

РЕВЕРСНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

археология смыслов

Сергей Зотов

2024

ESTlab.ru

Engineering — Science — Technology
Поиск путей в хаосе первичной информации

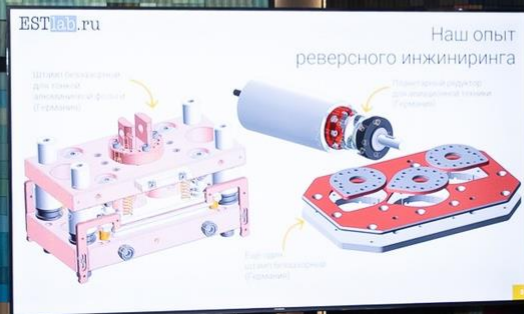
Добрый день!

Меня зовут Сергей Зотов и я основатель, руководитель и главный конструктор команды ESTLAB.ru

Реверсным инжинирингом я занимаюсь уже 16 лет. Какие-то проекты я выполнил лично, в каких-то выступал в качестве координатора работ. Потому я могу делать некоторые умозаключения на эту тему.

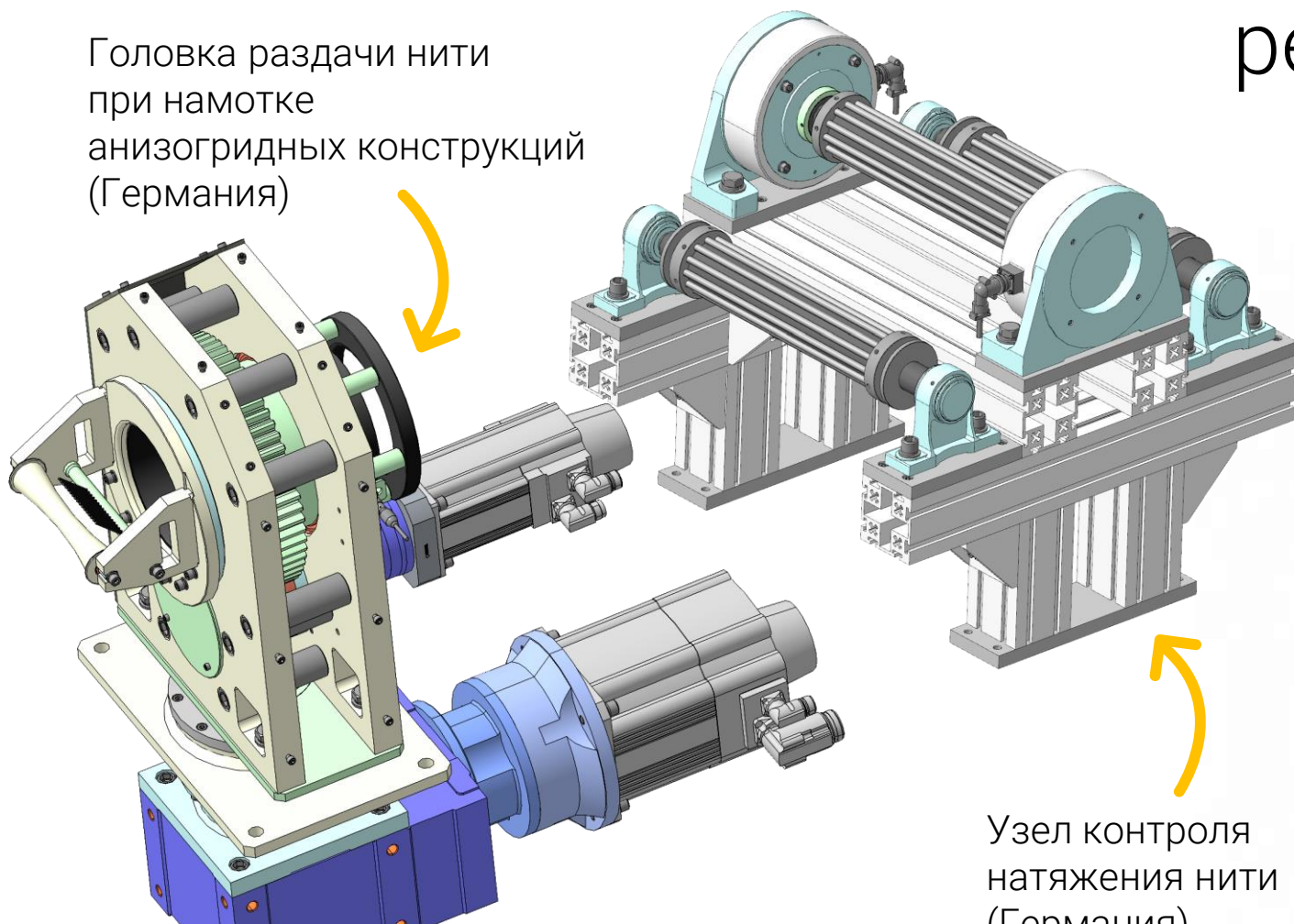
Кстати, все проекты, за исключением одного, были выполнены в Компас-3D.

Итак, приступим.

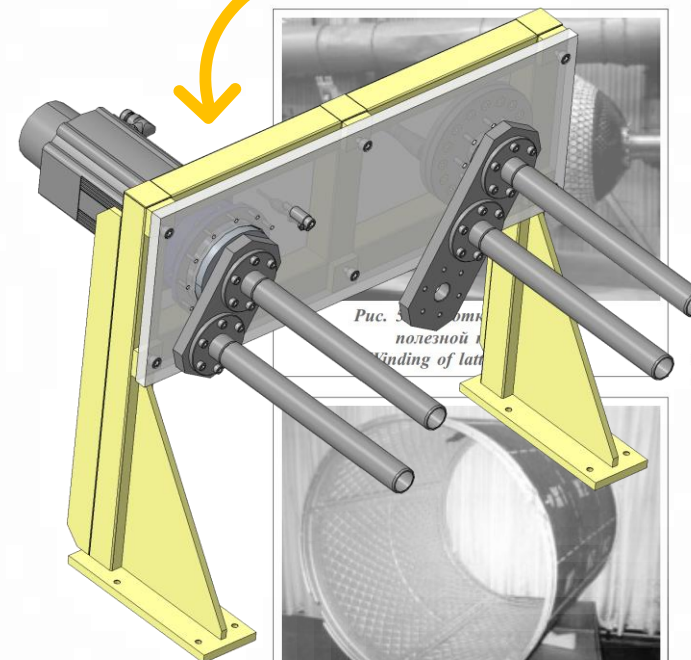


реверсного инжиниринга

Головка раздачи нити
при намотке
анизогридных конструкций
(Германия)



Узел натяжения нити
при размотке
(Германия)



Узел контроля
натяжения нити
(Германия)

Как сказал Ричард Гир в фильме «Красотка»: — Моим первым автомобилем был лимузин. А моим первым проектом в реверсном инжиниринге были узлы установки для намотки анизогридных конструкций. Анизогридные конструкции – это корпуса не-совсем-гражданских изделий. Эти изделия летают.

Рис. 5. Узел натяжения нити при размотке
Binding of lattice

Рис. 7. Сетчатая конструкция с
алюминиевым лейнером
Composite lattice structure
with an aluminum liner

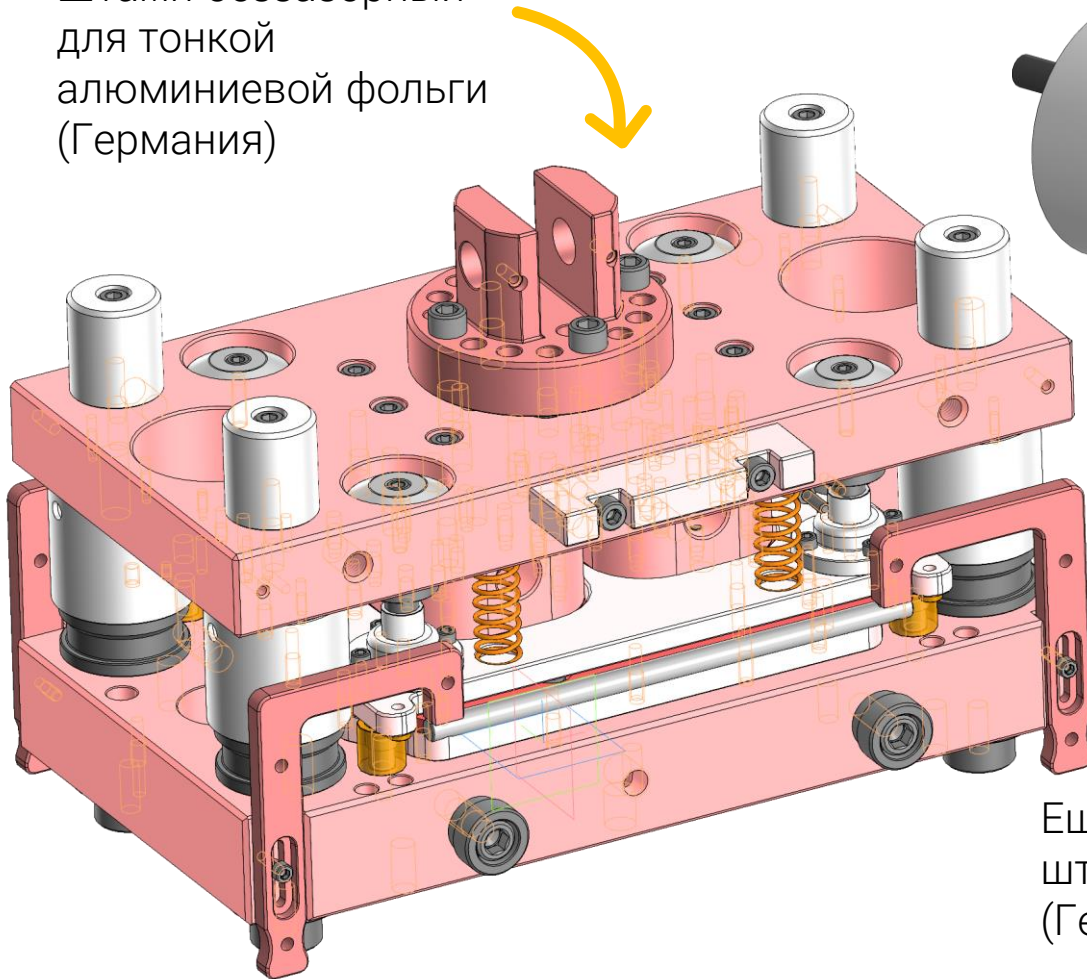
Рис. 6. Обработка наружной
поверхности адаптера
Machining of the adapter outer surface

Рис. 8. РН «Протон-М»
Proton-M space launcher

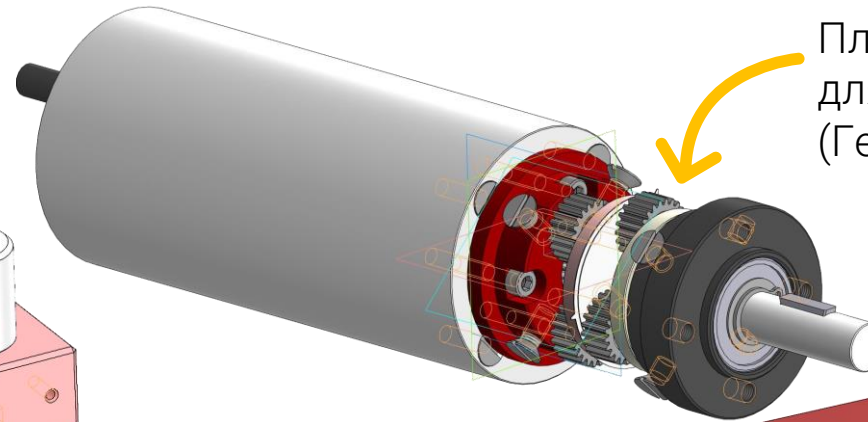
Относительная простота конструкции, высокая стабильность производства и большой опыт лётной эксплуатации сделали ракету «Протон» одним из самых надёжных носителей в мире. В настоящее время РН «Протон» является транспортной основой Государственной космической программы

Наш опыт реверсного инжиниринга

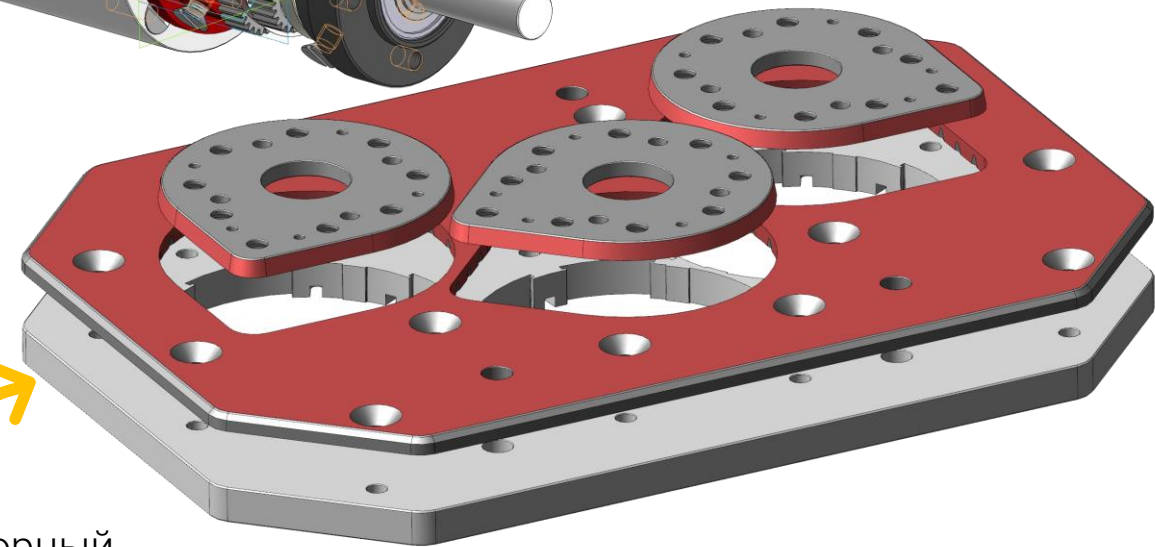
Штамп безззорный
для тонкой
алюминиевой фольги
(Германия)



Планетарный редуктор
для авиационной техники
(Германия)



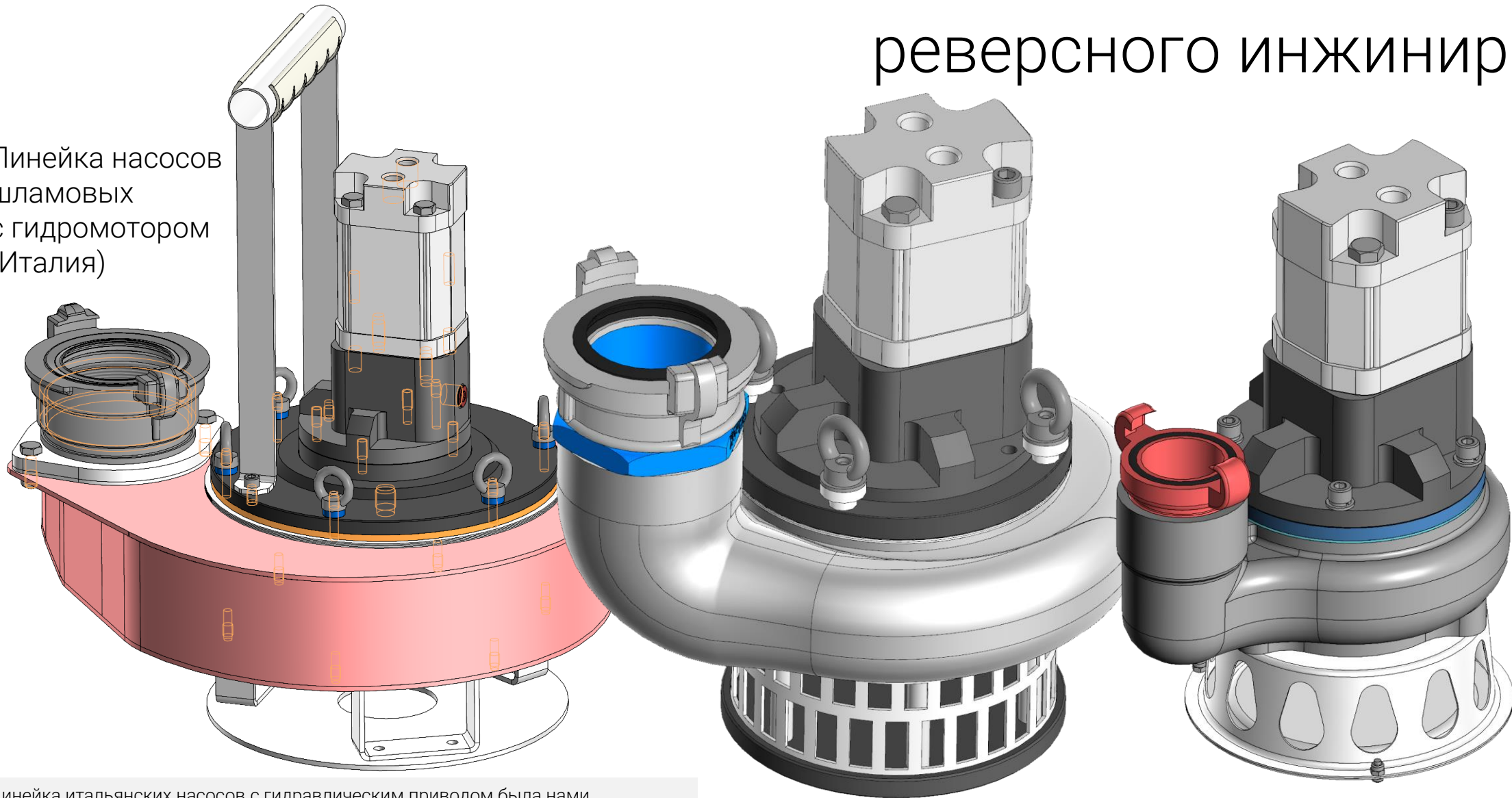
Ещё один
штамп безззорный
(Германия)



Мы работали со штампами и авиационными редукторами: разрабатывали конструкторскую документацию, решали вопросы замены материалов. Оба заказчика осваивают производство по нашей документации.

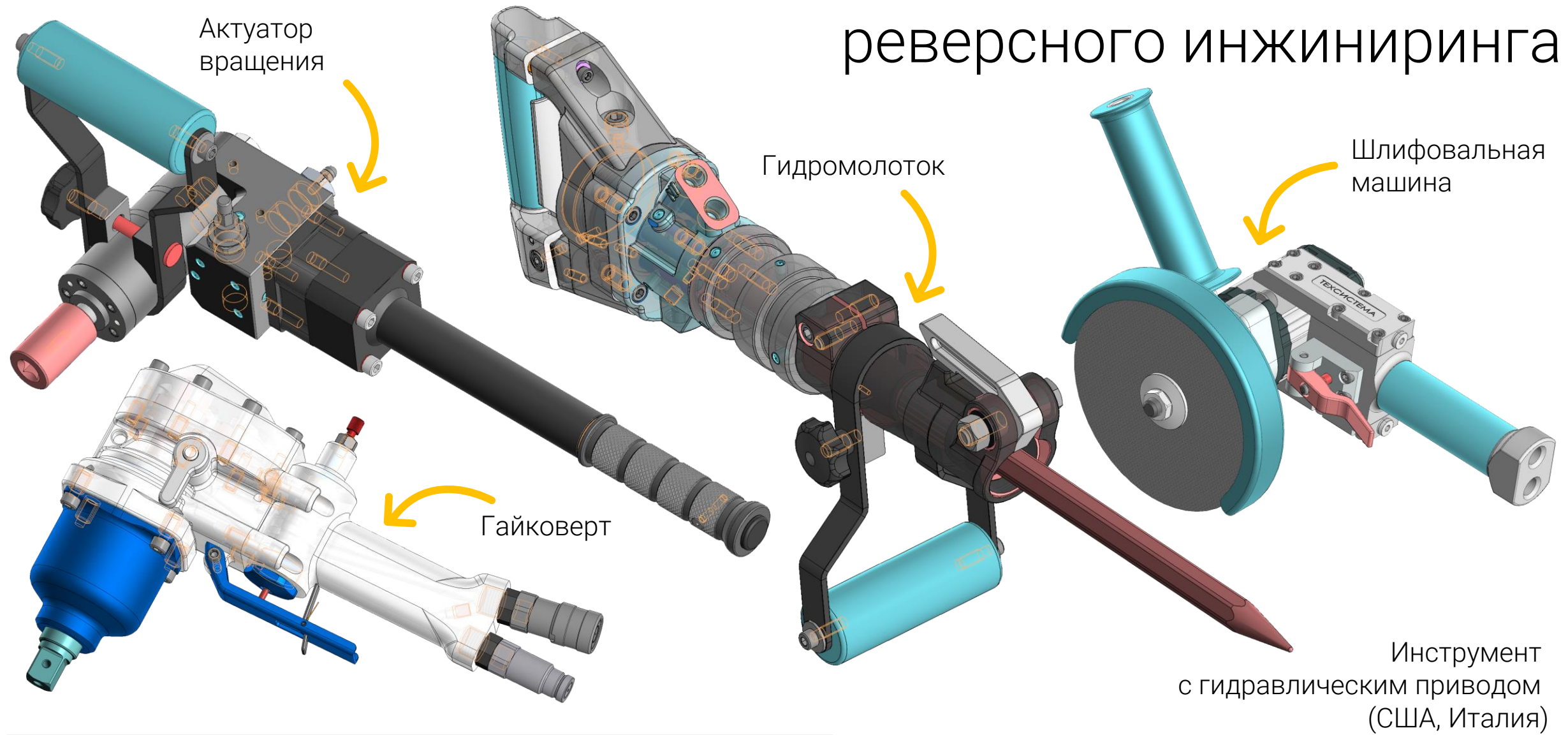
Наш опыт реверсного инжиниринга

Линейка насосов
шламовых
с гидромотором
(Италия)



Линейка итальянских насосов с гидравлическим приводом была нами адаптирована к реалиям российского производства. Заказчик сейчас осваивает серийное производство.

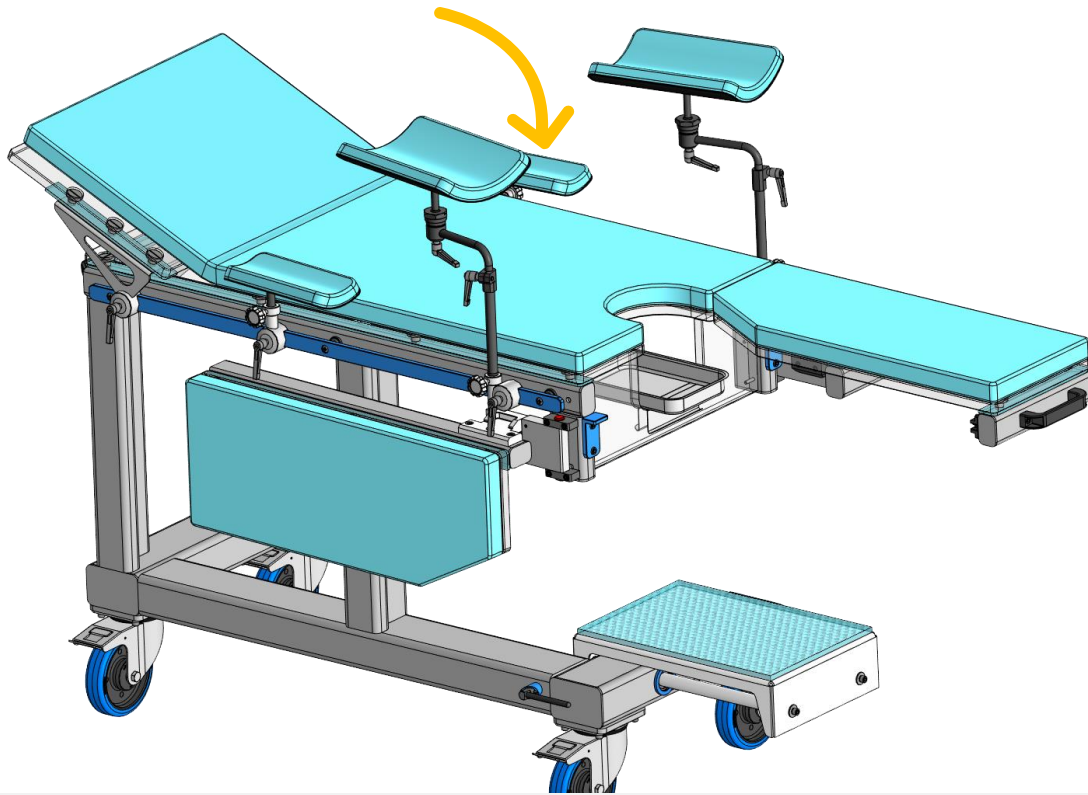
реверсного инжиниринга



Полевой гидравлический инструмент. Что-то уже прошло проверку в компаниях-эксплуатантах и готовится к серийному производству.

реверсного инжиниринга

Медицинский стол для брахитерапии
(сводный проект по ряду
европейских прототипов
с рядом усовершенствований
по просьбе практикующих врачей)



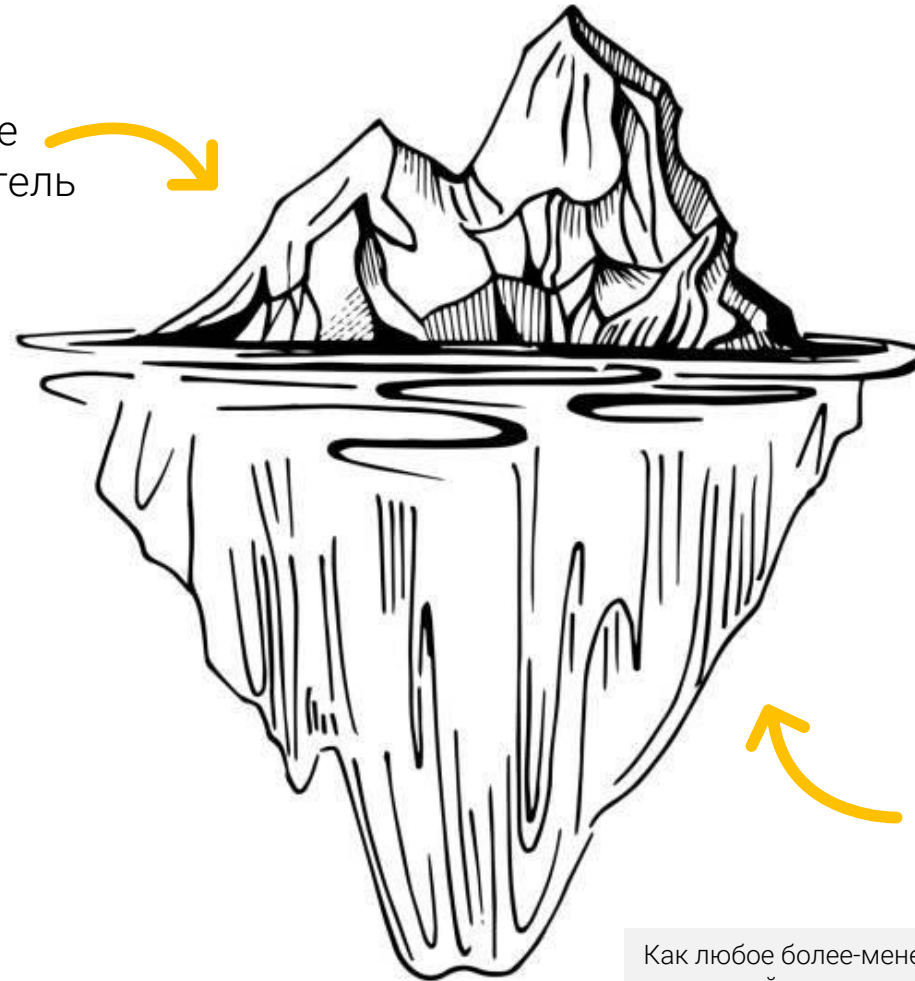
Установка производства
штапельного волокна
из тугоплавких металлов
(технологии из эпохи СССР)



Еще два направления: медицина и производство аккумуляторов.
Медицинская тематика у нас не пошла: заказчик не смог понять зачем нужна этапность в работах и в чем отличие опытного образца от серийного – такое, увы, случается.
По штапельному волокну удачнее: сделали и документацию и в железе реализовали.

Проблематика реверсного инжиниринга

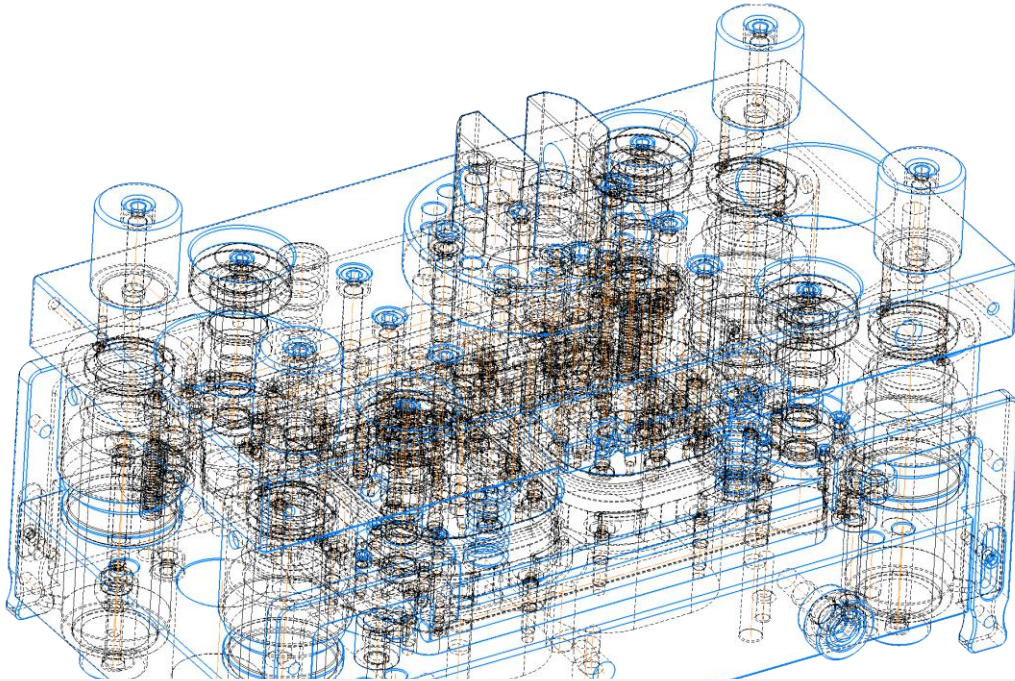
Видят неискушённые
заказчик и исполнитель



Открывается
с опытом

Как любое более-менее сложное занятие,
реверсный инжиниринг имеет видимую для всех и хорошо скрытую составляющие.

Набор работ, которые нужно провести при реверсном инжиниринге



При кажущейся простоте, реверсный инжиниринг ничем не проще «обычного» инжиниринга. Да, как правило (хотя и не всегда), у вас перед глазами есть некая шпаргалка в виде готового оригинала.

Но это очень редко упрощает нам жизнь – всё равно, почти всегда, придется провести огромную и, часто, неочевидную работу.

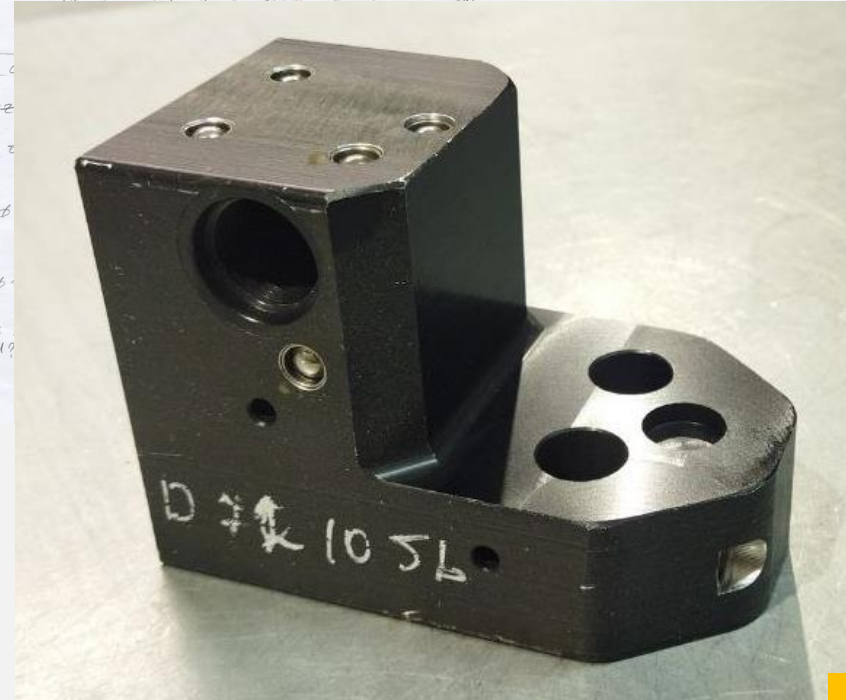
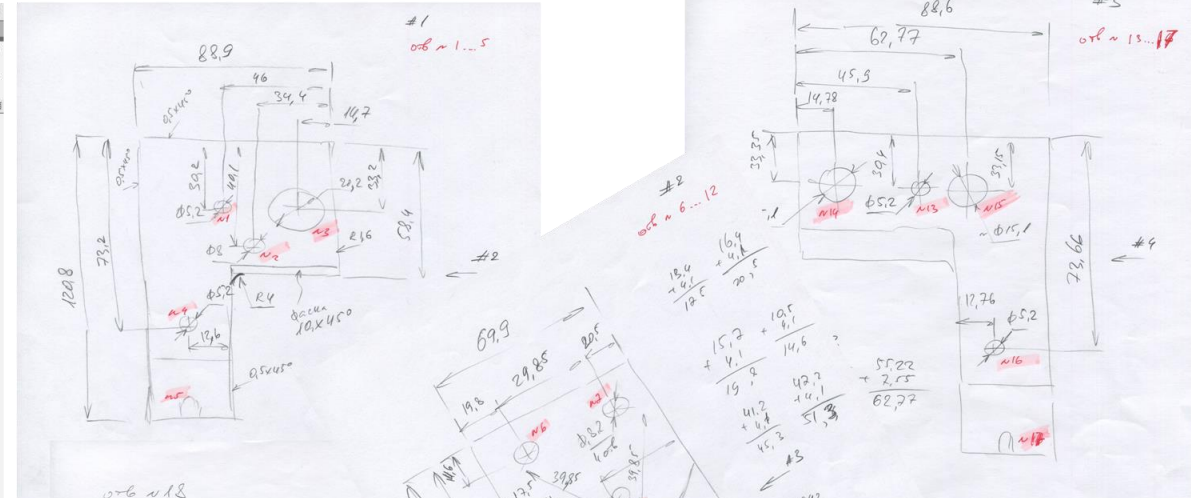
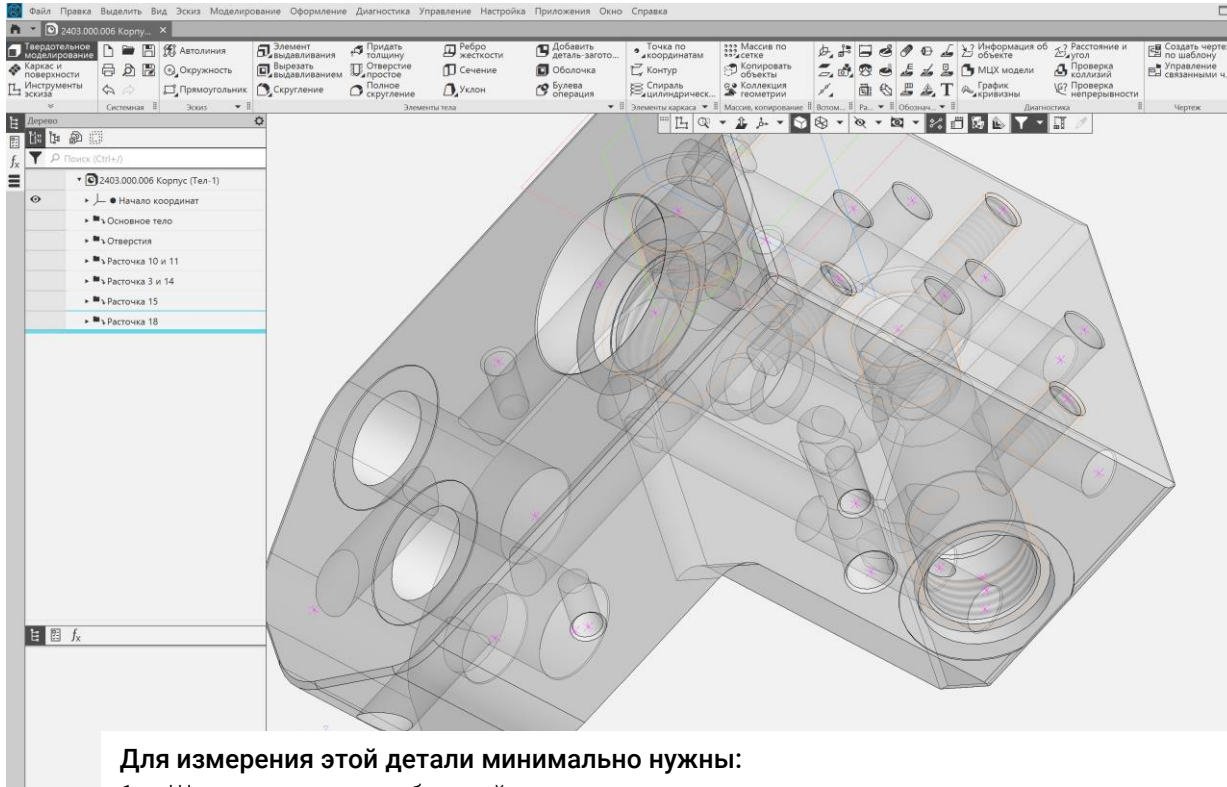
1. Разборку изделия с документированием процесса.
2. Измерение деталей.
3. Контроль допусков.
4. Контроль шероховатостей поверхности.
5. Измерение твердости.
6. Лабораторный анализ использованных материалов.
7. Проведение исследований для подбора замены недоступных материалов (в т.ч. полимерных).
8. В ряде случаев, 3D-сканирование изделия или отдельных деталей.
9. Участие промышленных дизайнеров для изменения облика изделия, улучшения эргономики изделия.
10. Прототипирование нового облика с проверкой на эргономику и эстетичность.
11. Разбивку изделия на логические узлы.
12. разработку детальной 3D-модели.
13. Подбор новой элементной базы.
14. Проведение расчетов.
15. разработку технологического процесса изготовления деталей будущего изделия.
16. Изменение конструкции изделия под новую элементную базу и технологию изготовления.
17. разработку рабочей конструкторской документации.
18. Изготовление опытного образца.
19. Испытание опытного образца.
20. Корректировку конструкции опытного образца по итогам испытаний.
21. Выпуск откорректированной рабочей документации (с литерой "О").
22. Помощь заказчику в освоении серийного производства изделия.
23. Помощь заказчику в получении патента на видоизмененное изделие.

4

Сценария реверсного инжиниринга

Если поочередно смотреть на проблематику глазами заказчика и исполнителя, мой личный опыт позволяет вычлнить несколько сценариев реверсного инжиниринга. И сейчас мы их поочередно рассмотрим.

Сценарий 1 /1: Создать документацию на существующую деталь



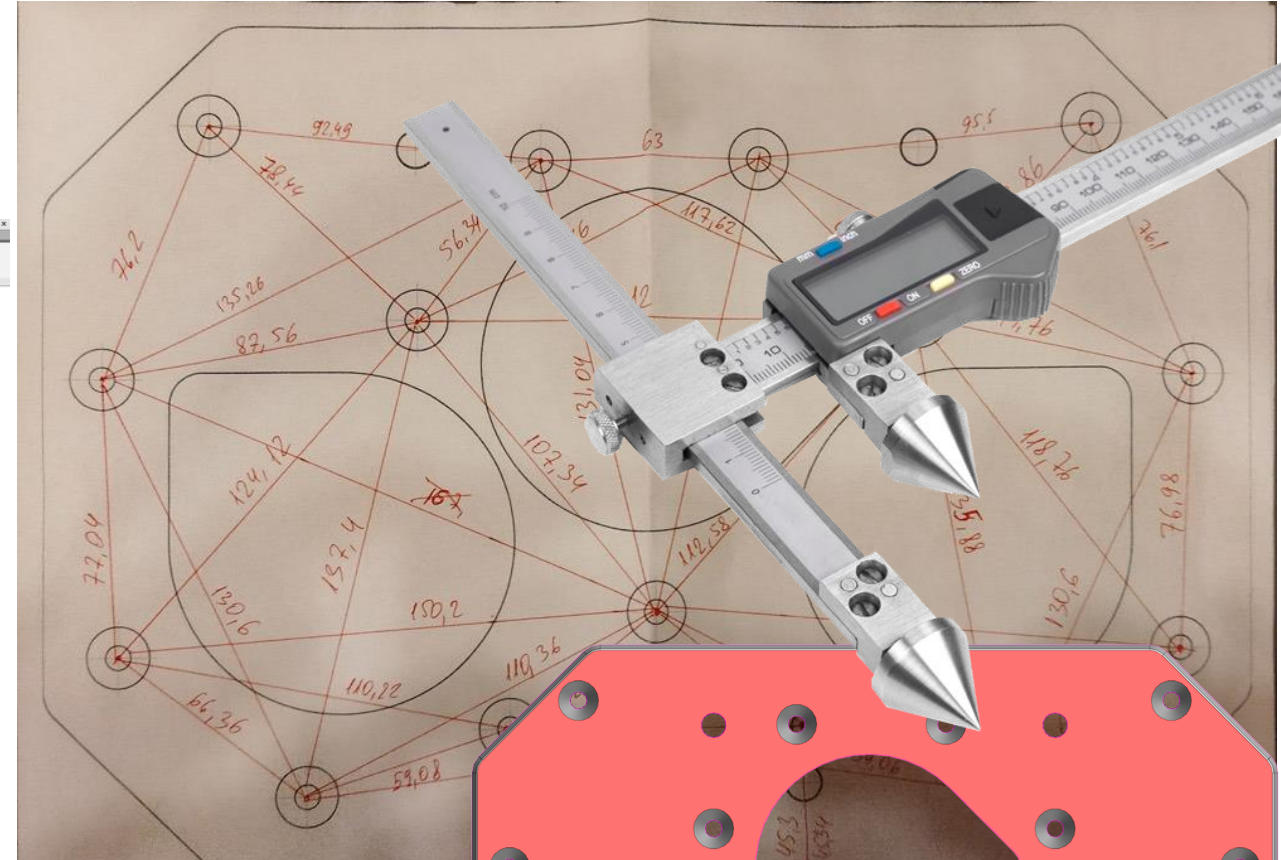
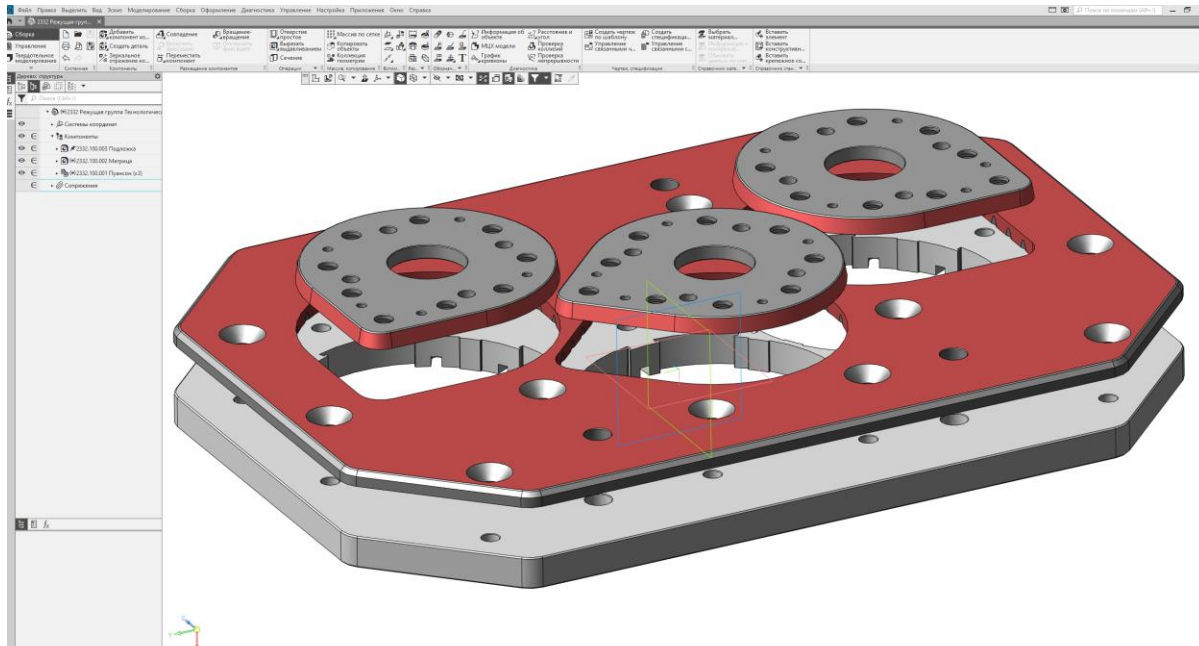
Для измерения этой детали минимально нужны:

1. Штангенциркуль «обычный»
2. Штангенциркуль межцентровой
3. Штангенциркуль для измерения расстояний между вогнутой и плоской поверхностями
4. Штангенрейсмас
5. Глубиномер цифровой
6. Микрометр внутренний
7. Набор измерительных штифтов
8. Резьбомер
9. Радиусомер
10. Плита поверочная
11. Твердомер
12. Анализатор хим. состава

Итак, Сценарий 1 в самом простейшем варианте:
 Создать документацию на существующую деталь.
 Это очень простая ситуация.
 В этом сценарии нам потребуется некий набор измерительного инструмента.
 У вас есть понятные базы – ваши нулевые точки и вы «в лоб» получаете нужные вам декартовы координаты всех элементов детали.
 Но так бывает далеко не всегда.

Сценарий 1 /2: Создать документацию на существующую деталь

Применение метода триангуляции для измерения деталей с большим количеством «хаотично» расположенных отверстий



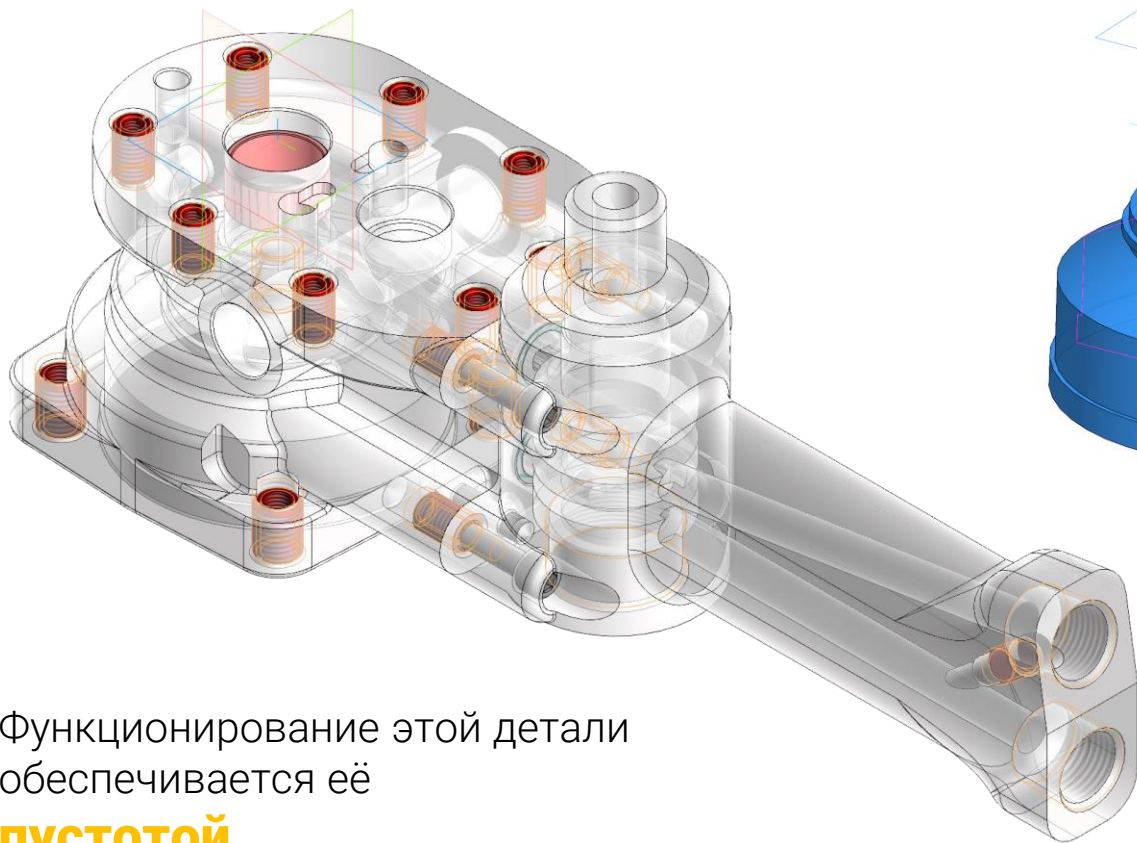
На практике часто встречаются детали, при проведении измерений которых, очень тяжело выбрать неизменные базы. При этом, в большинстве случаев, нам оказываются недоступными и специальные измерительные машины. Здесь нам на помощь приходит старая добрая триангуляция.

Мы поступаем следующим образом:

1. Строим параметрическую модель как нам примерно видится (контур сразу отстраиваем, отверстия раскидываем примерно).
2. При помощи межцентрового штангенциркуля проводим триангуляцию межцентровых расстояний для отверстий.
3. Исходя из полученных данных размещаем отверстия на своих местах.
4. Проставляем размеры в более традиционном виде.
5. Проводим корректировку размеров, приводя их к правильным номиналам.
6. При необходимости, перепроверяем себя дополнительными выборочными измерениями.

Сценарий 1 /3: Создать документацию на существующую деталь

Бывают ситуации, когда трансформация модели детали либо очень трудоёмка, либо сопряжена с опасностью нарушения функциональных каналов и полостей детали.

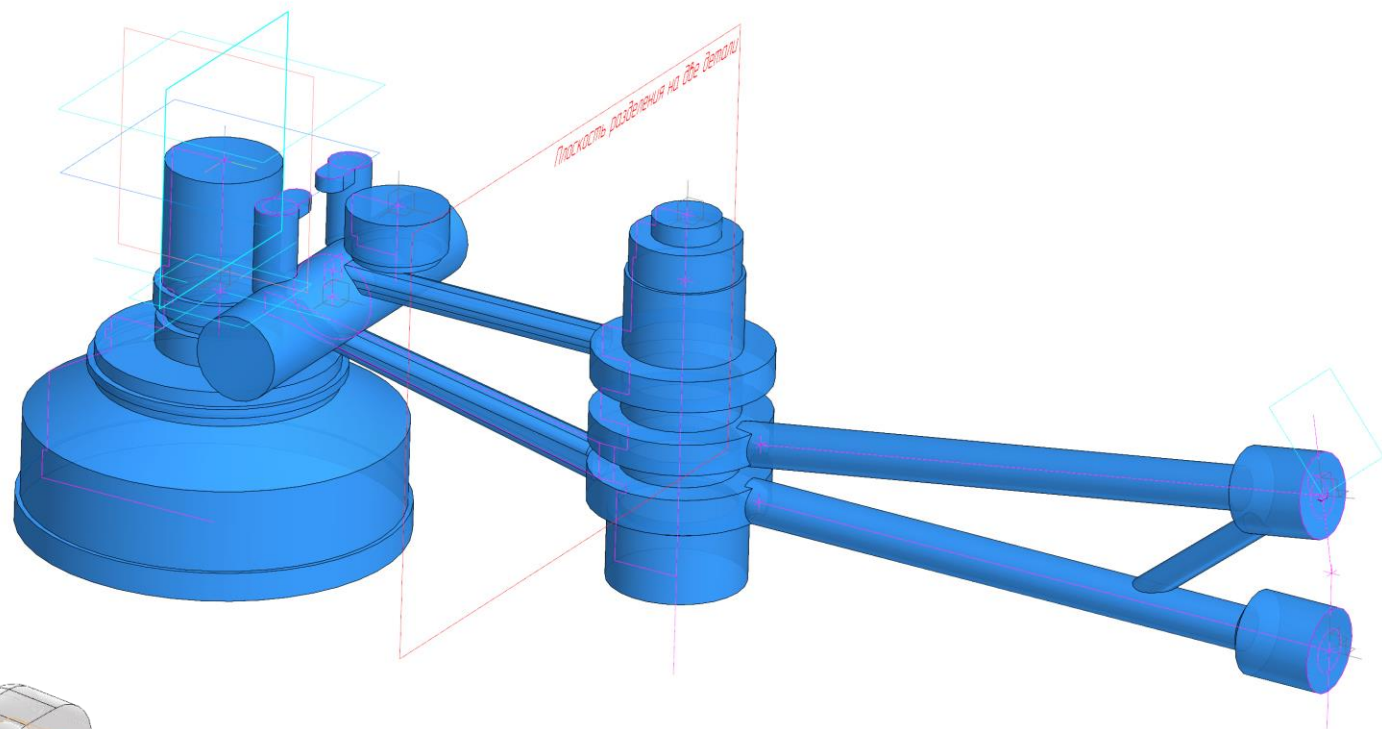


Функционирование этой детали обеспечивается её

пустотой

– вот пустоту и нужно промоделировать.

А уже затем отстраивать на пустоте тело детали.



Более сложная ситуация:

Что делать, когда деталь имеет сложное внутреннее строение и при этом, мы должны отстроить модель, которую потом можно будет трансформировать под разные ситуации? Мы потратили несколько рабочих дней на эту деталь.

Каждый раз при изменении внешних контуров или разбивке исходной детали на две более технологичные, у нас многое убежало и рушилось.

А потом мы задали себе такой вопрос:

– А что самое важное в этой детали? Чем определяется её функционирование? Пустотой!

Пустота первична. Стенки лишь обрамляют функциональную пустоту.

Вот параметрическую модель пустоты и нужно строить. А потом растить на ней какое угодно «мясо».

Сценарий 1 /4: Создать документацию на существующую деталь

А какие размеры мы ищем?

Дано:

Деталь, разработанная американским конструктором и произведенная итальянской компанией, которая осуществляла и доработки опытного образца перед началом серийного производства.

Вопросы:

В какой системе:

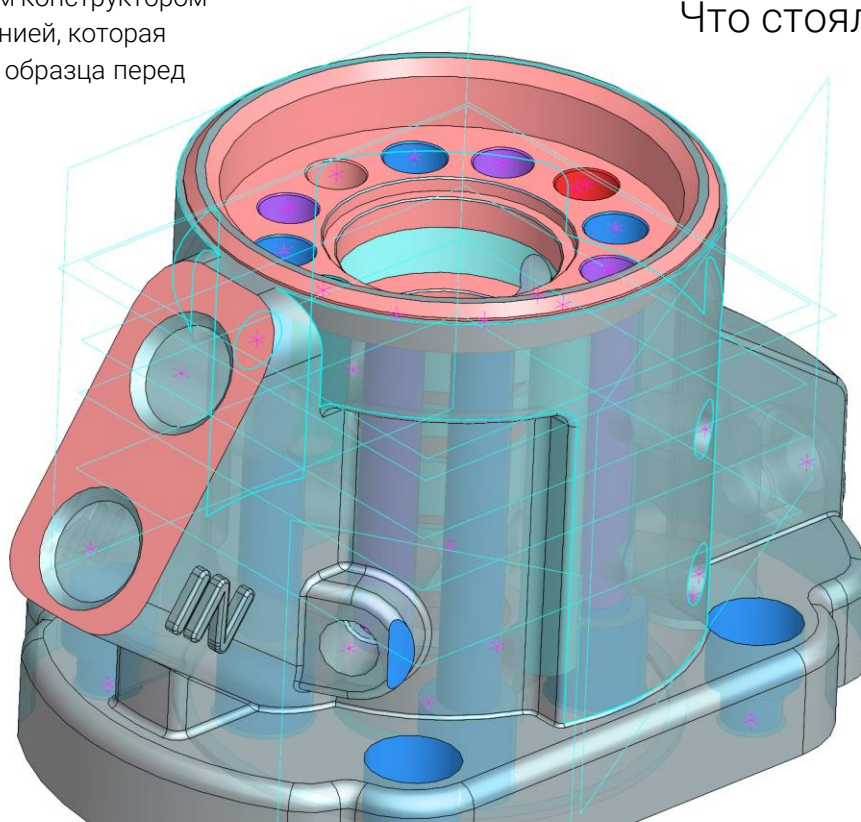
- дюймовой
- метрической

стоят номинальные размеры на недоступном нам чертеже?

И какой же стоял номинальный размер на чертеже?

Реальность:

Там есть размеры и в дюймовой и в метрической системах.



Пример: измерения дали нам линейный размер **12,38** мм
Что стояло на чертеже?

1. $12 \pm 0,5$
2. $12 \pm 0,3$ – токарь при изготовлении вылетел за допуск, но ОТК принимало не по размерам, а по факту работает/нет
3. $12,2 \pm 0,215$
4. $12,3 \pm 0,1$ – это похоже на $31/64''$ (=12,303)
5. $12,4 \pm 0,02$
6. $12,5 - 0,11$ с небольшим вылетом при изготовлении
7. $12,7 \pm 0,35$ – это $1,2''$

В реальной жизни это обычная практика



Правильный ответ №4.

Но для поиска правильного ответа не всегда можно построить размерные цепи с участием ответной детали: движения частей механизма могут быть сложными и взаимозависимыми.

Для окончательного решения вопроса потребуются изготовить несколько деталей с отличающимися размерами.

Например, в данной ситуации мы опытным путем установили, что при 12,4 изделие еще работает, а при 12,42 уже нет. А 12,2 – нижняя граница рабочей зоны.

Сценарий 2:

Создать документацию на существующее изделие (узел)

«как есть»



Это абсурдная задача и при разборе следующего сценария, вы поймете почему.

Этот сценарий желает реализовать более половины заказчиков.

Но это абсурдная задача и в разборе следующего сценария, вы поймете почему.

Сейчас мы отказываемся от таких заказов.

И сами заказчики в те времена, когда мы еще брались за такие задачи, в процессе работы приходили к пониманию, что это тупик и нужно идти другим путем.



Сценарий 3:

Провести комплекс подготовительных работ для начала серийного производства аналога существующего изделия (узла)



Вот правильный сценарий!

Сценарий 3: Провести комплекс подготовительных работ для начала серийного производства аналога существующего изделия (узла) – вот так звучит постановка задачи при правильном сценарии. И сейчас мы поймем, почему это так.

Сценарий 3 /1:

В технике одно и то же можно
получить многими способами

Почему изделие компании N
сконструировано так,
а не иным образом

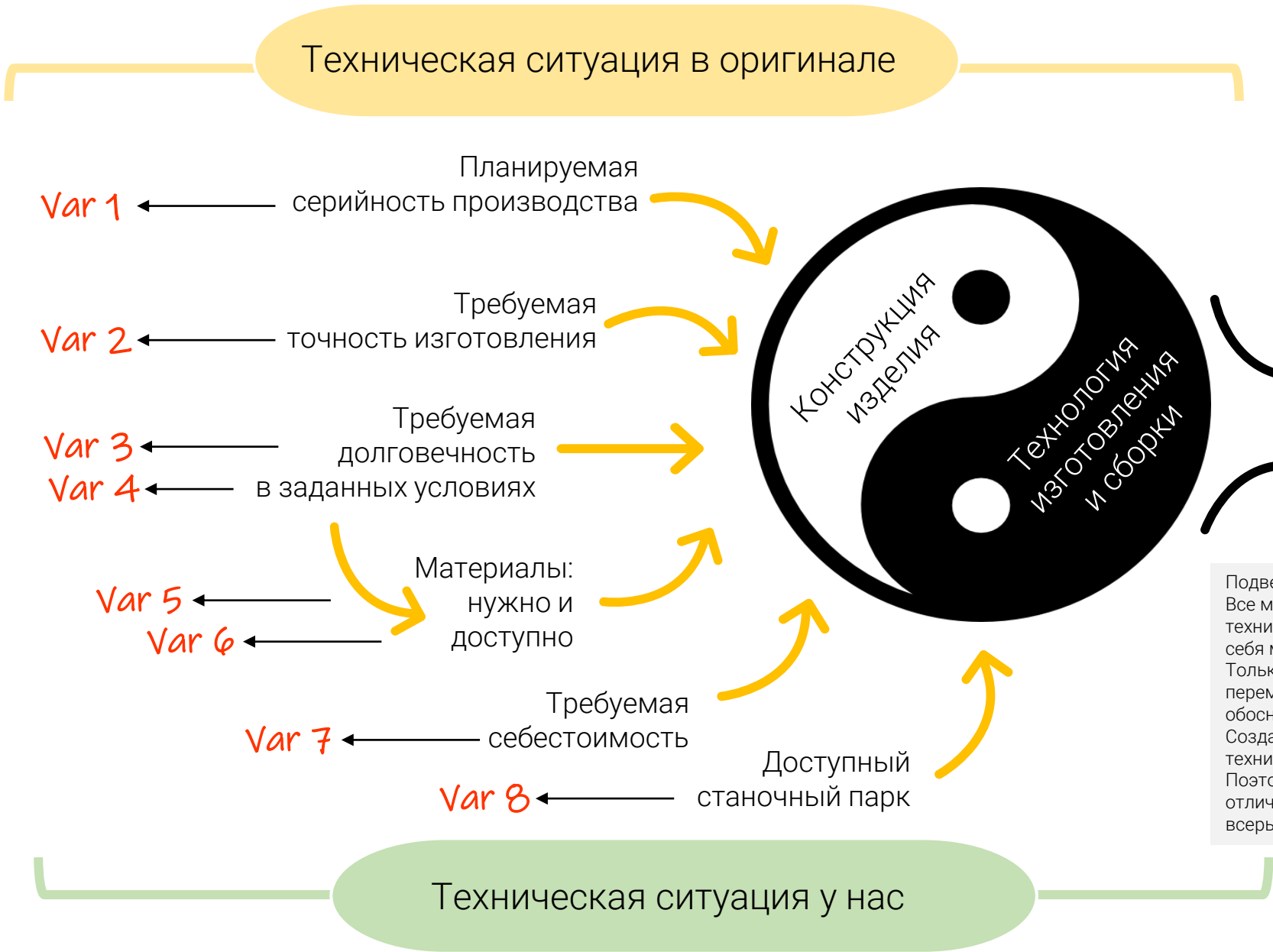


ПРОВЕДЕМ
НЕБОЛЬШОЙ
КОНКУРС



Перечислите все известные вам факторы,
влияющие на конструкцию изделия

Var 1, ... Var 8 – переменные, которые в оригинале и у нас разные



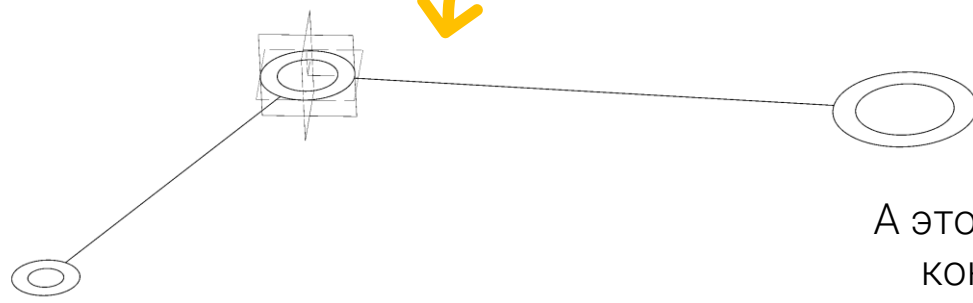
Подведем итоги:
 Все мы находимся в рамках некой технической ситуации, которая включает в себя множество переменных. Только сбалансированный учет всех этих переменных позволяет получить обоснованный конструктив изделия. Создатель оригинала находился в иных технических условиях, нежели мы. Поэтому и наш аналог неизбежно должен отличаться от оригинала, если мы хотим всерьез и надолго выйти с ним на рынок.

$$F(\text{Var1}, \dots, \text{Var8}) = \text{optimum}$$

здесь
и сейчас

Ещё раз подчеркнём:
только учёт всех переменных, даёт нам оптимальное решение для ситуации «здесь и сейчас».
В другом месте и в другое время, оптимальное решение будет иным.

Это схема рычага



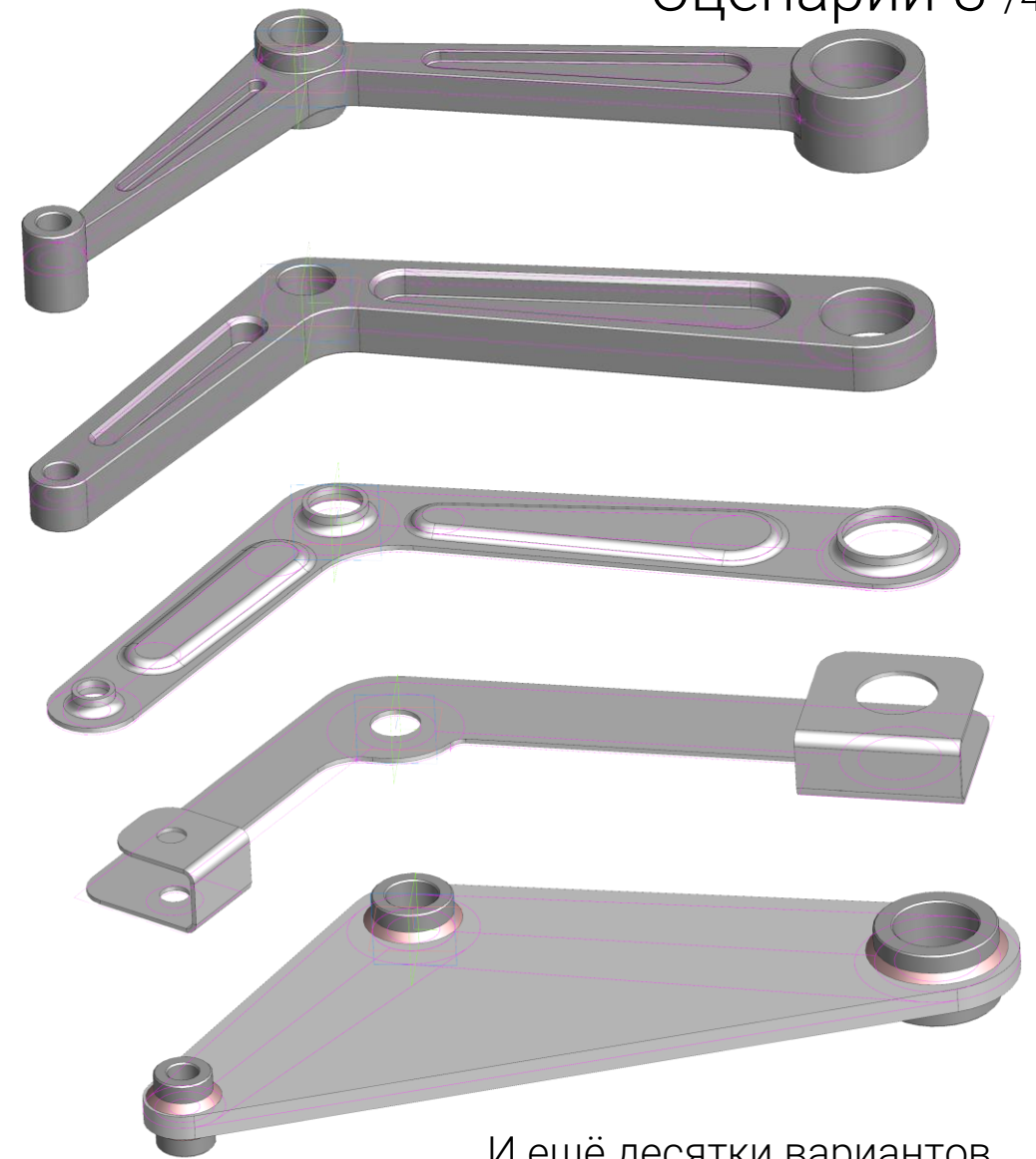
А это варианты его конструктивного исполнения

$$F(\text{Var1}, \dots, \text{Var8}) = \text{optimum}$$

здесь и сейчас

Разные:

- технологии изготовления,
- материалы,
- достижимые точности,
- долговечность,
- себестоимость изготовления,
- квалификации изготовителей,
- время изготовления,
- необходимый станочный парк и т.д.



И ещё десятки вариантов и их комбинаций

Рассмотрим Сценарий 3 на простом примере. Мы можем изготовить этот рычаг десятками различных способов и все они будут рабочими. Какой способ мы должны предпочесть? – Тот, который даёт оптимальное решение нашего уравнения.

и автоматическими загрузкой и выгрузкой

для получения дисперсных высокотемпературных металлов и сплавов на их основе
для компактирования электродных основ и активных масс химических источников тока

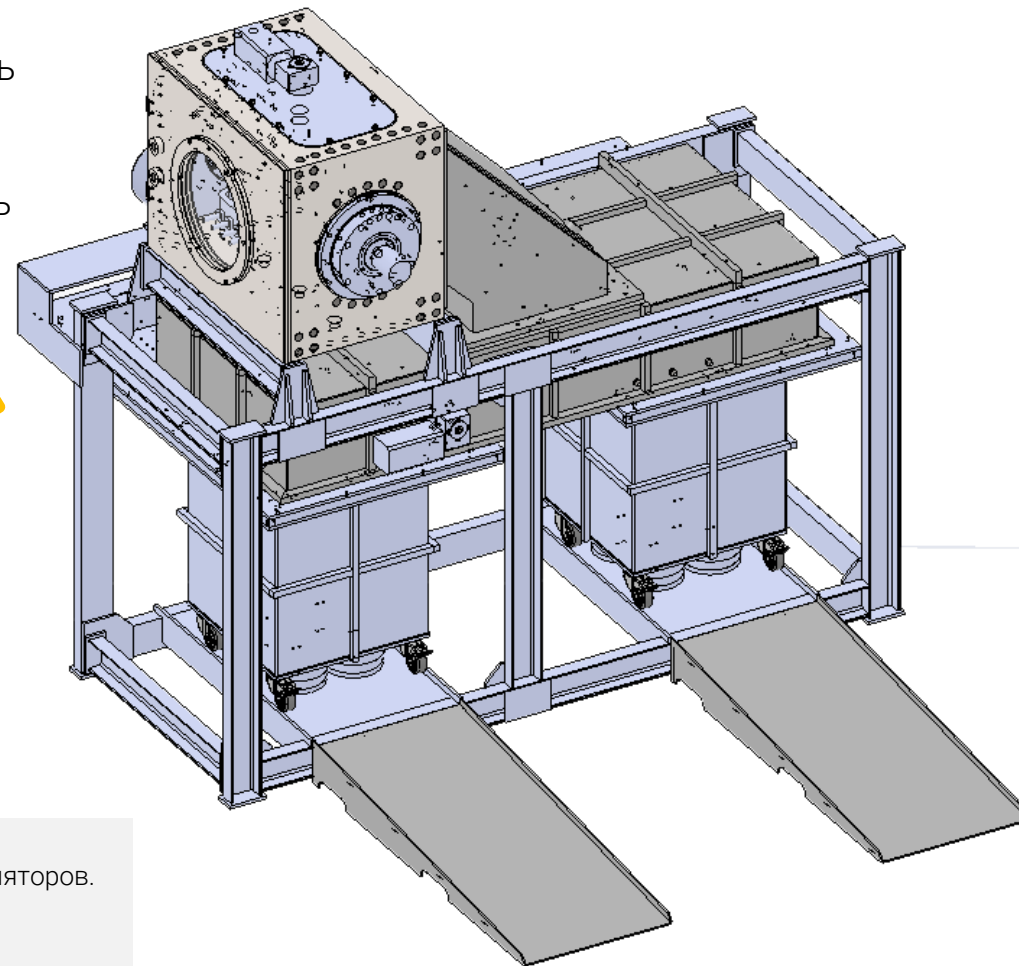
Подход №1

Повторить «как есть»



Подход №2

Сделать правильно и получить
большой функционал,
лучшую эргономику,
большую производительность
при меньшей себестоимости
оборудования



Еще одна иллюстрация к Сценарию 3:

У этой темы мудрёное название. Суть в получении металлической ваты, из которой прессуются электроды аккумуляторов.

Однажды мы в рамках этой темы разработали целую линейку машин. Некоторые ещё и в нескольких вариантах.

Зачем в нескольких? – А как вы думаете, какой подход был у заказчика сперва и потом?

Правильный ответ: сперва по Сценарию 2, потом по Сценарию 3.

Не желающий платить за 1 месяц «Посидеть и подумать», платит потом за 3 – 6 месяцев «Нарисовать заново».



Сценарий 4:

Слепой реверсный инжиниринг

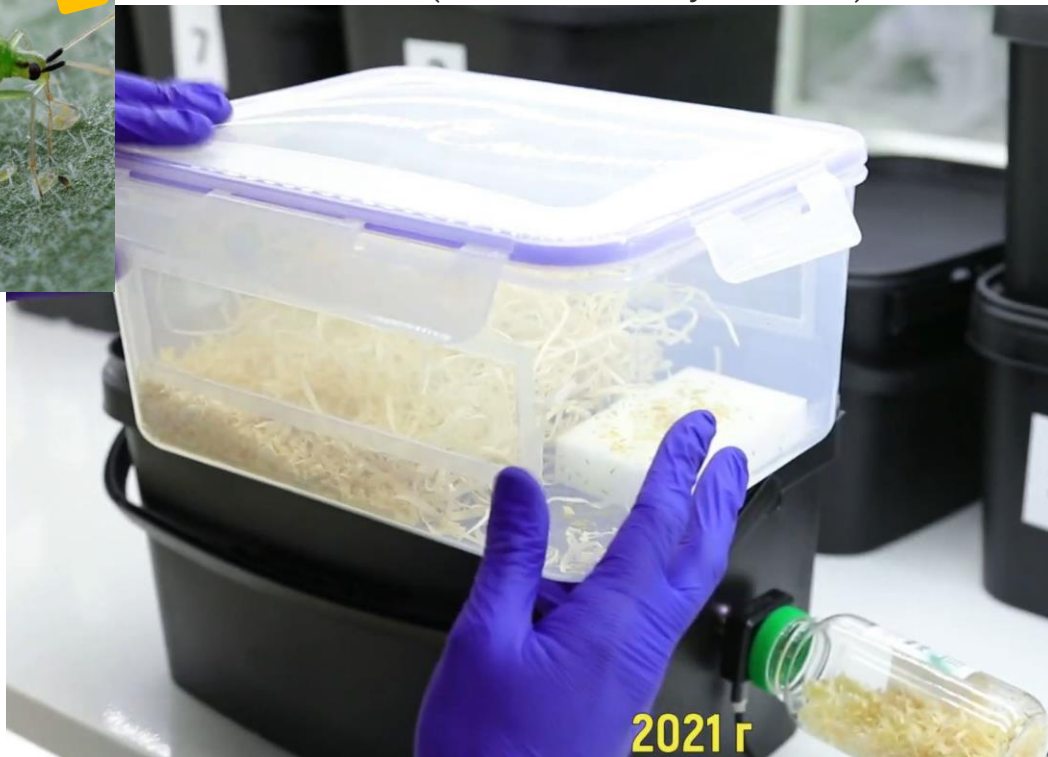
Создать аналог того, что
неизвестно как устроено
и неизвестно как работает

Но всё это была рутина.
Простая, сложная, но рутина.
Самое интересное в реверсном инжиниринге начинается когда
вам задают создать аналог того, что неизвестно как устроено и
неизвестно как работает.
И нет никаких способов это подсмотреть.



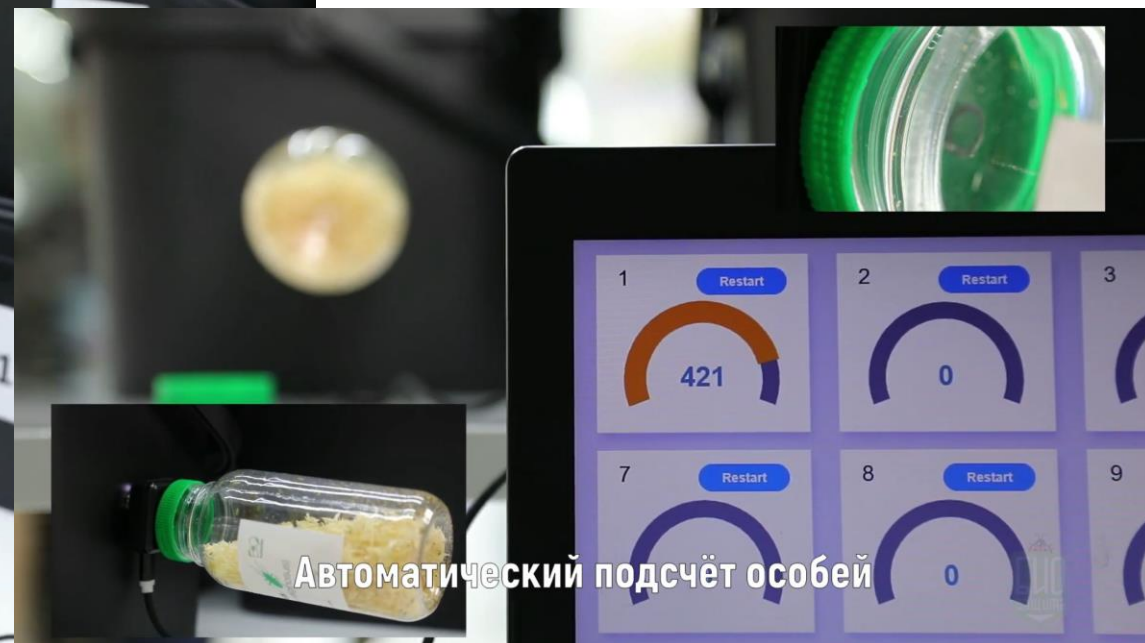
Сценарий 4: Слепой реверсный инжиниринг

Полупрозрачное насекомое, с размерами:
5 x 0,5 мм (тело)
11 x 3 мм (с лапками и усиками)



ЭТО ЗАМЕНИТЕЛЬ ПЕСТИЦИДОВ
И ПРОЧЕЙ ДРЯНИ НА ПОЛЯХ

Чужая установка для подсчета
хищных клопов *Macrolophus pygmaeus*



Автоматический подсчёт особей

Однажды к нам пришел заказчик и показал видео, как некая компания разводит хищных клопов Макролофус пигмаус (*Macrolophus pygmaeus*). Задача звучала так: нужно то же самое.

На видео клопы радостно перебежали из контейнера-инкубатора с транспортную тару. По пути, некий счетчик их пересчитывал.

Для обеспечения производительности, система была многоканальная.

На видео что-то про устройство видно, но крайне скупо – снято оно было очень грамотно.

Начинаем работать над задачей и понимаем, что так оно работать не может, а само видео, видимо, фейковое – возможно, это их дорожная карта для инвесторов.

Сценарий 4: Слепой реверсный инжиниринг



Мы провели несколько месяцев экспериментов (потом осталось много ящичков с макетами), и таки сделали рабочую 8-ми канальную установку. Вот так, из небольшого ОКР на несколько вечеров, мы оказались с ситуации многомесячного НИОКР, да еще и в области поведения насекомых.

Что позволило нам превратить эту анекдотическую ситуацию в еще один успешный проект?

По сути своей, ничего особенного.

Только три ингредиента:

1. Итерационность продвижения.
2. Накопленный годами кругозор.
3. Систематичность в работе.

При тщательном соблюдении этого рецепта и механики смогли организовать решение задачи из области этологии.

Например, в самом начале, поняв, что нас надули с исходным видео, мы спросили себя:

1. Что заставит насекомых взлететь из соломы в ящике инкубатора?
2. Что привлечет внимание взлетевших насекомых?
3. Что будет, когда они прилетят в это привлекательное место?
4. Как заманить их из этого промежуточного места в туннель?
5. Как обеспечить движение в туннеле в одну сторону?
6. Как их подсчитать?
7. Как избежать обратного потока из транспортной тары в инкубатор?
8. Как все эти мероприятия провести без членовредительства?

Для каждого вопроса были построены исходные гипотезы (до пяти на каждый вопрос), которые мы и принялись проверять.

И да, хочется сказать, что в процессе работы никто не пострадал.

К сожалению, это не так – жертвы были. Но до 90% клопов выпускалось в конце каждой сессии экспериментов в природу.

Сценарий 4: Слепой реверсный инжиниринг

1. Разбить задачу на подзадачи.
2. Построить для каждой подзадачи несколько гипотез решения.
3. Для каждой гипотезы провести:
 - 3.1. Литературный поиск.
 - 3.2. Консультации с экспертами.
 - 3.3. Макетные исследования.
4. Для жизнеспособных гипотез изготовить опытные образцы узлов.
5. Сравнительные тестовые испытания конкурирующих опытных образцов.
6. Сборка итоговой конструкции из прошедших проверку опытных узлов.
7. Многократное тестирование в различных режимах, погодных условиях, в разное время суток.

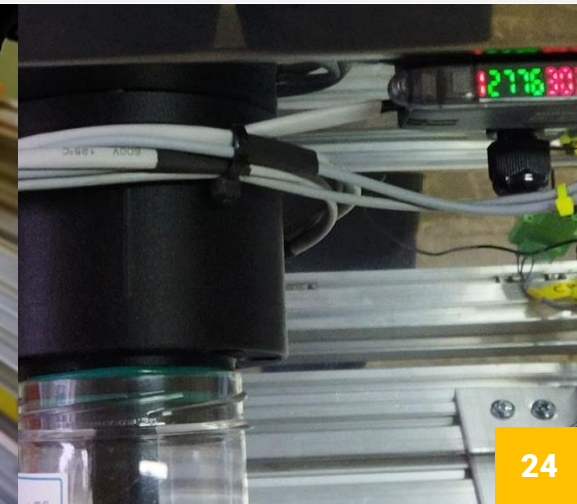
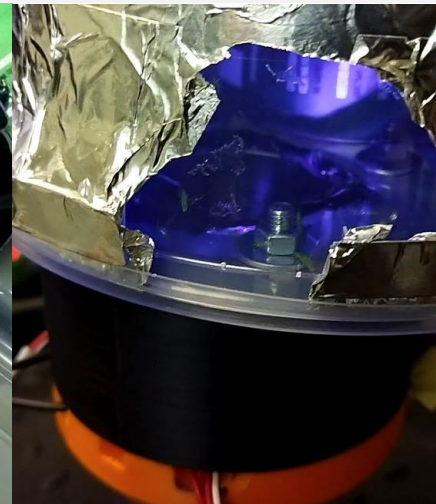


ИТЕРАЦИОННОСТЬ

КРУГОЗОР

СИСТЕМАТИЧНОСТЬ

В ПРОЦЕССЕ БЕСКОНЕЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ : В ПРОЦЕССЕ БЕСКОНЕЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ : В ПРОЦЕССЕ БЕСКОНЕЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ : В ПРОЦЕССЕ



Сценарий 4: Слепой реверсный инжиниринг

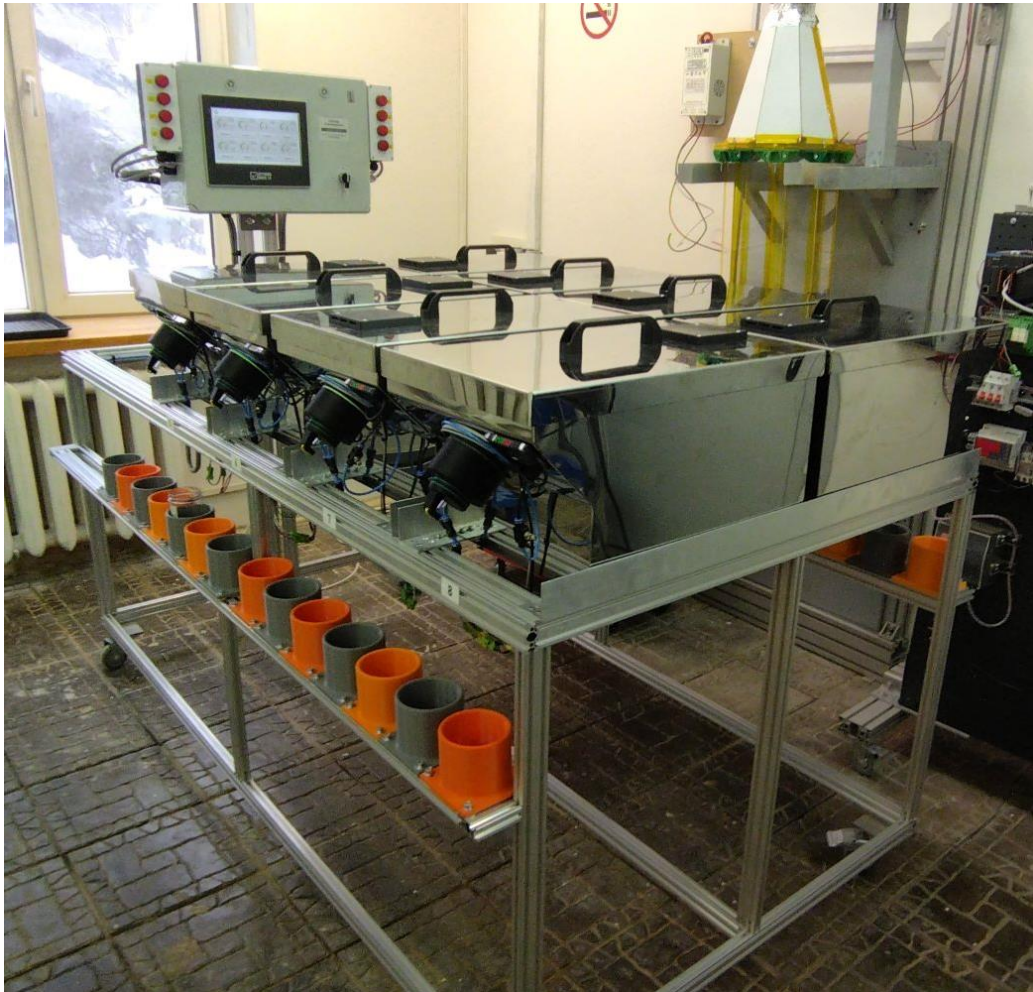
А это наша, **реально работающая** установка для подсчета хищных клопов *Macrolophus rugosus*

Установка оснащена 8-канальным программируемым счетчиком для подсчета насекомых, перемещающихся из контейнера в транспортную тару.

Для ускорения процесса в установке применяется комплекс различных побудителей, мотивирующих насекомых самостоятельно переходить в транспортную тару без каких-либо телесных повреждений.

Подсчет производится лазерными датчиками.

В процессе работы над установкой была проведена обширная программа исследований, выявлены оптимальные технические решения.



Сценарий 4: Слепой реверсный инжиниринг

Однажды нам на испытания очередной итерации установки привезли очень мало клопов и нам пришлось **трижды** прогнать их через систему.

Как отличались потоки насекомых в каждом проходе?

1. Не отличались
2. В каждом следующем проходе клопов было **больше** на 20%
3. В каждом следующем проходе клопов было **меньше** на 20%
4. В каждом следующем проходе было убывание в $\sqrt{2}$ раз
5. В каждом следующем проходе было убывание в e раз
6. Не было никакой зависимости

Правильный ответ №5:

Вернувшиеся в контейнер букашки моментально сообщили остальным ребятам, что в транспортном контейнере ничего нет и вся компания разом потеряла интерес к путешествию. А само число «e» присутствует много в каких моделях, описывающих явления природы.

ESTlab.ru

Engineering — Science — Technology

Поиск путей в хаосе первичной информации

telegram-канал R&D → <https://t.me/sergejzotov>

Вконтакте → https://vk.com/est_lab