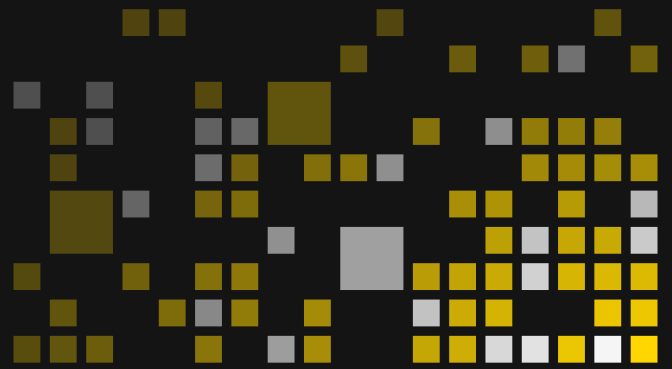
КОД ИБ КАЗАНЬ · 12 НОЯБРЯ 2026

ИИ в технологическом аудите производств

Система технологического аудита производства. Выявление причин производственных потерь по данным контроля изделий

Дмитрий Евгеньевич Чикрин

д.т.н., директор Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии (КФУ)



Потери предприятия могут формироваться не только в изделии, но и в процессе принятия решения о его качестве



разброс изделия	стенд и эталон	алгоритм обработки	неопределённость	правила сортировки

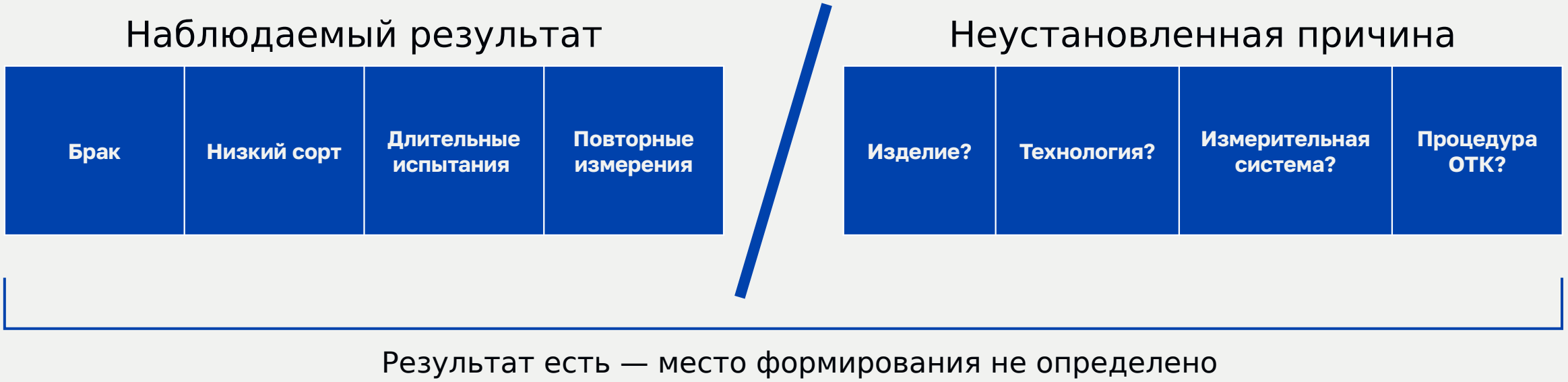
До изменения конструкции или технологии необходимо установить, на каком уровне формируется наблюдаемое отклонение

«Эдисон» — система технологического аудита, связывающая данные контроля с физикой изделия и экономикой производства



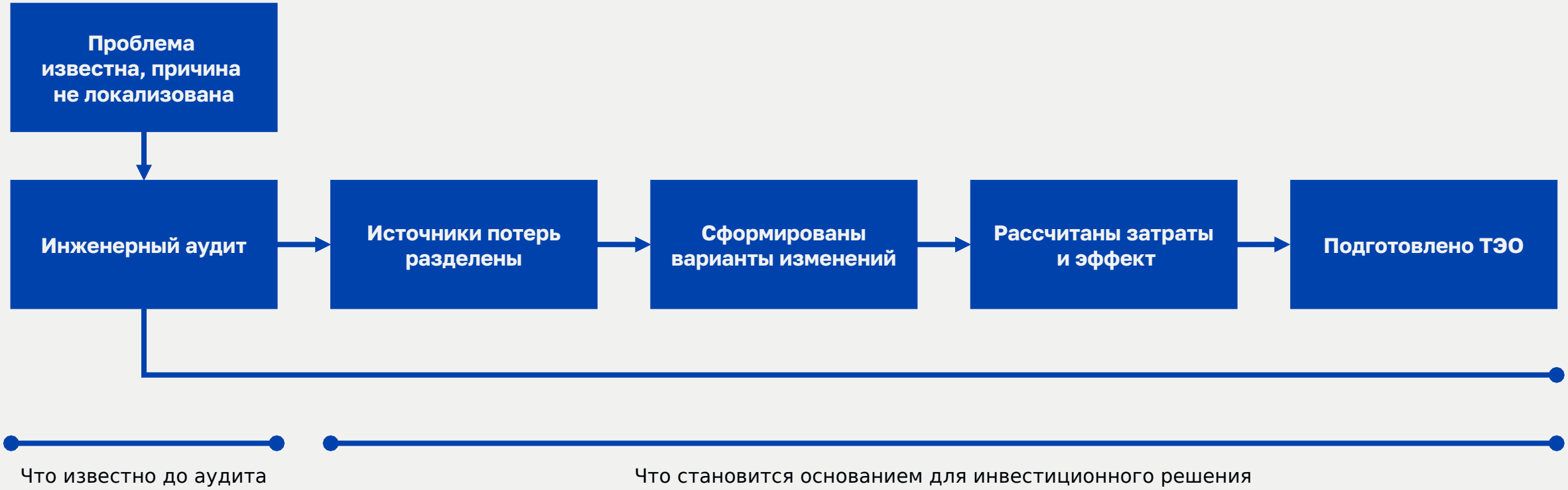
НЕ ТОЛЬКО	А
Статистический анализ	Инженерная диагностика
Аудит ОТК	Цепочка от изделия до решения
Разовый отчёт	Основа для изменений

Данные контроля фиксируют потери, но штатная система качества не всегда локализует место их возникновения



Без локализации причины управленческое решение может быть направлено не на тот объект

Аудит снижает неопределённость перед принятием решения о модернизации



Без локализации причины управленческое решение может быть направлено не на тот объект

Технологический аудит позволяет дилеру войти в проект до формирования технического задания на модернизацию

Обычная модель продаж

Сформированное ТЗ → **Поиск поставщика** → **Конкуренция по решению и цене**

Модель с **«Эдисоном»**

Производственная проблема → **Технологический аудит** → **Установленная причина** → **Варианты модернизации** → **ТЭО и финансирование** → **Поставка и внедрение**

Дилер участвует в формировании проекта, а не только в поставке уже выбранного решения

Масштабируемость определяется не отраслью, а структурой производственной задачи

Критерии применимости	Области применения
Серийная или малосерийная продукция	**Электроника и радиоэлектроника** MEMS, резонаторы, свч-модули
Численные характеристики отдельных изделий	**Машиностроение** подшипники, зубчатые колёса, клапаны
Решение о годности, сорте или классе	**Автомобилестроение** Форсунки, датчики, свечи
Накопленные данные контроля, испытаний или калибровки	**Инструменты и оснастка** Режущий и измерительный инструмент
	Химическая промышленность Катализаторы, мембраны, фильтры

Единая логика аудита переносится между изделиями, номенклатурой и производственными площадками

Пилотный аудит ограничивает риск заказчика и создаёт основание для решения о масштабировании

ОДНО ИЗДЕЛИЕ → ОДИН МАССИВ ДАННЫХ → 4–6 НЕДЕЛЬ → ИЗМЕРИМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ → РЕШЕНИЕ О МАСШТАБИРОВАНИИ

Объект	одно измеряемое изделие
Срок	4–6 недель
Стоимость	Согласно прайсу
Оплата	Согласно прайсу

Технический отчёт
+ рекомендации
+ план внедрения

Фактический состав работ и стоимость уточняются с учётом документации, режимов контроля, выборки и доступности исходных данных

Результаты аудита могут стать основой для привлечения финансирования

Инструменты поддержки

- **Гранты** — НИОКР, прототипы и вывод технологии на рынок
  ФСИ: „Старт“, „Развитие“, „Коммерциализация“; „Сколково“
- **Льготное финансирование** — модернизация и серийное производство
  ФРП и региональные ФРП; льготные кредиты и лизинг
- **Кооперация с наукой** — разработка и промышленное внедрение
  Постановление Правительства РФ № 218; научные гранты; ИНТЦ
- **Инвестиционные режимы** — крупные производственные проекты
  СПИК, СЗПК, ОЭЗ и индустриальные парки
- **Рост и выход на рынок** — гарантии, экспорт и частный капитал
  Корпорация МСП, РЭЦ, ФРИИ, венчурные фонды

Совместная подготовка

01 Отбор программ под стадию, отрасль и параметры проекта

02 ТЭО, бизнес-план и расчёт производственного эффекта

03 Техническая документация, календарный план и смета

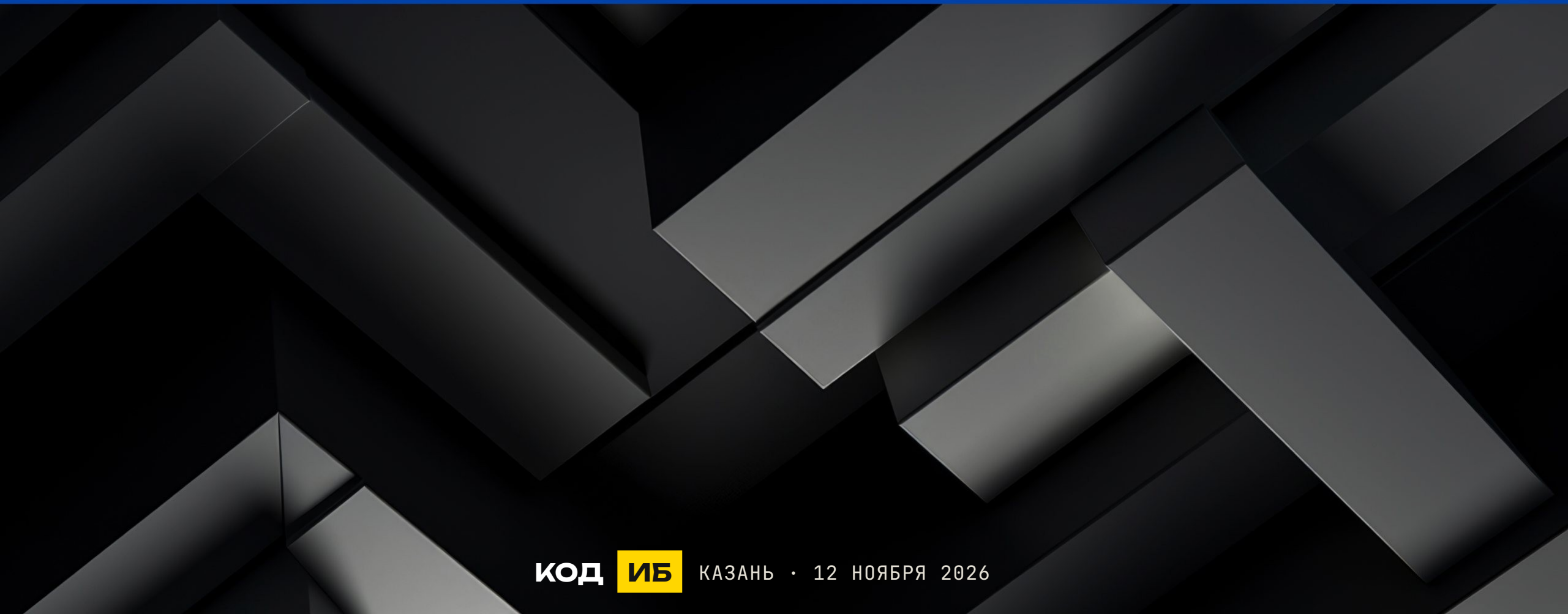
04 Комплект заявки и сопровождение взаимодействия с институтом развития

РЕЗУЛЬТАТ: проект, подготовленный к рассмотрению финансирующей организацией

ИДЕЯ / НИОКР	ПРОТОТИП	ПИЛОТ	СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	МАСШТАБИРОВАНИЕ
ФСИ, научные гранты	ФСИ, Сколково	№ 218, отраслевые меры	ФРП, кредит, лизинг	СПИК, СЗПК, ОЭЗ

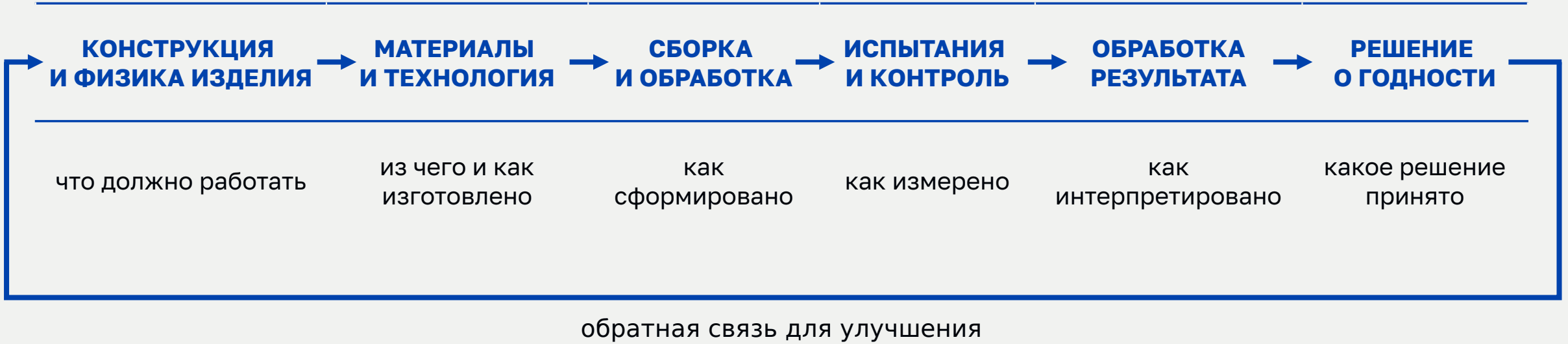
Подготовка документов повышает обоснованность заявки, но не гарантирует предоставление финансирования; доступность и условия программ уточняются на дату обращения

Техническая детализация решения



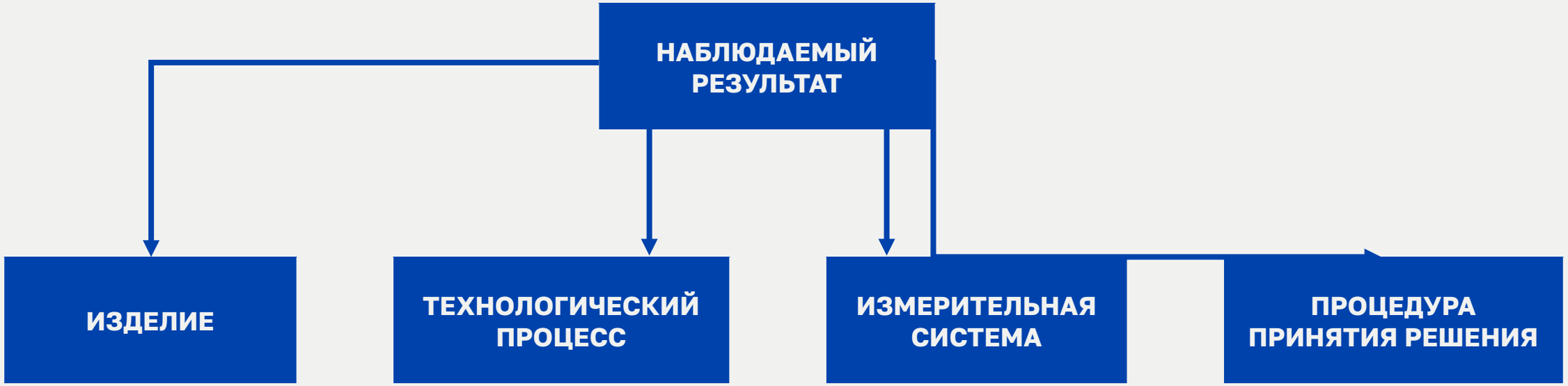
КОД ИБ КАЗАНЬ · 12 НОЯБРЯ 2026

Аудит рассматривает измеряемое изделие как часть замкнутой производственно-измерительной системы



Исследуется не только распределение параметра, но и механизм его формирования

Задача аудита — отделить вариацию изделия от вариации процесса и измерительной системы



$$V_{\text{наблюдаемая}} = V_{\text{изделия}} + V_{\text{процесса}} + V_{\text{измерительной системы}} + V_{\text{процедуры}}$$

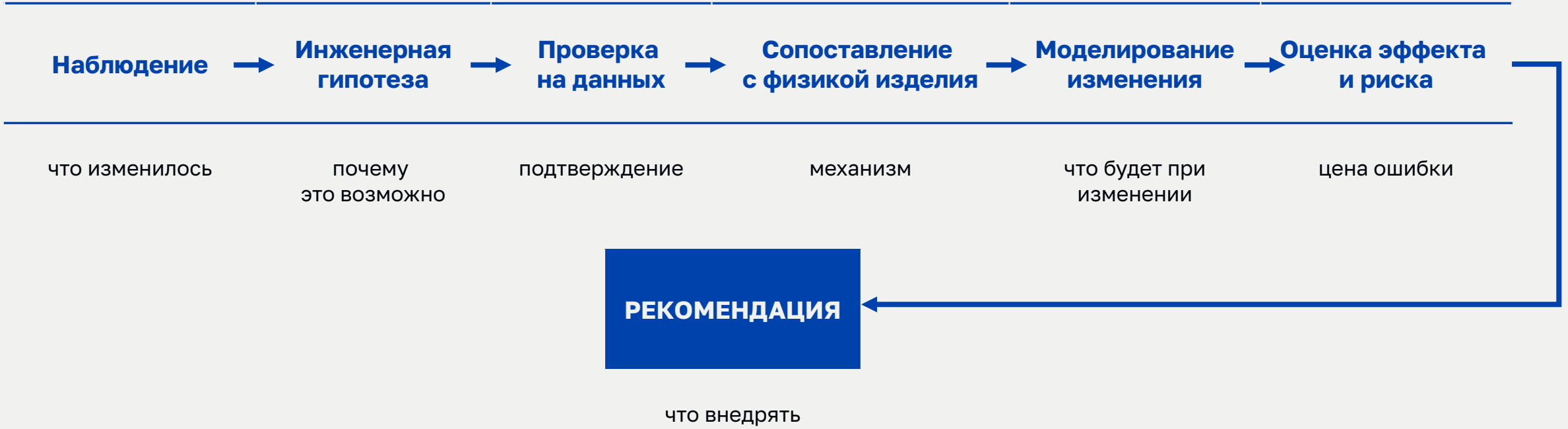
с учётом взаимодействий факторов и временной динамики

Один и тот же неудовлетворительный результат может иметь различную инженерную природу

Уровень	Исследуемые факторы	Возможное решение
Изделие	Материалы, геометрия, чувствительный элемент, соединения	Изменение конструкции, настройки или компенсации
Процесс	Обработка, сборка, выдержка, очистка, режимы	Корректировка технологии
Измерительная система	Стенд, эталон, датчики, АЦП, обработка	Настройка оборудования, исключение ложного брака
Процедура ОТК	Точки, повторы, допуски, порядок измерения	Сокращение контроля, повышение достоверности

Диагностика начинается с выбора уровня, на котором следует искать причину

Рекомендация появляется после проверки гипотезы, а не после обнаружения статистической зависимости



Статистическая связь — основание для инженерной проверки, но не замена инженерной интерпретации

Метод выбирается под физику изделия, структуру данных и конкретный вопрос предприятия

Распределения и вариация

- робастная статистика
- анализ выбросов
- многомодальность
- кластеризация партий и режимов

Повторяемость и воспроизводимость

- влияние оборудования
- оператора, смены и партии
- оценка повторяемости
- разделение изделия и измерительного тракта

Временная динамика и моделирование

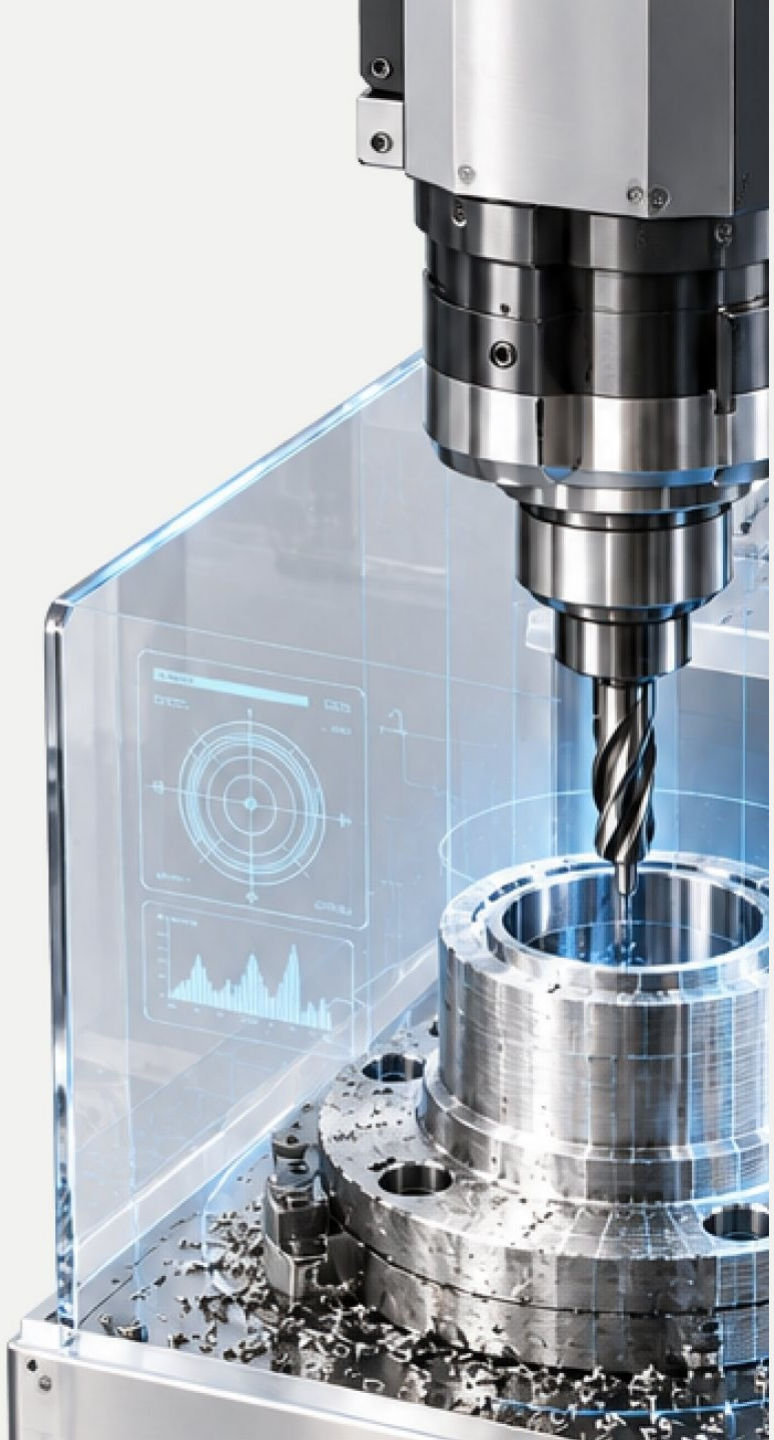
- временные ряды и дрейф
- переходные процессы и старение
- спектральный анализ и анализ Аллана
- регрессионные и физико-математические модели
- моделирование сокращённых испытаний
- оценка неопределённости

Методика не фиксирована заранее: она формируется от объекта, данных и проверяемой гипотезы

Результатом является управляемая карта изменений, а не только технический отчёт

Вывод	Доказательство	Действие	Критерий проверки
Источник отклонения	Данные + физическая модель	Изменение операции	Повторный контроль
Избыточность повтора	Моделирование	Сокращение измерений	Риск ошибочной приёмки
Нестабильность стенда	Анализ повторяемости	Настройка оборудования	Межсерийная стабильность
Влияние процедуры ОТК	Сопоставление допусков и неопределённости	Изменение порядка контроля	Достоверность решения

наблюдение → доказательство → изменение → контроль результата



Эффект проекта складывается из нескольких независимо оцениваемых компонентов

$$E_{общий} = E_{брака} + E_{сортности} + E_{контроля} + E_{цикла}$$

$E_{брака}$

снижение стоимости необоснованного или ложного брака

$E_{сортности}$

снижение стоимости необоснованного или ложного брака

$E_{контроля}$

сокращение измерений, повторов и загрузки стендов

$E_{цикла}$

сокращение испытаний, калибровки и ожидания стабилизации

Состав эффекта определяется **исходной** структурой потерь конкретного предприятия

Результаты ранее выполненных работ показывают диапазон потенциального эффекта

Показатель	Ранее достигавшийся результат	Как интерпретировать
Снижение себестоимости	**До 75%**	Результат отдельного проекта, Не универсальная норма
Выход продукции высшего сорта	**В 2 раза**	Зависит от исходной структуры сортности
Длительность калибровки	**С 2 месяцев до 1,5 недели**	Эффект зависит от методики и режима испытаний

Приведённые значения — примеры ранее достигавшихся эффектов, а не гарантия аналогичного результата.
Фактический эффект зависит от исходного уровня потерь, технологии, методики контроля и доступности данных

Спасибо за внимание

Дмитрий Евгеньевич Чикрин

dmitry.kfu@yandex.ru

+7 (917) 272-71-00

