ изделия, включая этапы проектирования, изготовления и эксплуатации

# От ЦД процессов к персонализированной модели изделия (ПМИ)

**Проблема:** Несмотря на унификацию процессов производства каждое изделие обладает набором индивидуальных характеристик. На основе ЦД может быть создана "персонализированная" модель изделия (ПМИ), а именно: цифровая компьютерная модель (КМ), которая может применяться для расчетов и параметрически корректироваться с учетом данных, получаемых при изготовлении и реальной эксплуатации изделия.

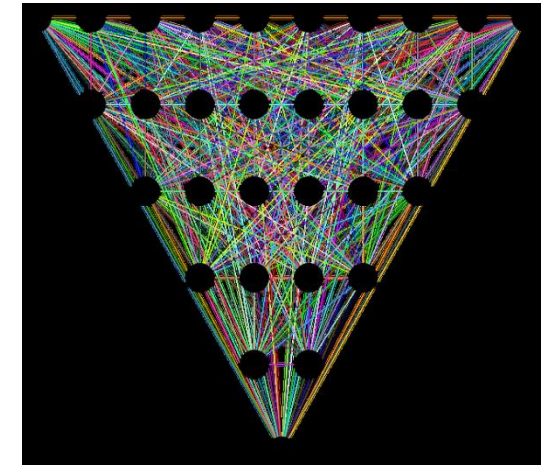
**Решение:** Совокупность ЦД процессов и ПМИ на основе технологии стекинга мультимодальных данных формирует новую сущность - производственный ЦИФРОВОЙ двойник (ПЦД) изделия – точное описание изделия с учетом сложных поведенческих шаблонов, зависящих от настройки станков, температуры материалов, мероприятий по техническому обслуживанию оборудования и других факторов, позволяет улучшать УП и повышать качество продукции

# радикальный способ экономически эффективно увеличить производительность труда

- 1) создать интеллектуальную САМ систему основанную на “вычисление” с помощью специализированной на определенных технологиях промышленной нейронной сети оптимальных производственных решений;
- 2) сократить штат посредников, менеджеров, и др. так называемых организаторов производства



## Промышленная «нейронная» сеть



## Проблемы «цифровые двойники и фабрики будущего»

- 1. Реализация принципов «целостного бизнес процесса от проектирования. До производства и сбыта»** на основе управления всем комплексом логистико-технологических связей, включая агрегирование мультимодальных данных рынка, создание баз знаний о потребностях в продукции, систем контроля исполнения заказов на основе распределенных реестров, обеспечение целостности финансовой и производственной информации
- 2. Обеспечения кибербезопасности цифрового производства** в условиях, когда финансово значимые решения «вычисляются» с использованием алгоритмов машинного обучения, прогнозирования, планирования и оценки рисков с учетом обратных связей, охватывающих информационный социум в целом.
- 3. Разработка специализированных вычислительных платформ и программных приложений** для формирования «рынка без посредников» на основе технологий «аналитики больших данных», персонализированных заказов и интеллектуальных сервисов