РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

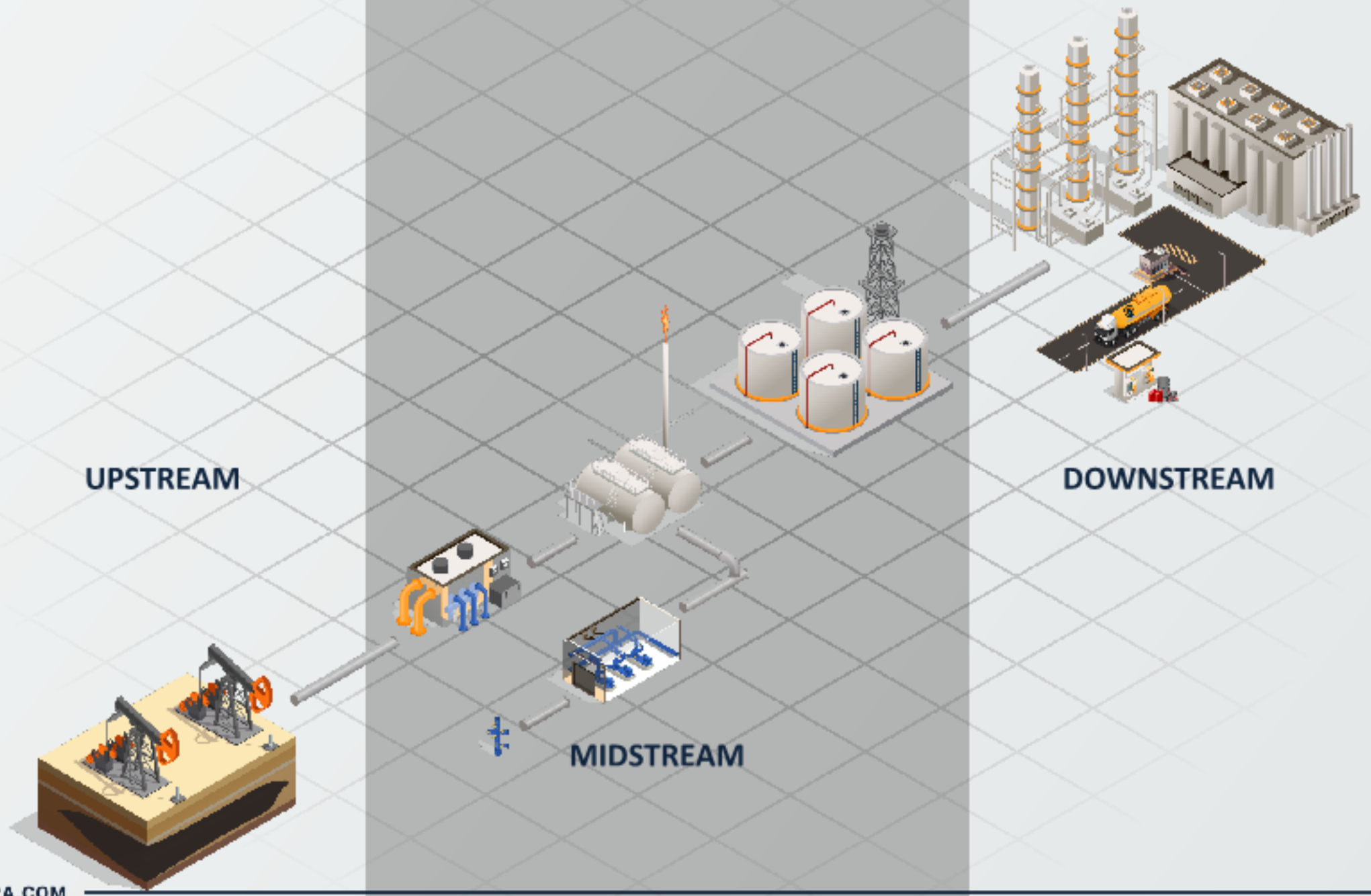
ИТ-СЕРВИС

ТЕМАТИКИ РАБОТ

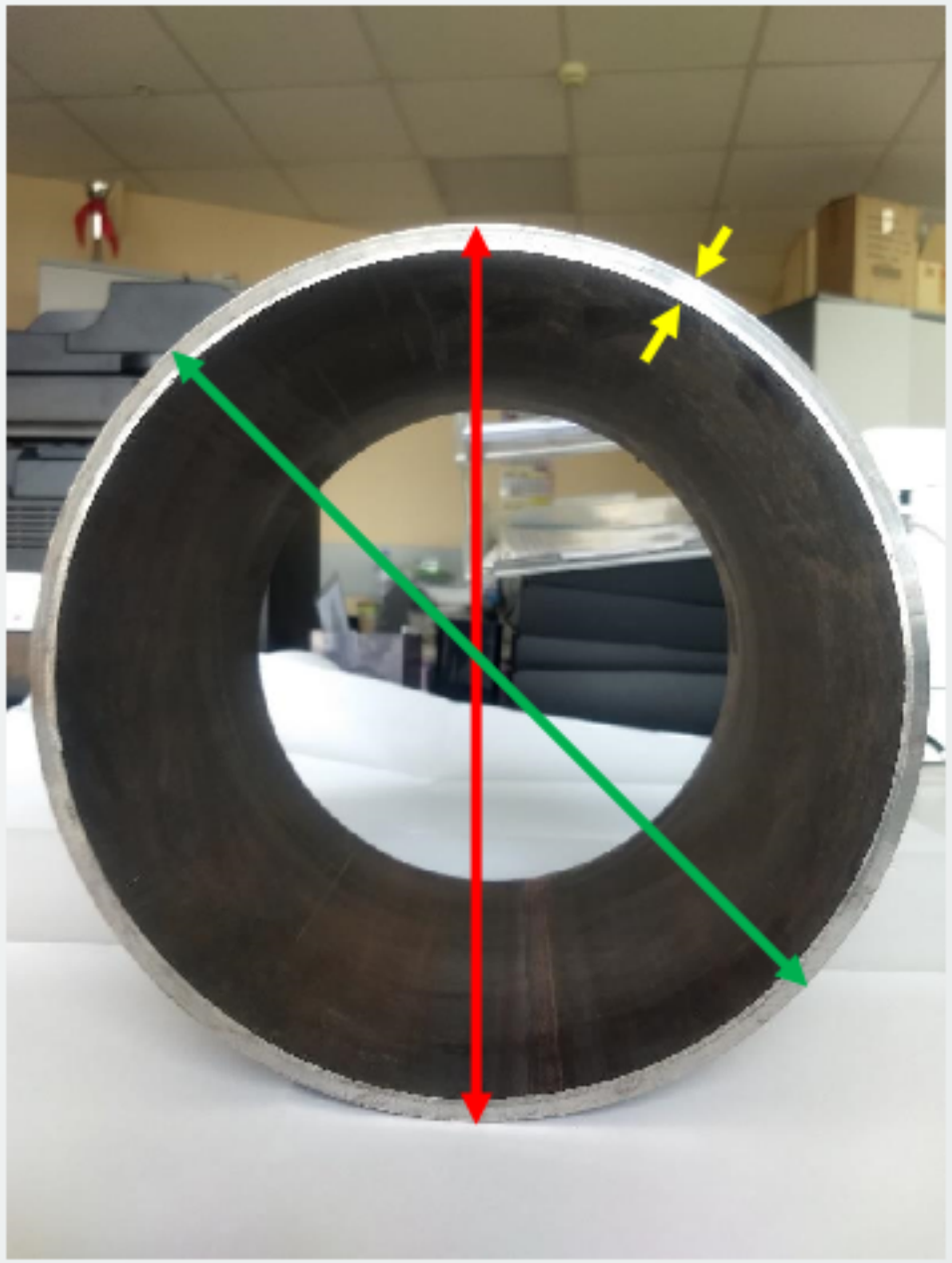
- **Разработка АПК для контроля внешней поверхности трубы**

- **Внедрение технологии цифровых двойников**

- **Прогнозирование коррозионных отказов систем трубопроводного транспорта и технологического оборудования на базе предиктивной аналитики**



КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ



Диапазон значений

Диаметр:	100 – 1000 мм
Толщина стенки:	5 – 30 мм
Отклонение диаметра:	+1,0/-0,5%
Овальность:	до 6,0 мм
Отклонение по кривизне:	1,5 мм на 1 м
Длина:	до 15 м
...	...

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ

- Samsung Galaxy S8 – 12 MP
(4032 x 3024 пикселей)



- Flir Flea3 – 5 MP
(2448 x 2048 пикселей)

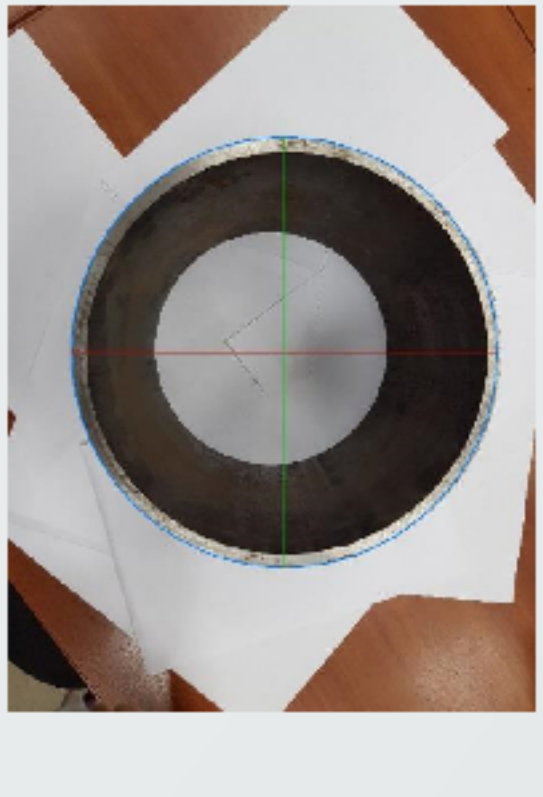


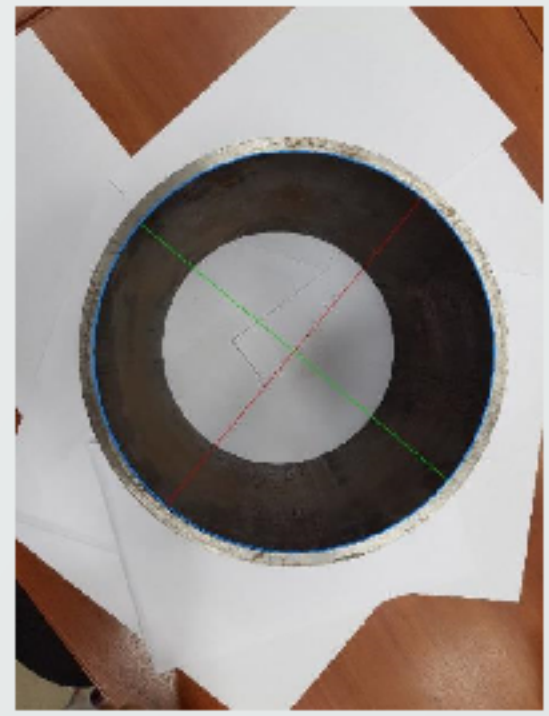
Исходный кадр



Контурный анализ







КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ

+ Простое устройство
+ Быстрая работа
+ Высокая точность

- Ограничения по освещению
- Возможность ложного детектирования

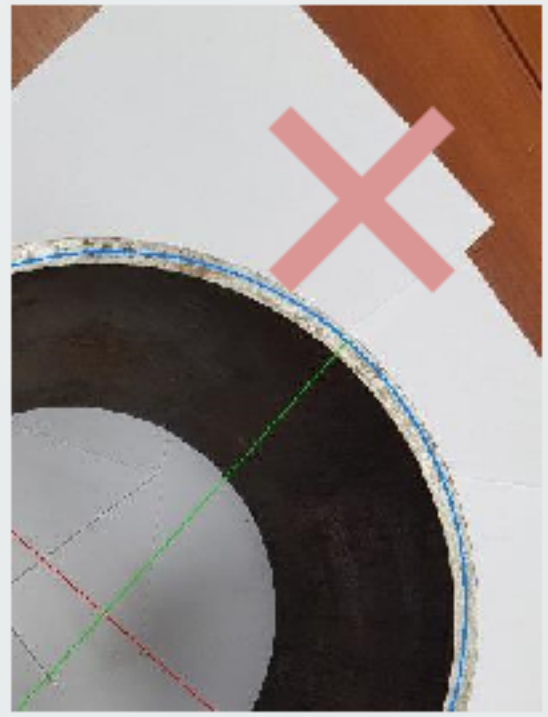
Исходный кадр



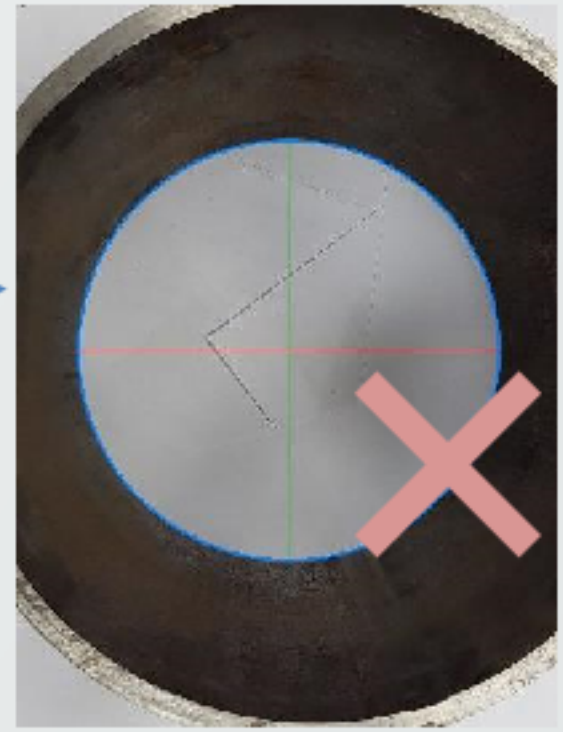
Контурный анализ



Ложный внешний диаметр



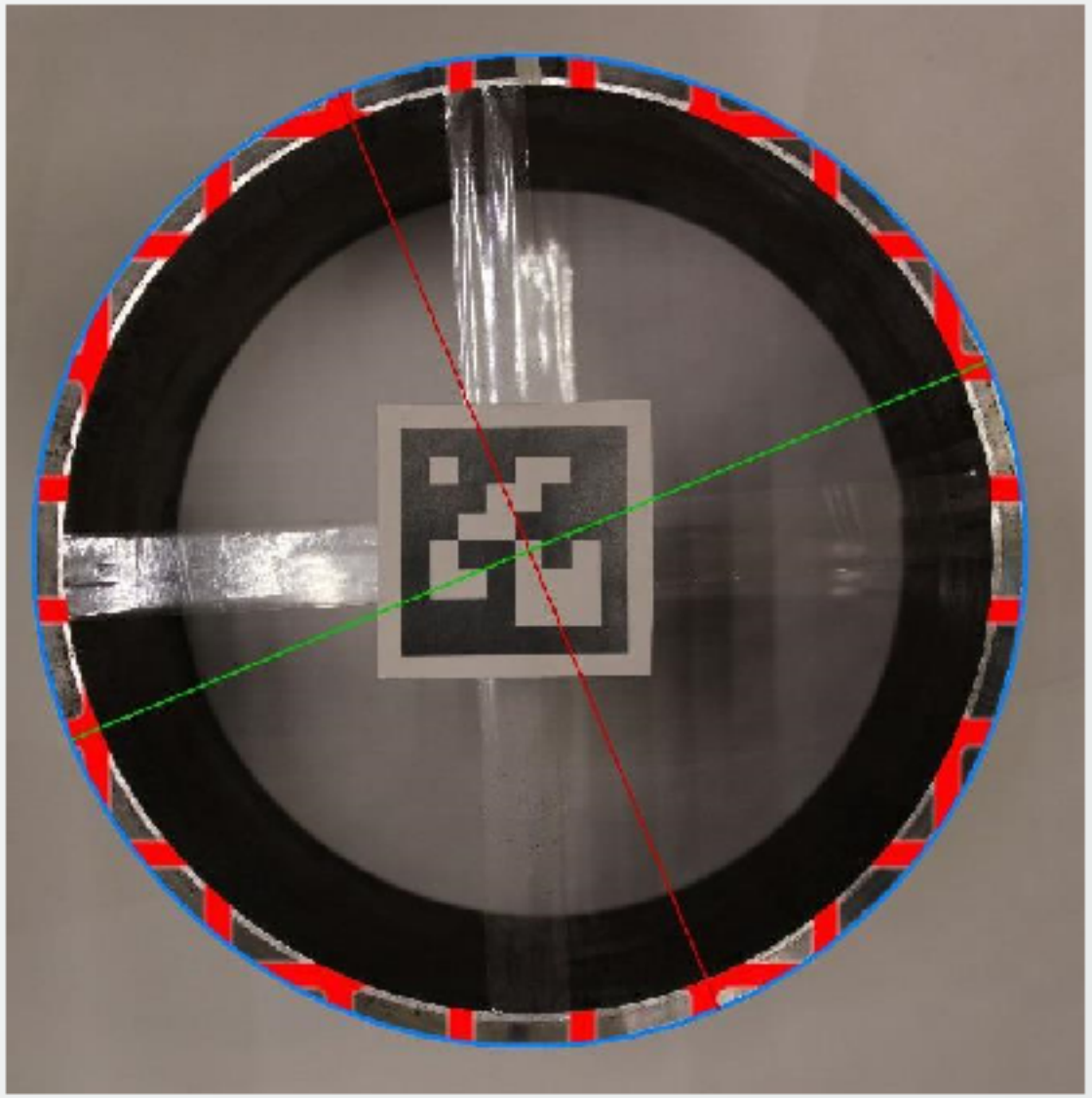
Ложный внутренний диаметр



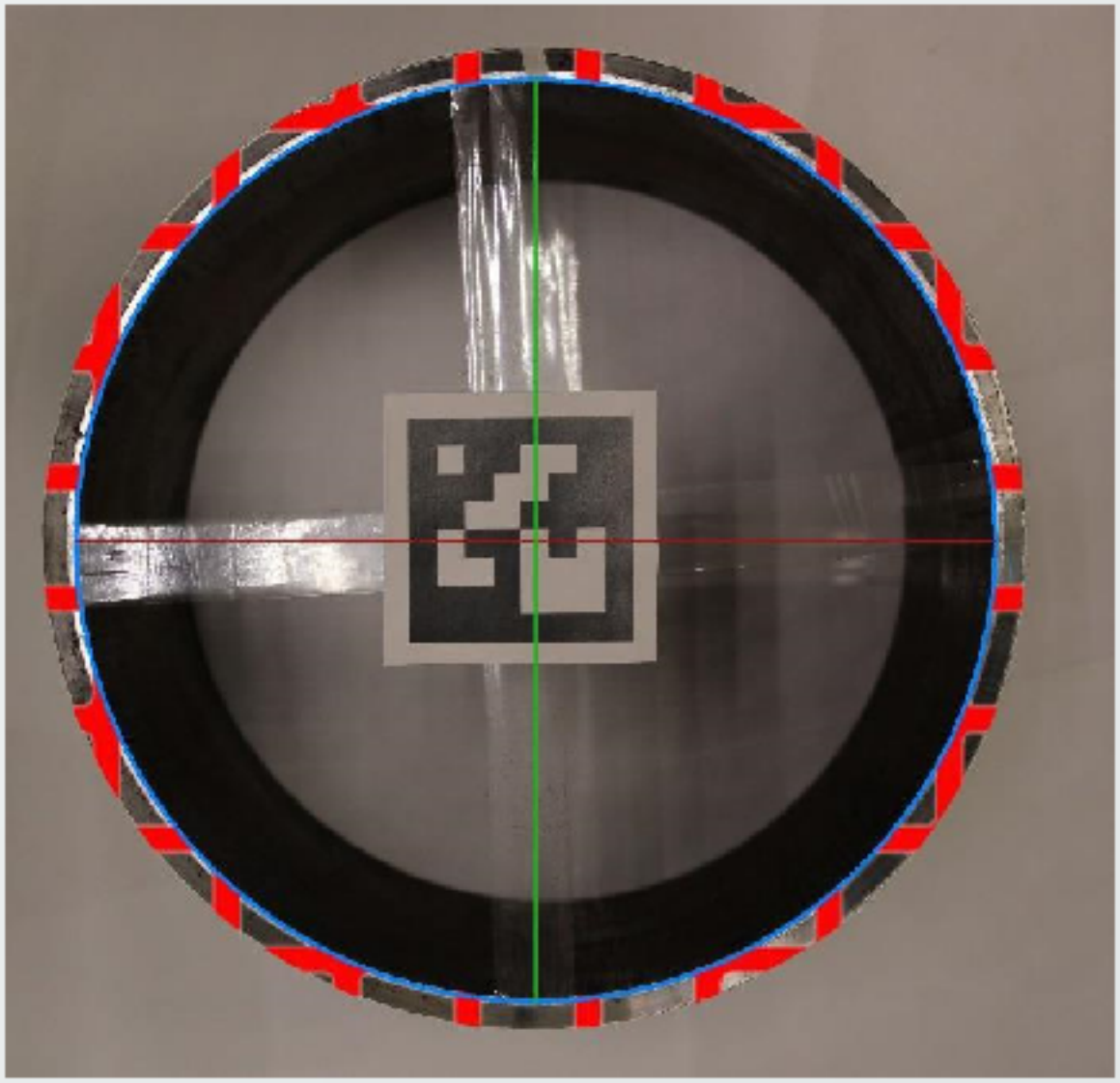
КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ

+ Высокая точность
+ Быстрая работа
+ Отсутствие ложных детектирований
- Сложнее устройство
- Сложнее установка

Обнаруженный внешний диаметр



Обнаруженный внутренний диаметр



КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ

Таблица 1 – Результаты замера внешнего диаметра образца 17Т (мм)

0-18	1-19	2-20	3-21	4-22	5-23	6-24	7-25	8-26
219,98	219,89	220,05	219,95	219,93	219,97	220,00	219,95	219,96
9-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
219,95	220,03	220,15	220,00	219,92	219,80	219,75	219,75	219,85

Таблица 2 – Результат замера специальным оборудованием толщины стенки (мм)

0 (36)	1	2	3	4	5	6	7	8
7,19	7,17	7,07	7,26	7,29	7,02	6,99	7,07	6,89
9	10	11	12	13	14	15	16	17
7,34	7,17	7,20	7,19	7,18	7,14	7,11	7,13	7,14

Полученные разработанным подходом данные о контурах в мм следующие:

- внешний диаметр – 219,8 мм (среднее по результатам замера – 219,94 мм)
- толщина стенок составила в среднем 7,16 мм (среднее по результатам замера – 7,14 мм)

Данные значения отличаются от среднего по замерам на 0,1 % (внешний диаметр) и не более чем на 0,3 % (толщина стенки).

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ

Плена



Пузырь-вздутие



Риска



Раскатанная трещина



Прикромочные закаты



Задир



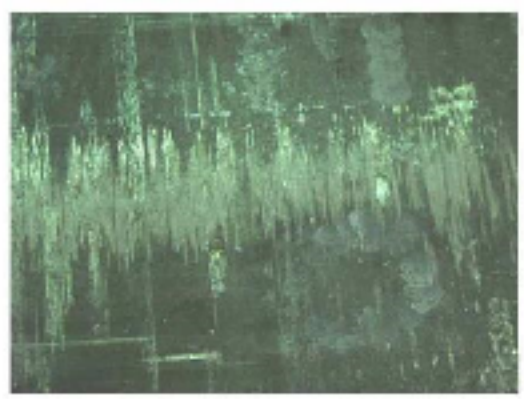
Вкатанные металлические частицы



Вдав



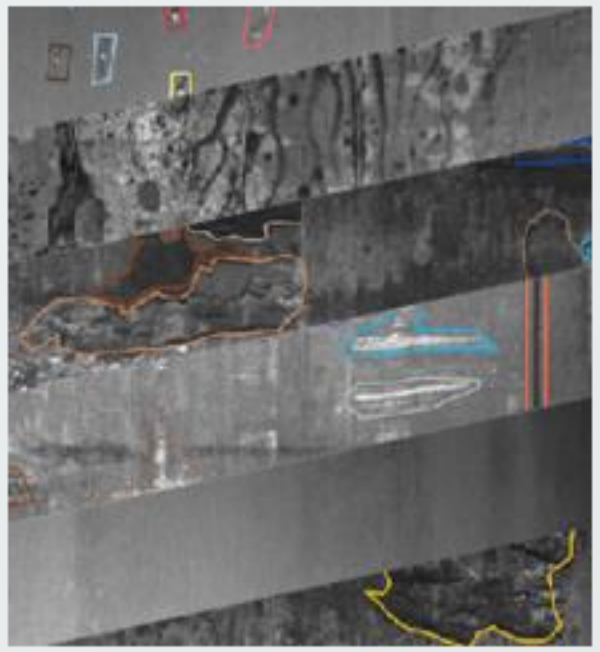
Протир

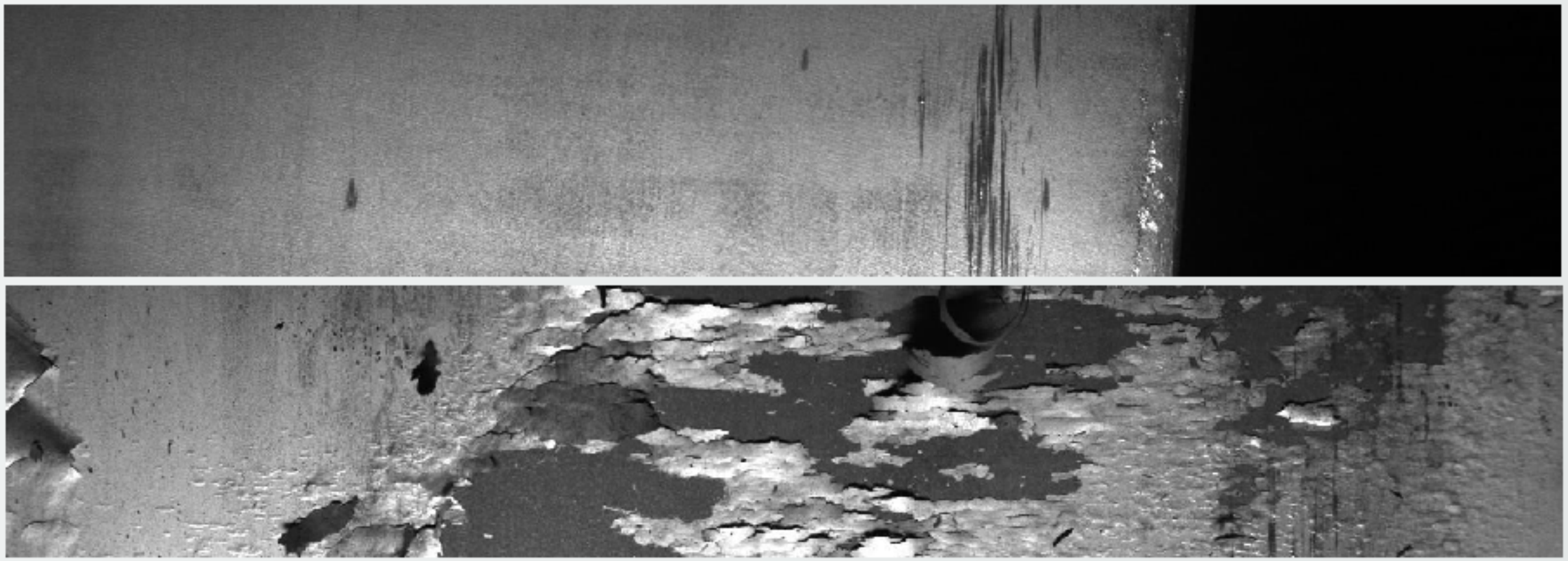


НАБОР ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ

Kaggle.com
Severstal: Steel Defect Detection

Более 50 000 изображений в наборе для обучения

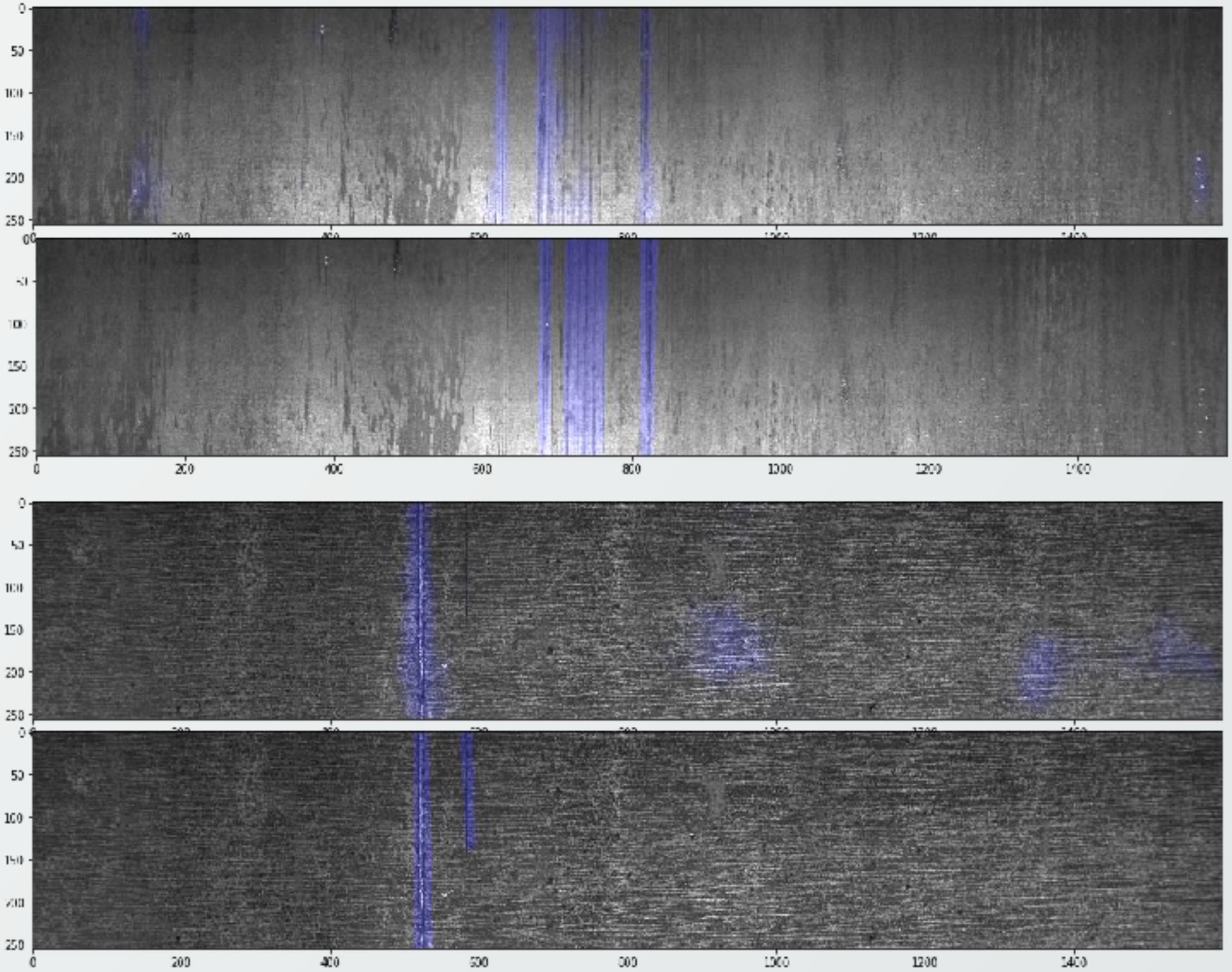




Mask R-CNN – свёрточная нейронная сеть для сегментации объектов на изображениях

Нейронная сеть

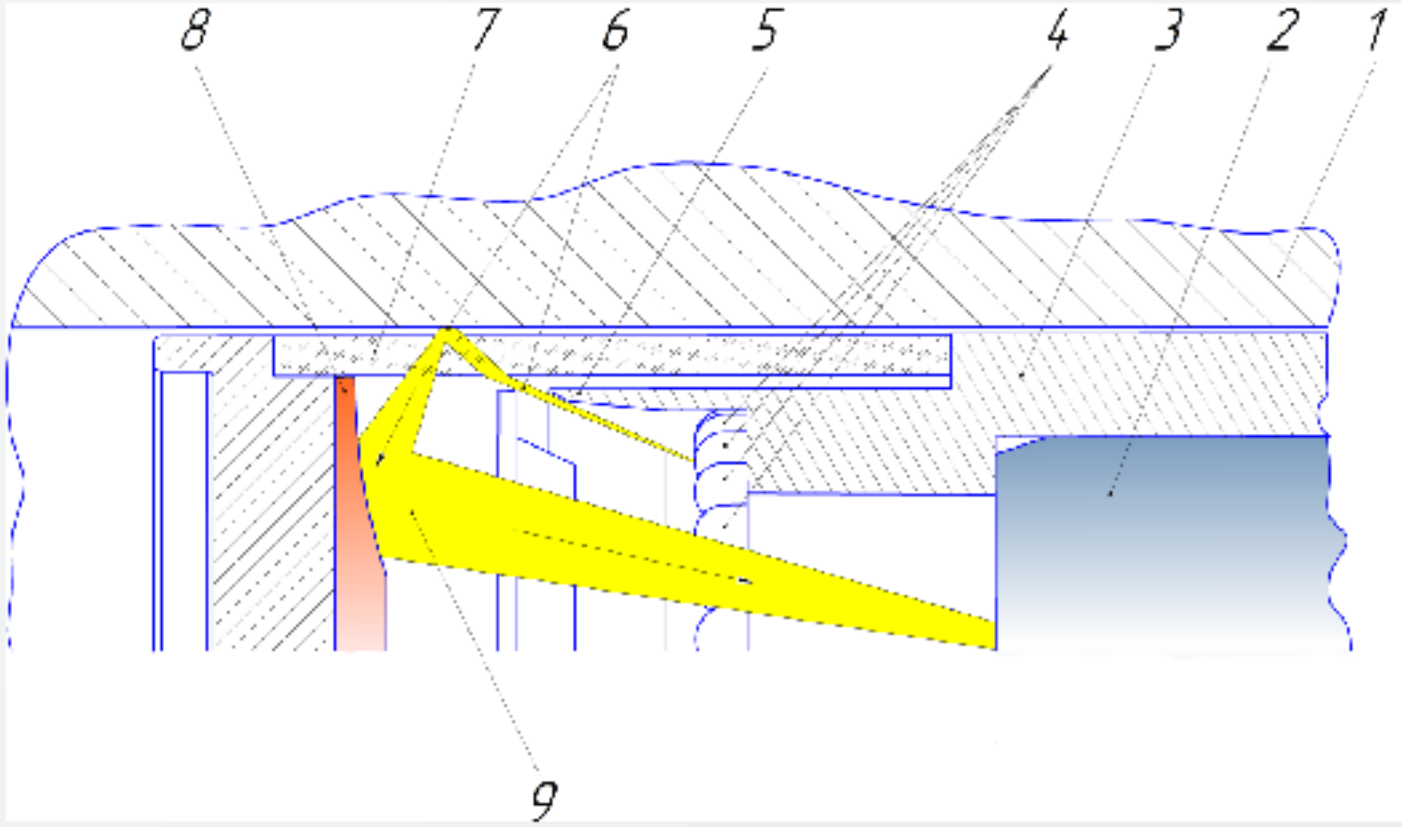
Человек



Нейронная сеть

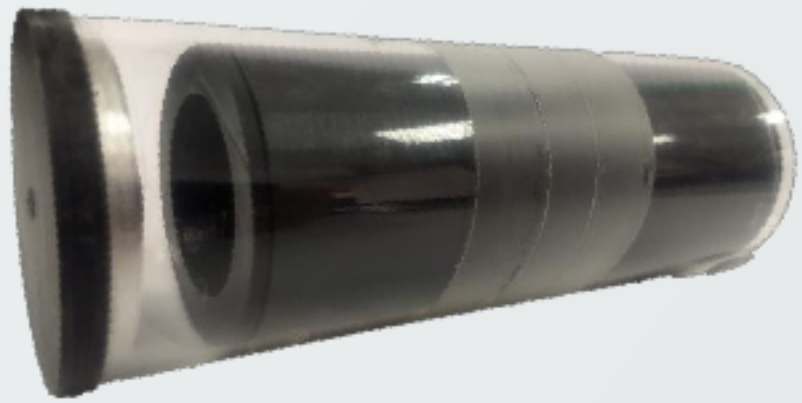
Человек

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ



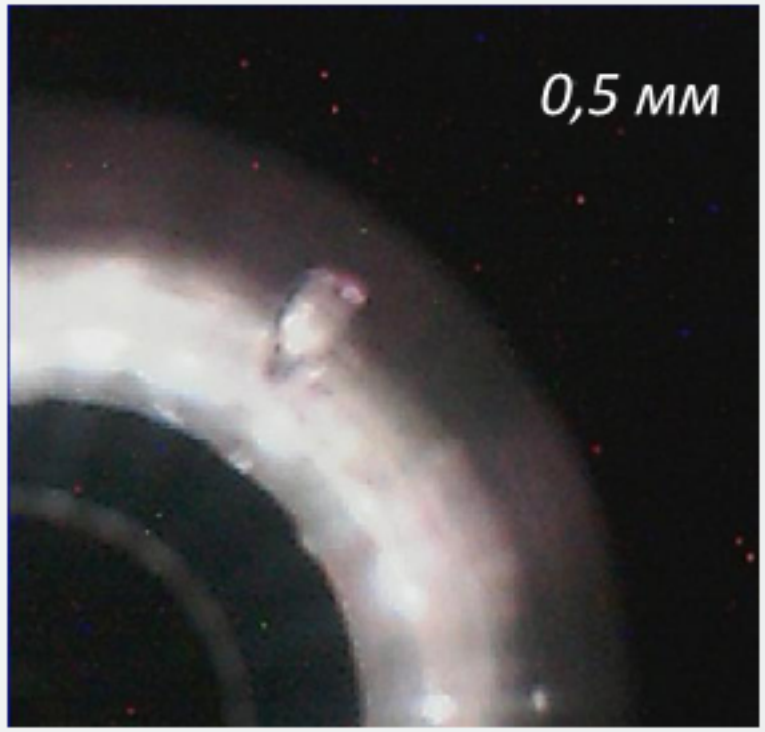
Оптическая схема контроля глубины дефектов поверхности отверстий:

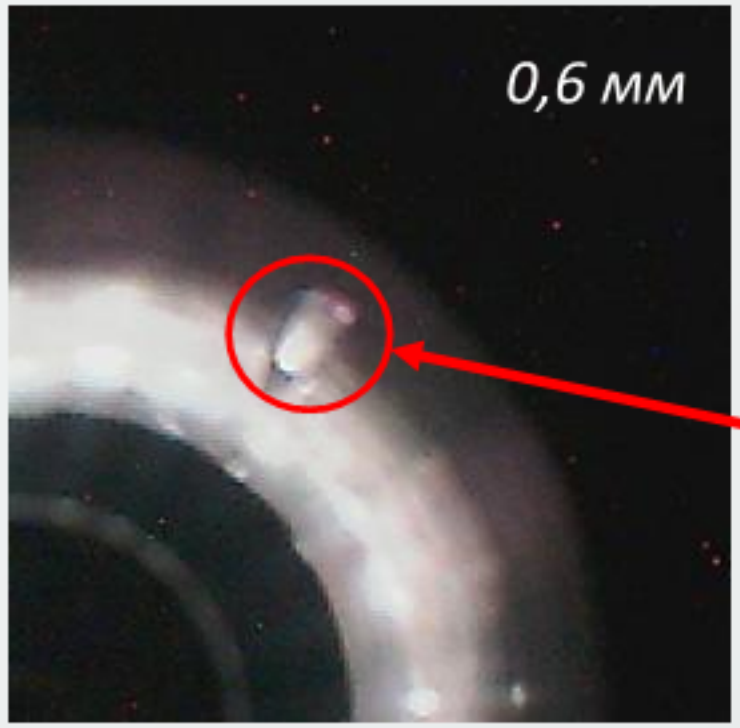
1 – труба;
2 – камера;
3 – цилиндрический корпус;
4 – светодиоды;
5 – щелевая диафрагма;
6 – световой поток;
7 – цилиндрический прозрачный корпус;
8 – ДОЭ;
9 – отраженный световой поток



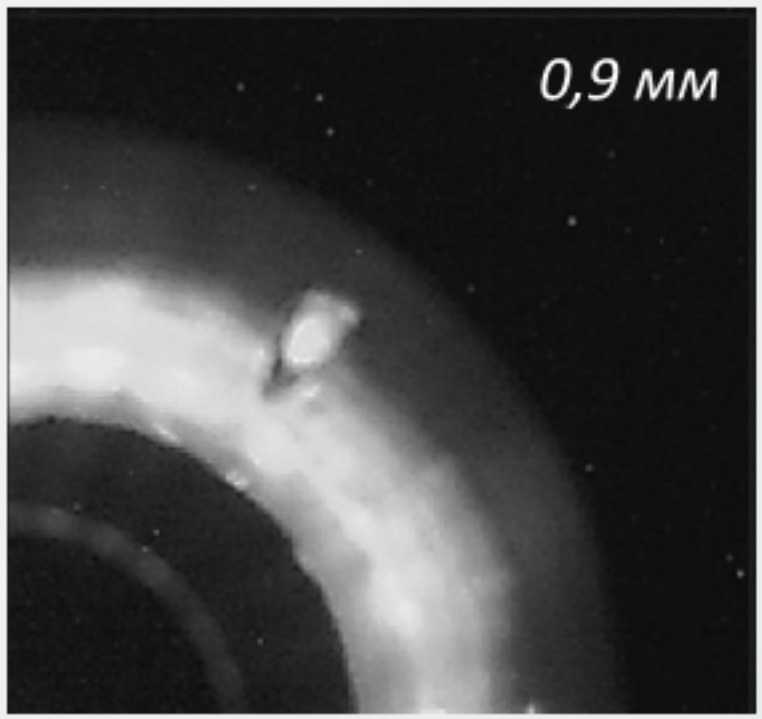


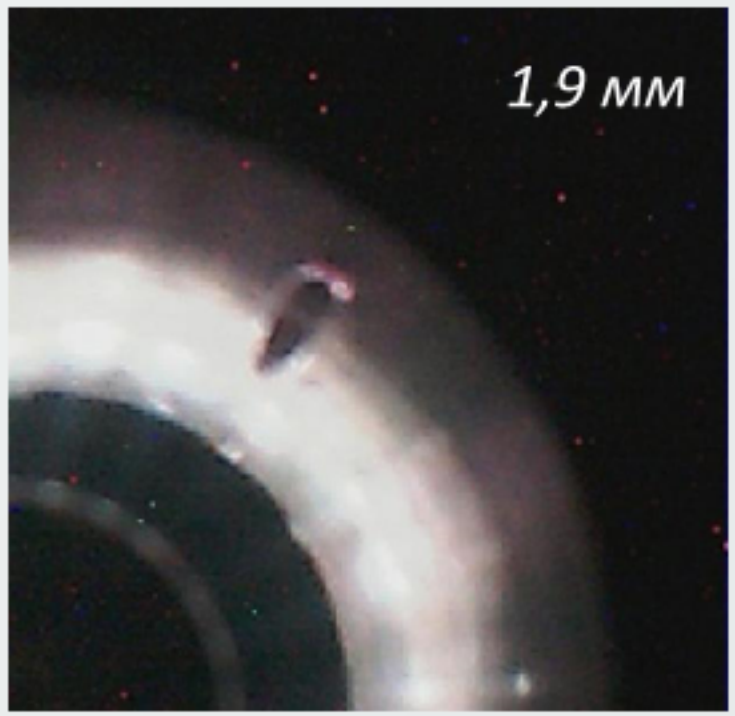
УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

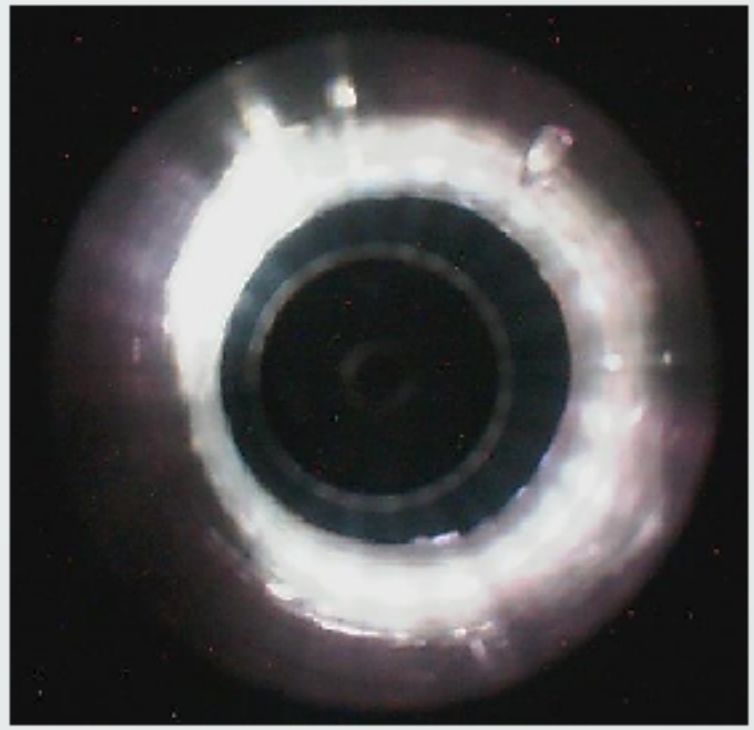




На рисунках изображены кадра видеопотока, получаемого камерой. Анализируя яркость детектируемых фрагментов дефектов, мы можем оценить их глубину.



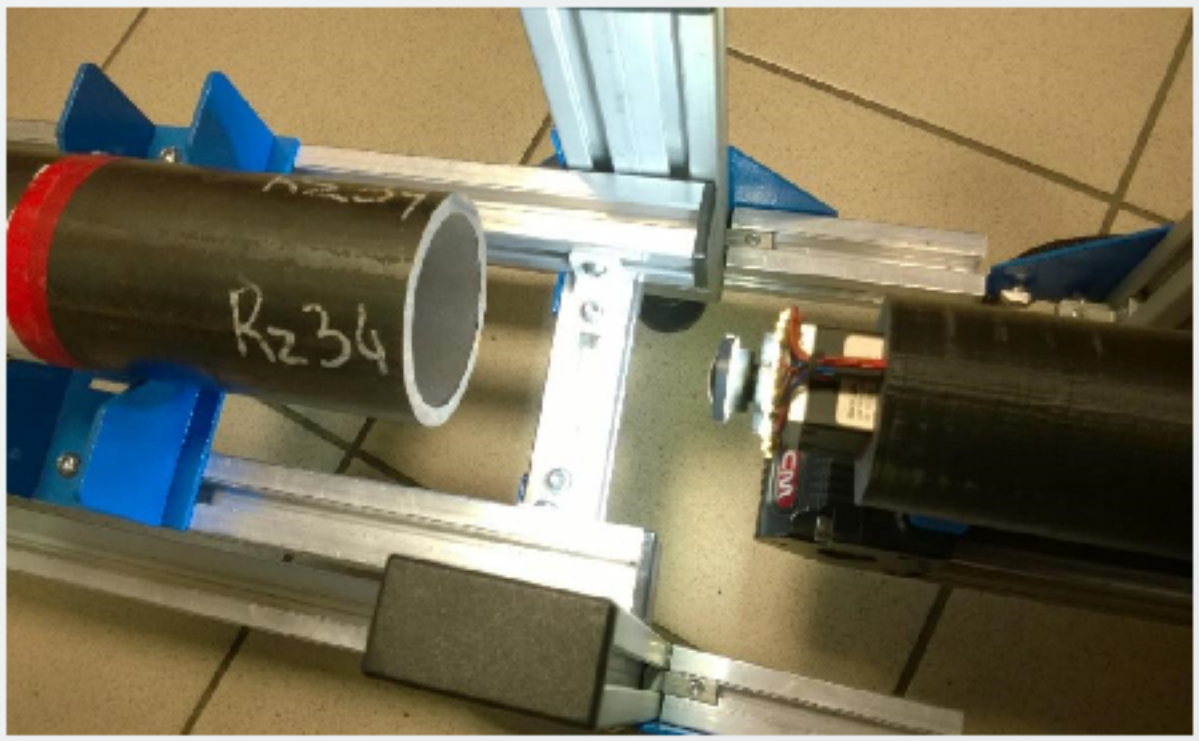


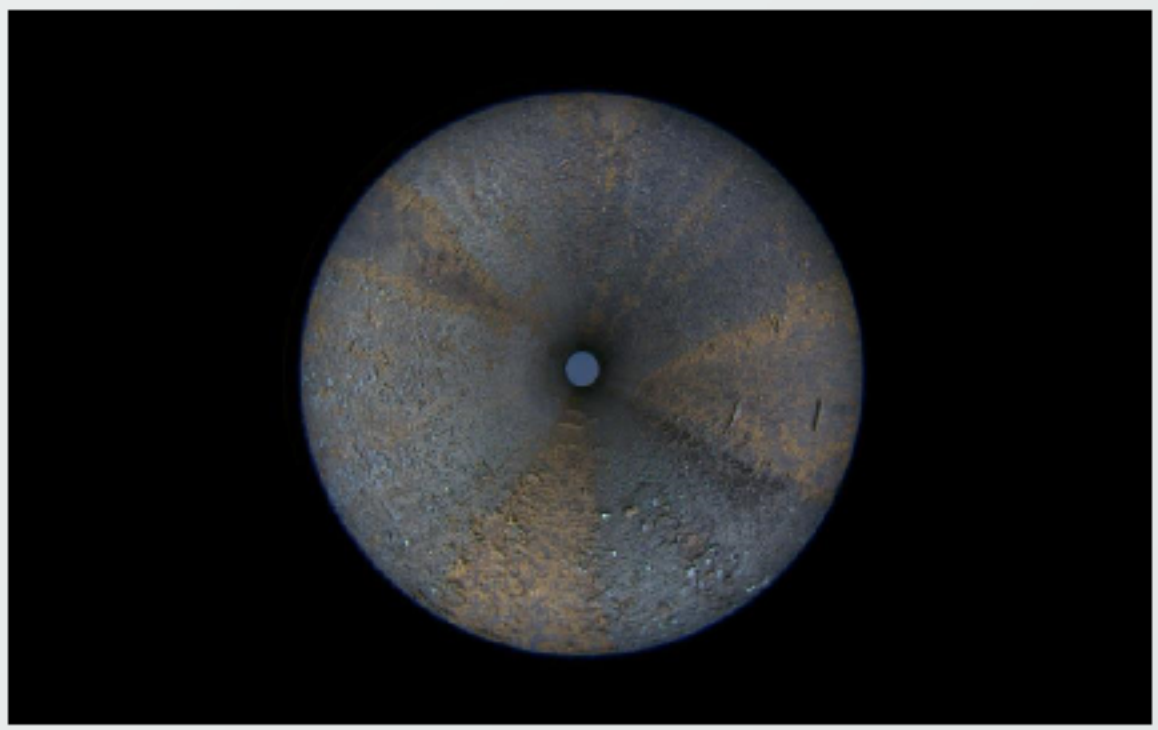


УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

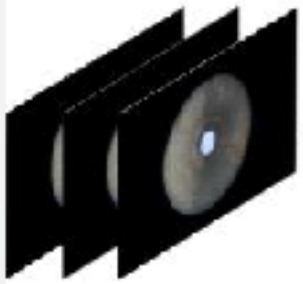








УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ



Предварительная обработка, развертка

Оценка смещения центра камеры → Развертка



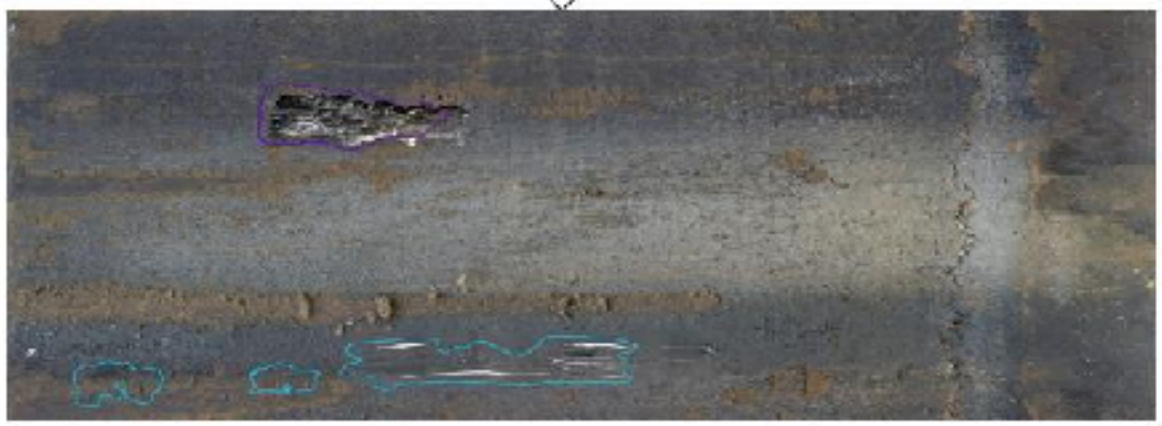
Сшивание панорамы

Выравнивание освещения → Вычисление сдвига → Устранение шва

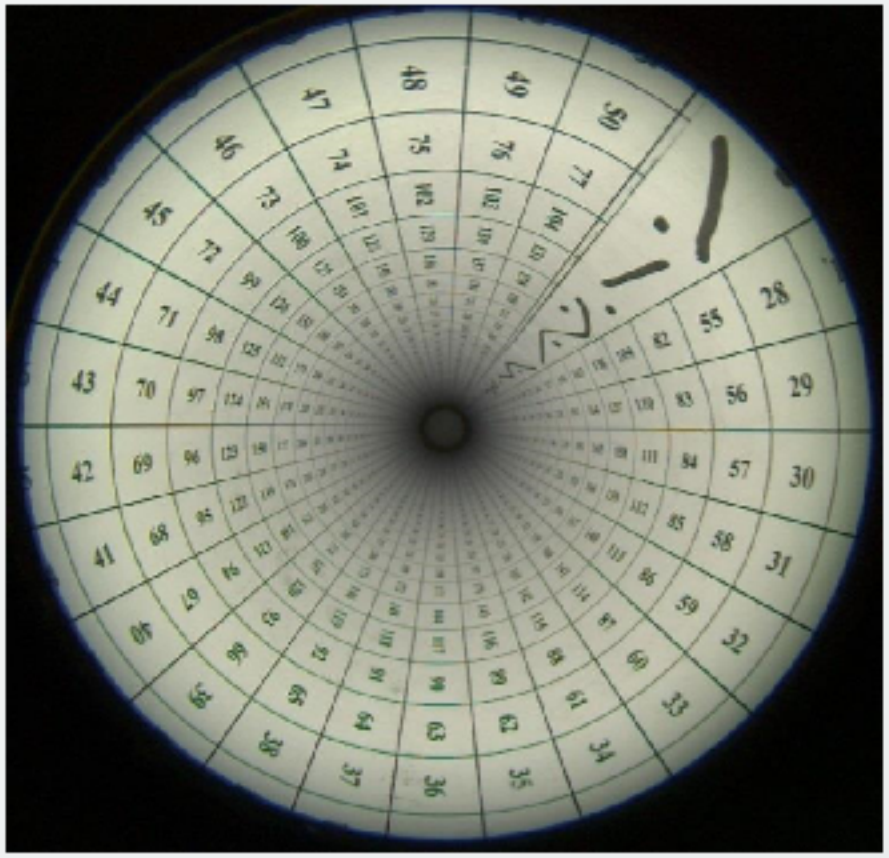


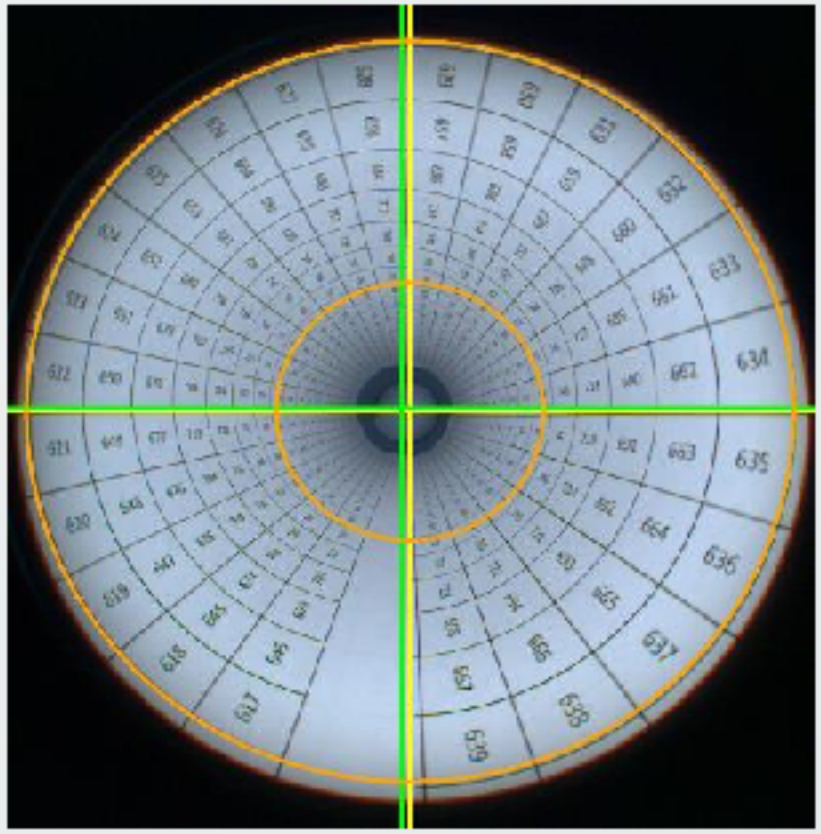
Локализация и классификация дефектов

Разбиение на фрагменты → Семантическая сегментация → Нанесение масок дефектов на панораму



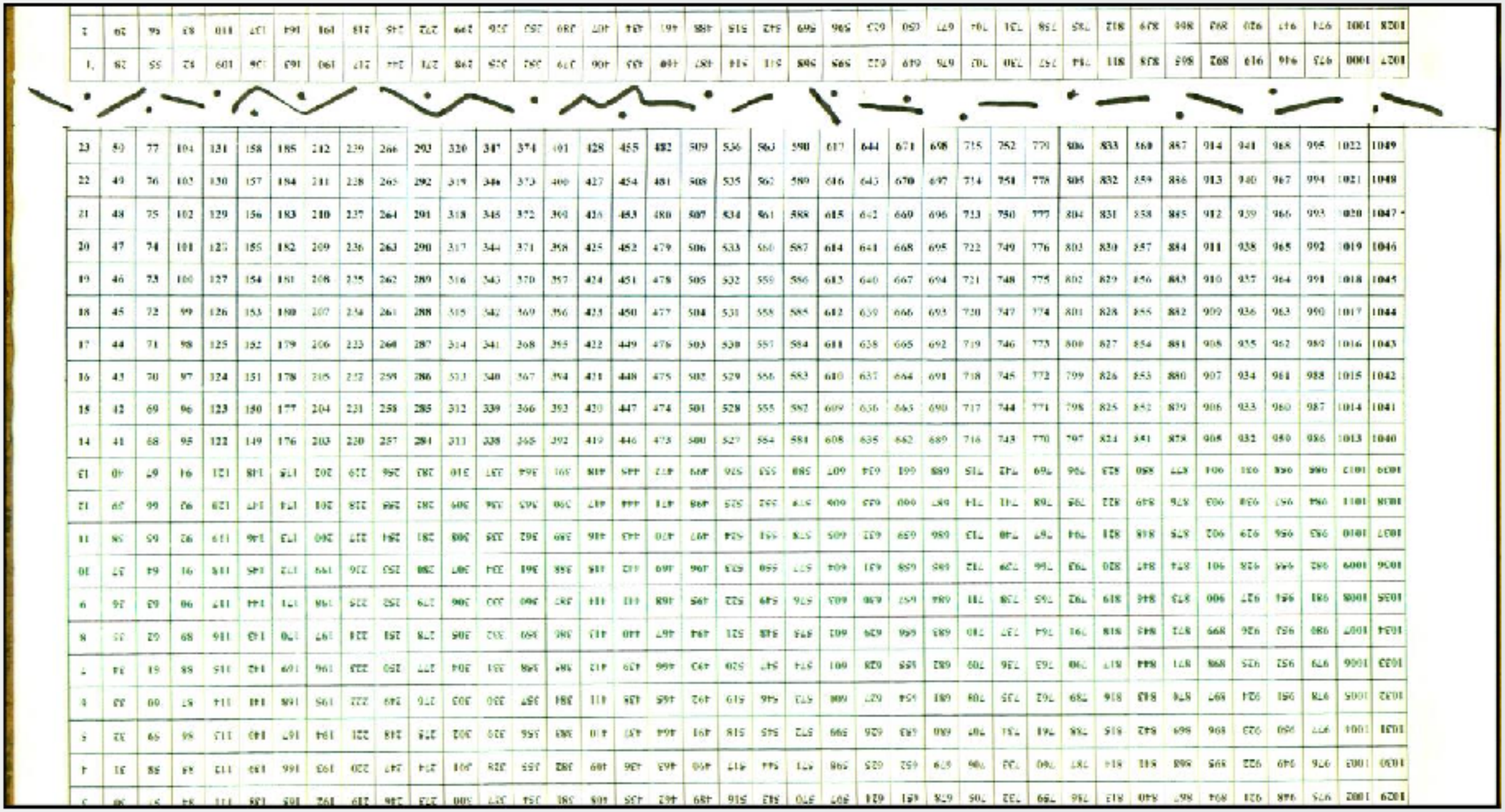
УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ







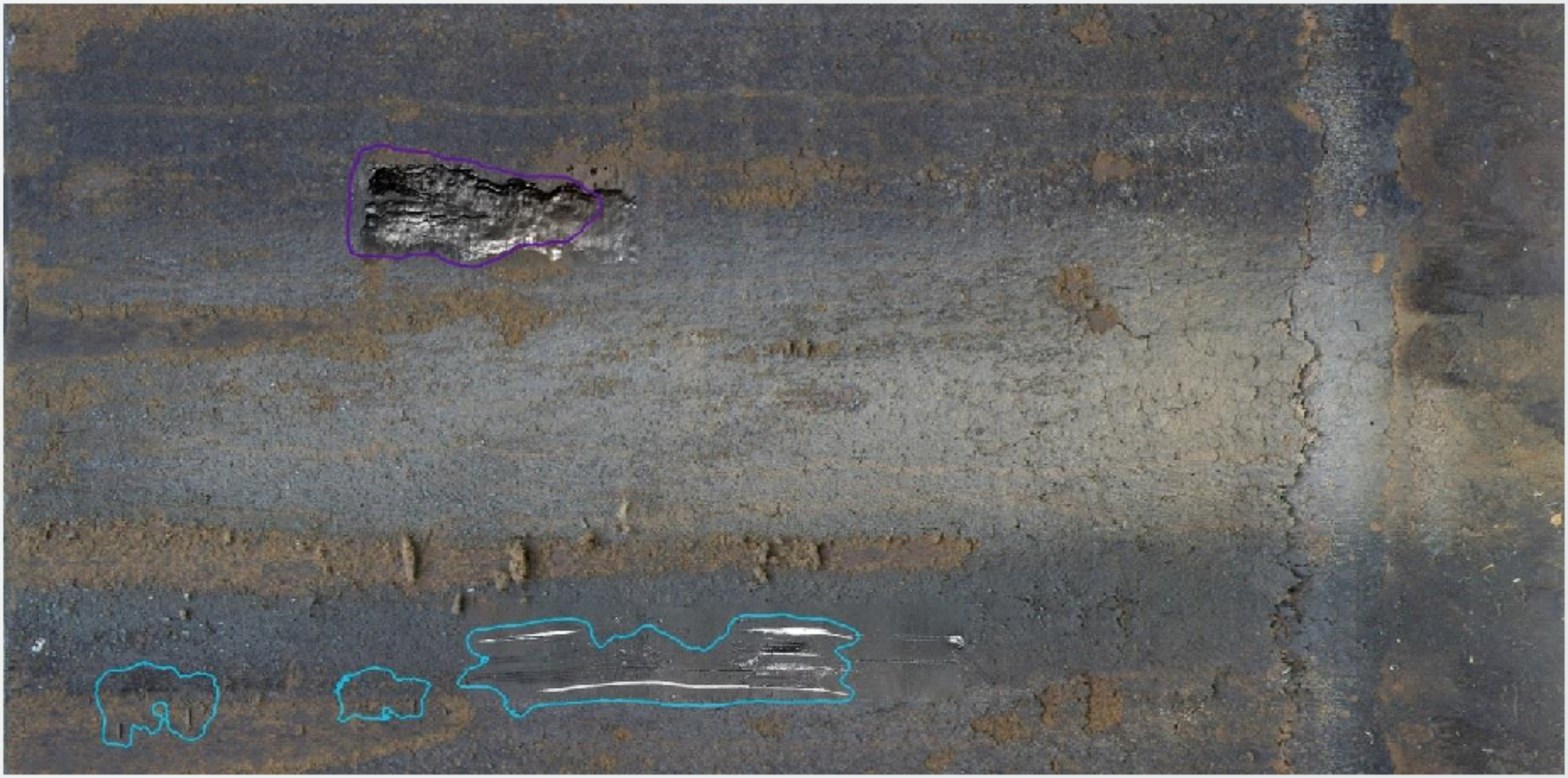
Развертка внутренней поверхности цилиндрического паттерна



Развертка внутренней поверхности трубы



Обнаруженные дефекты



УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

АПК «Визуальный контроль труб»:

- **Проведение сканирования поверхности трубы**
- **Поиск и анализ дефектов (точность позиционирования 0.1 мм)**
- **Генерация отчетов**
- **Проведение ресурсных расчетов**
- **Просмотр результатов сканирования трубы и результатов обработки сенсорных данных**



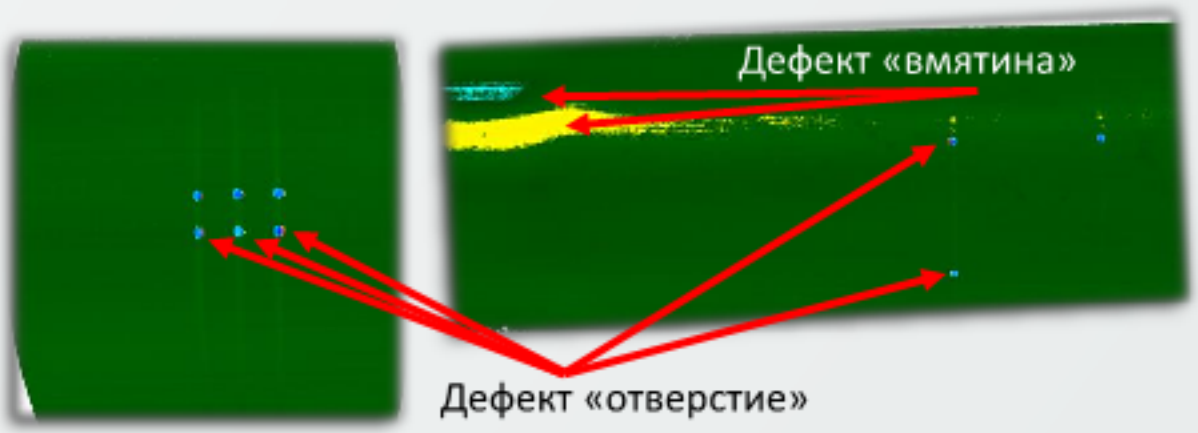
3D-модель трубы
с обнаруженными дефектами

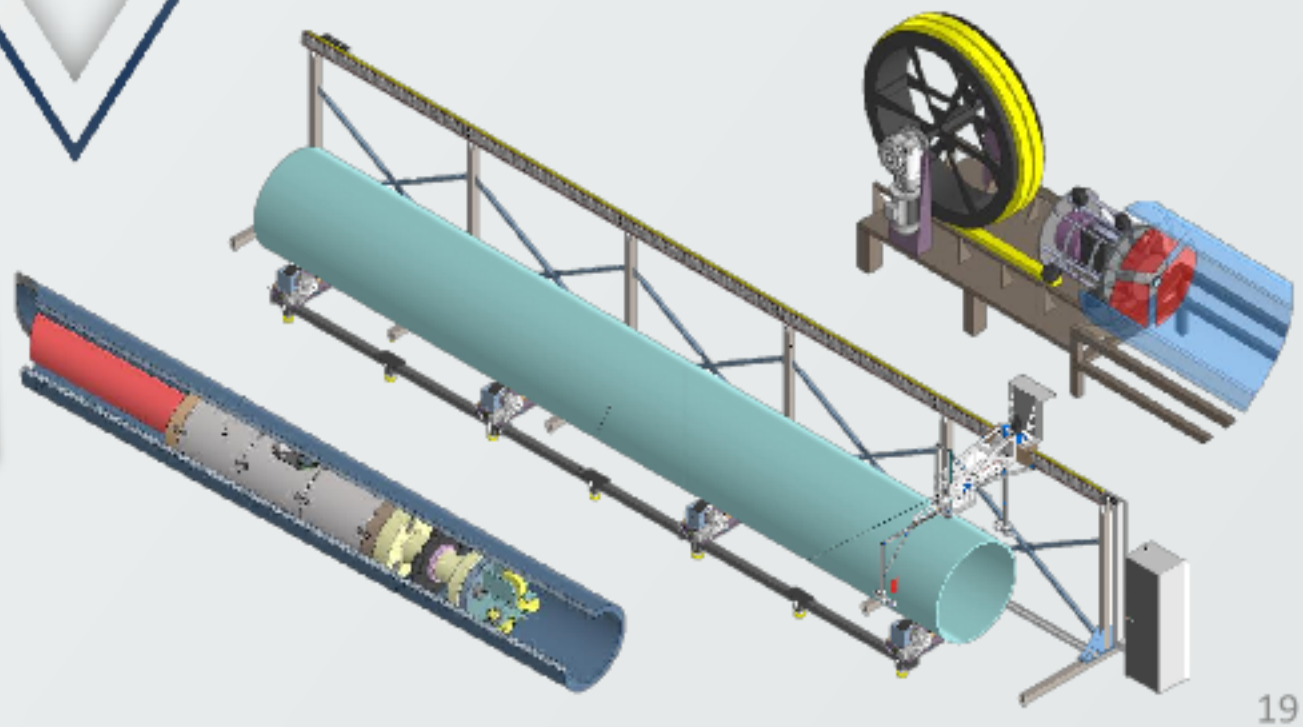


Развертка
трубы

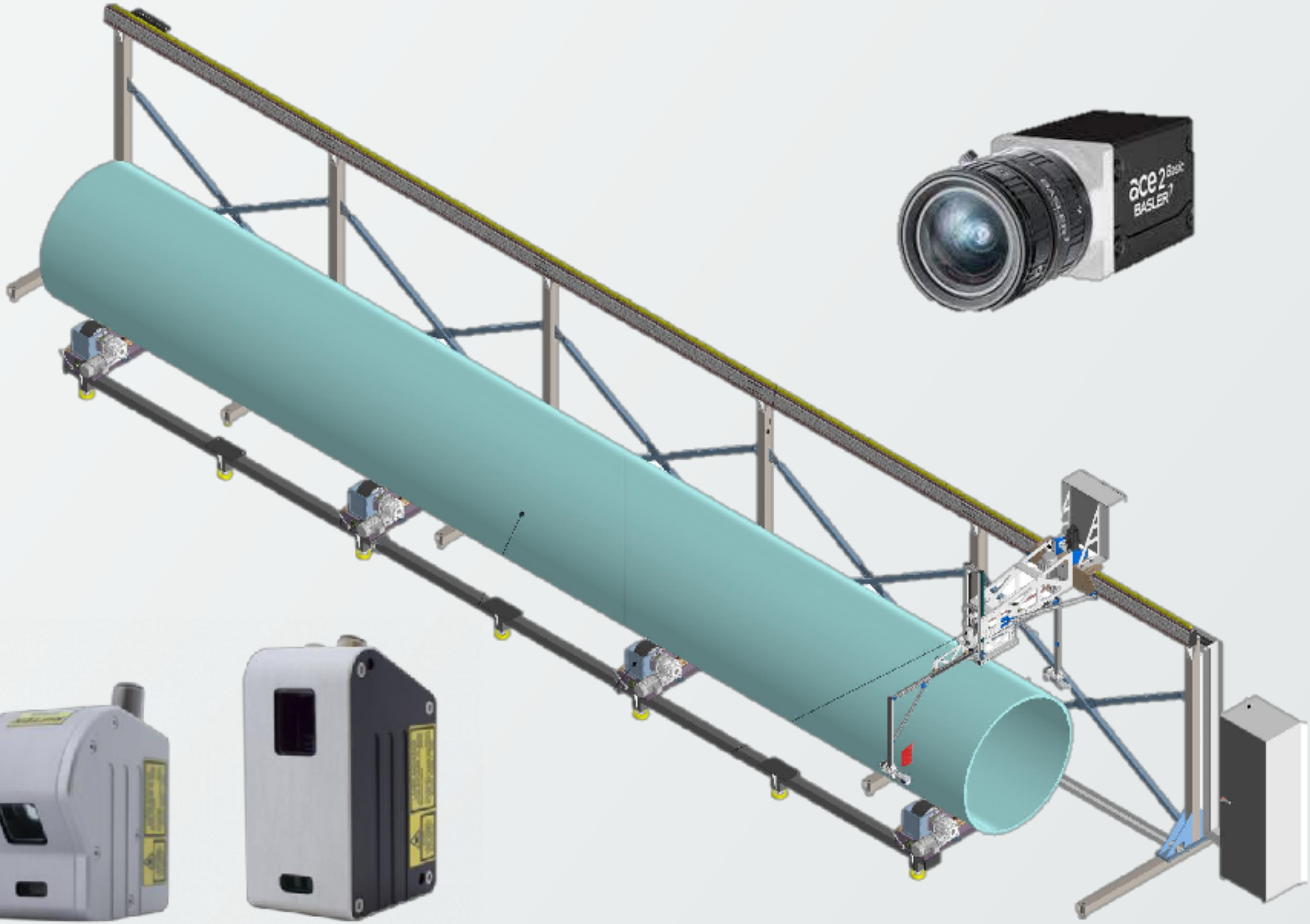
Диаметр исследуемых объектов: 530 – 1420 мм

Длина исследуемых объектов: 12м

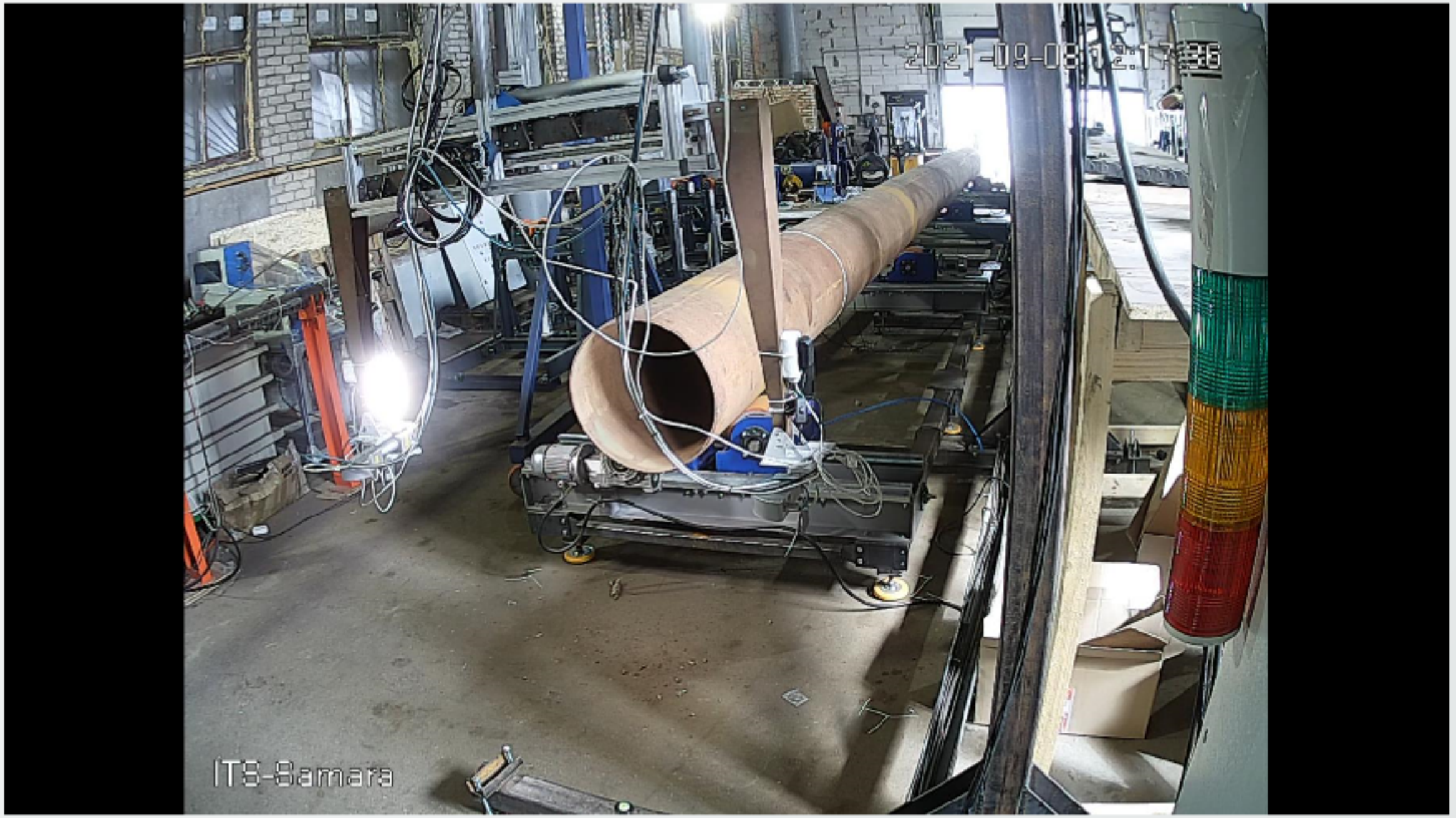




УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ



Внешний вид прототипа АПК «Визуальный контроль труб»

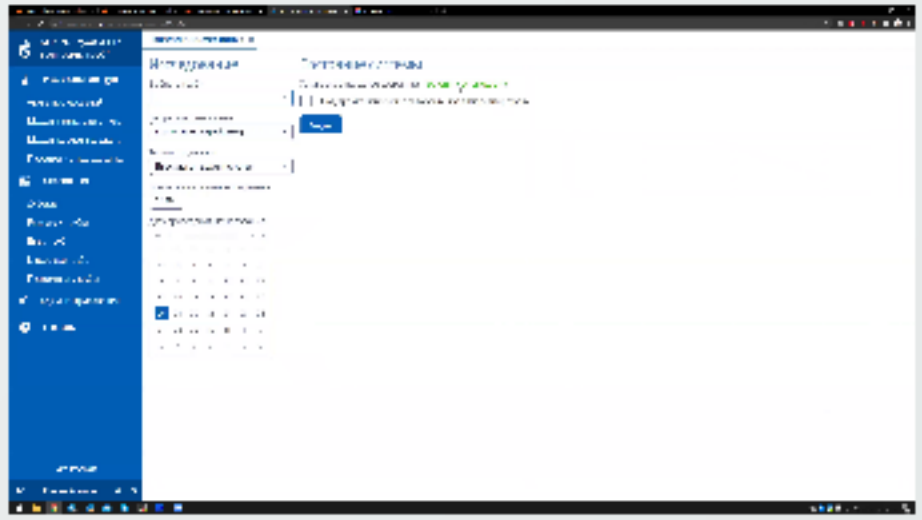


УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

Разработано ПО АПК
со следующим функционалом:

- генерация отчетов;
- проведение ресурсных расчетов;
- Эмуляция проведения исследования;
- Просмотр результатов сканирования трубы и результатов обработки сенсорных данных.





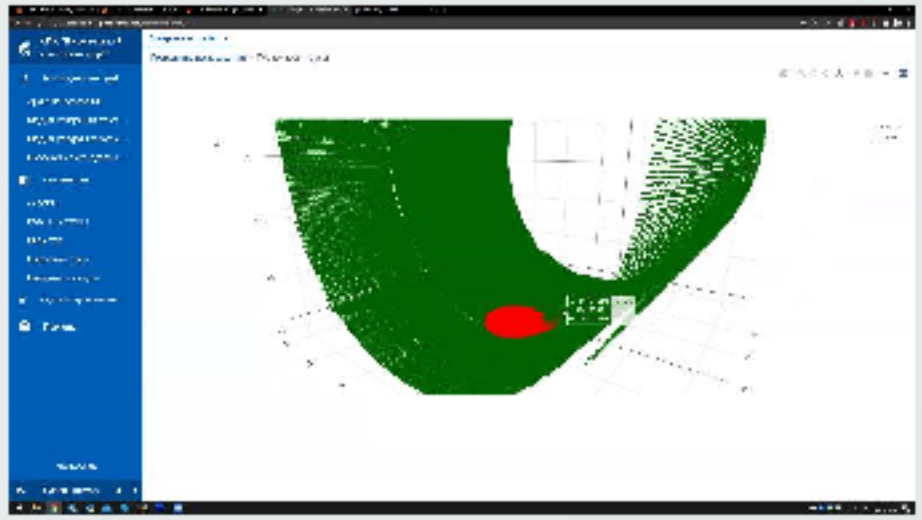
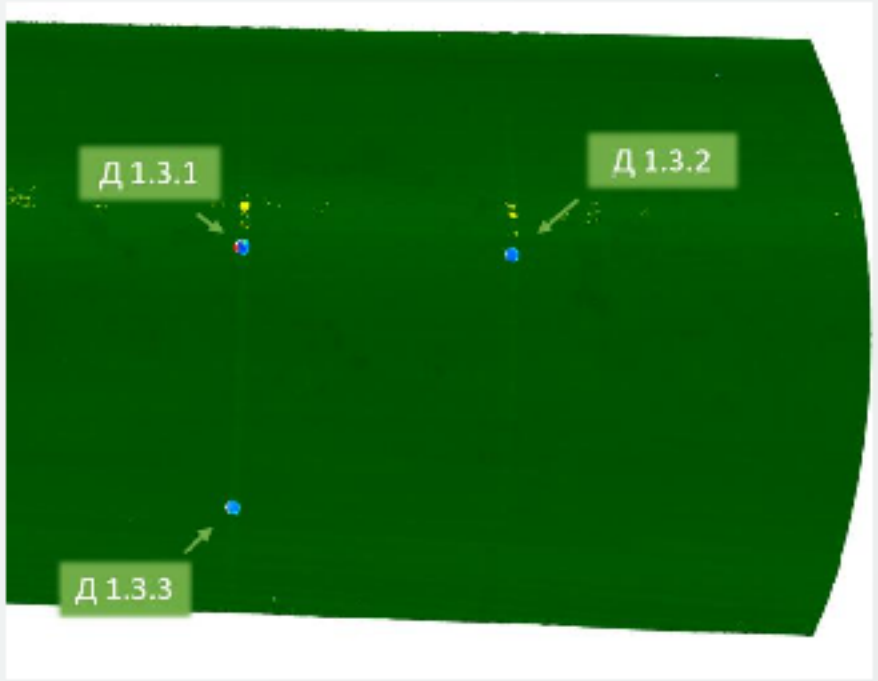
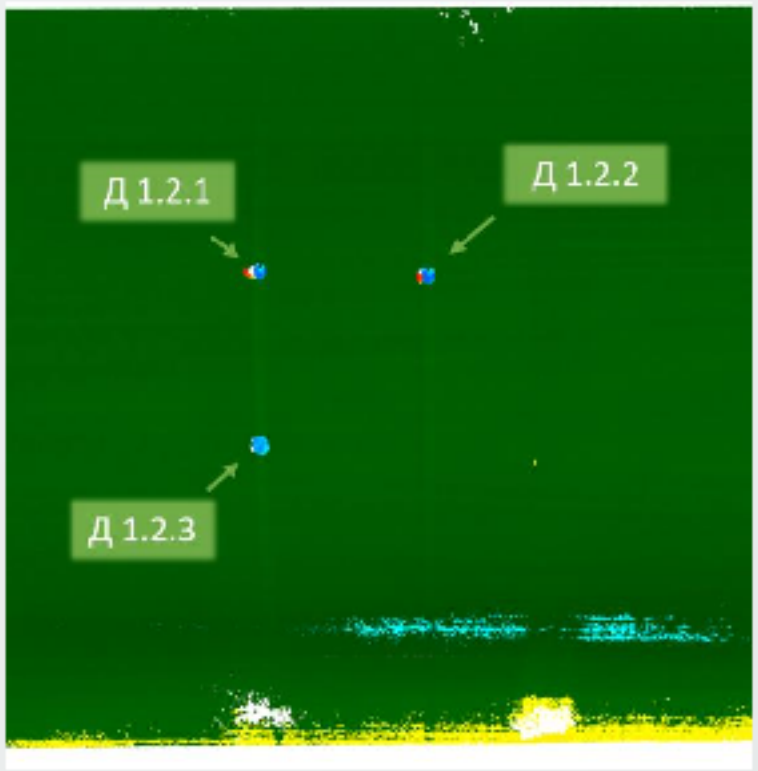


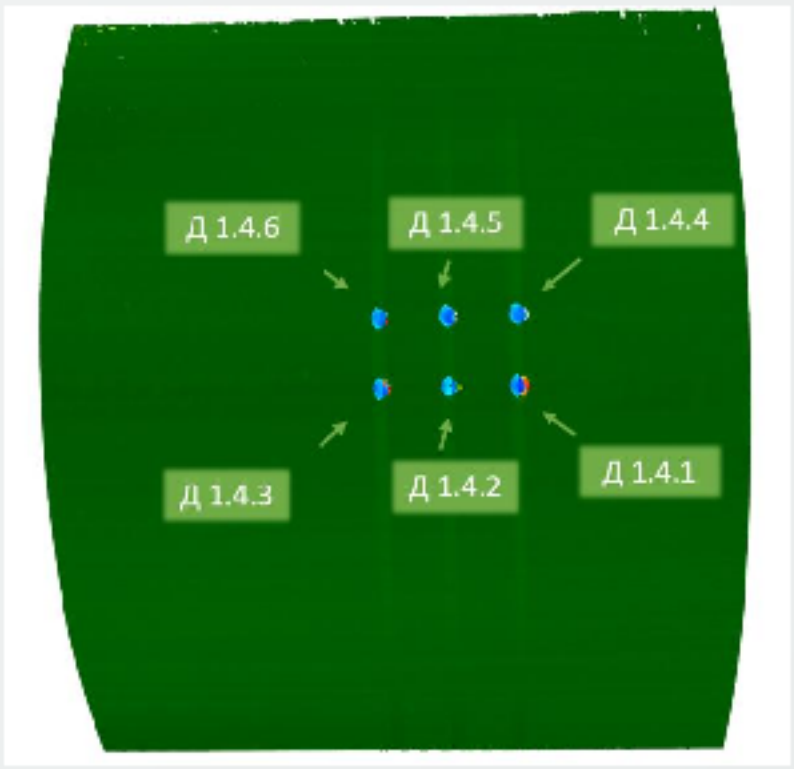
Схема нанесения дефектов

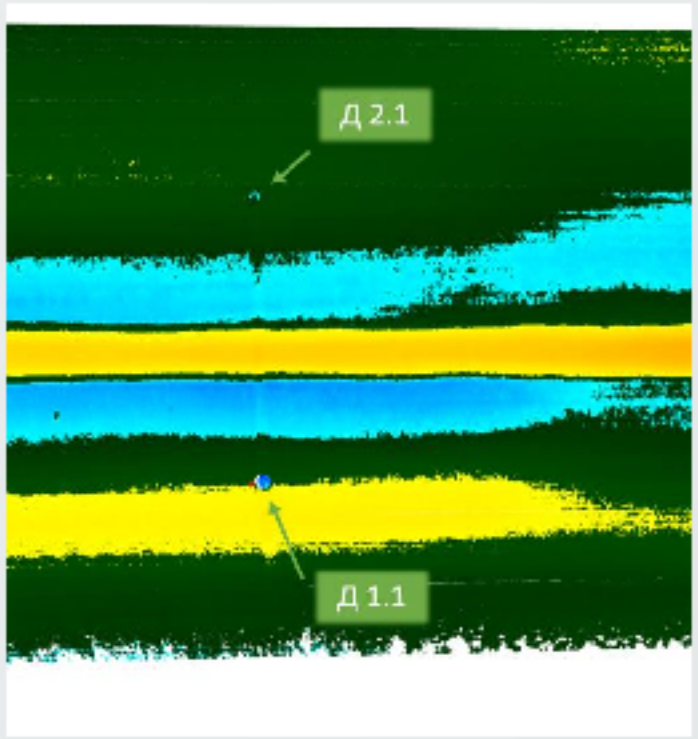


Расположение обнаруженных дефектов





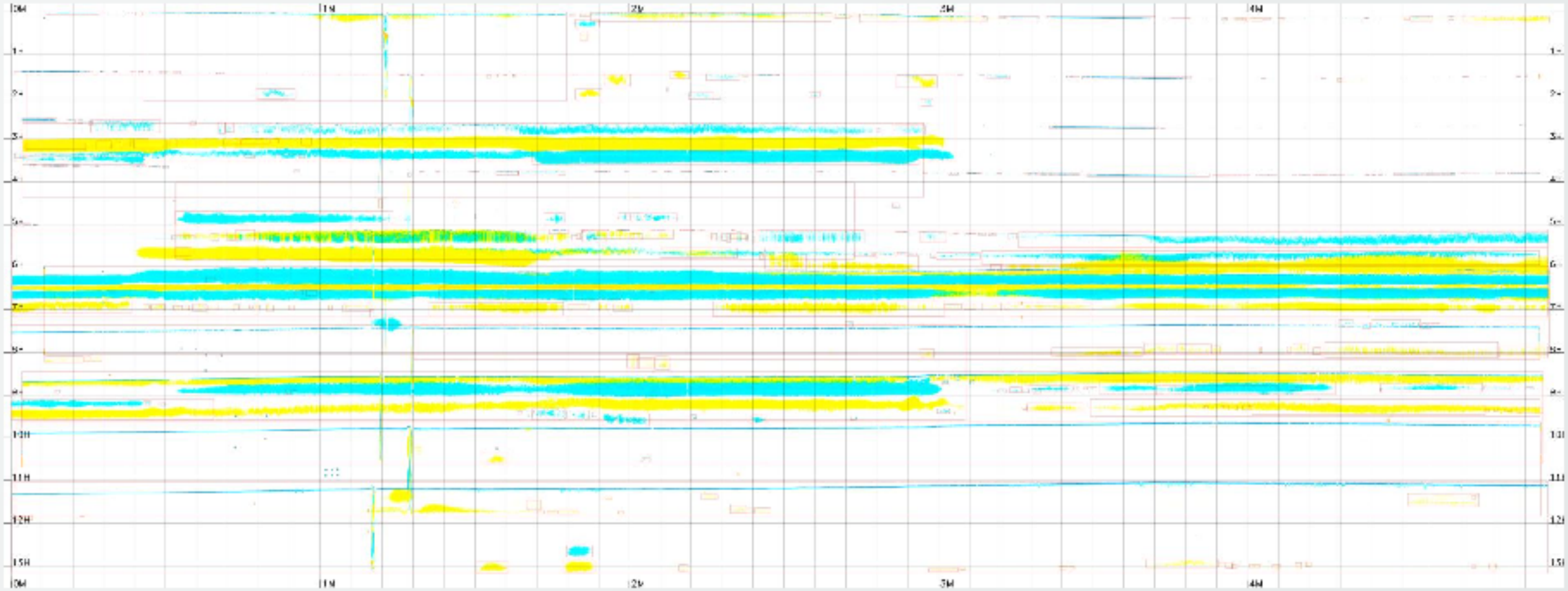




УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

Дефект	Диаметр				Глубина			
	измеренный ВИК, мм	измеренный модулем, мм	погрешность, мм	соответствие Программе и методике	измеренная ВИК, мм	измеренная модулем, мм	погрешность, мм	соответствие Программе и методике
Д 1.1	5,6	6,36	0,76	да	2,6	2,69	0,09	да
Д 1.2.1	5,4	5,32	0,08	да	2,7	3,32	0,62	нет
Д 1.2.2	5,6	5,69	0,09	да	2,8	2,39	0,41	нет
Д 1.2.3	6,0	6,0	0	да	1,8	1,79	0,01	да
Д 1.3.1	6,1	5,24	0,86	да	3,0	3,07	0,07	да
Д 1.3.2	6,1	6,28	0,18	да	2,3	2,19	0,11	да
Д 1.3.3	6,1	6,0	0,1	да	1,9	2,7	0,8	нет
Д 1.4.1	6,0	6,4	0,4	да	3,0	3,1	0,1	да
Д 1.4.2	6,0	6,07	0,07	да	2,2	2,5	0,3	да
Д 1.4.3	6,2	6,4	0,2	да	2,6	3,01	0,41	нет
Д 1.4.4	6,0	6,05	0,05	да	2,4	2,3	0,1	да
Д 1.4.5	6,0	6,4	0,4	да	2,6	2,58	0,02	да
Д 1.4.6	6,2	6,4	0,2	да	2,7	2,41	0,29	да
Д 2.1	5,0	5,08	0,08	да	0,7	0,91	0,21	да
Д 2.2	5,0	5,96	0,96	да	0,8	1,37	0,57	нет
Д 2.3	5,5	5,85	0,35	да	0,8	0,94	0,14	да

Развертка поверхности трубы с отмеченными аномалиями



Решаемые проблемы:

- ✓ Автоматизированный контроль выпускаемой продукции
- ✓ Контроль и распознавание дефектов эксплуатируемой продукции
- ✓ Снижение финансовых затрат

Машинное зрение позволяет:

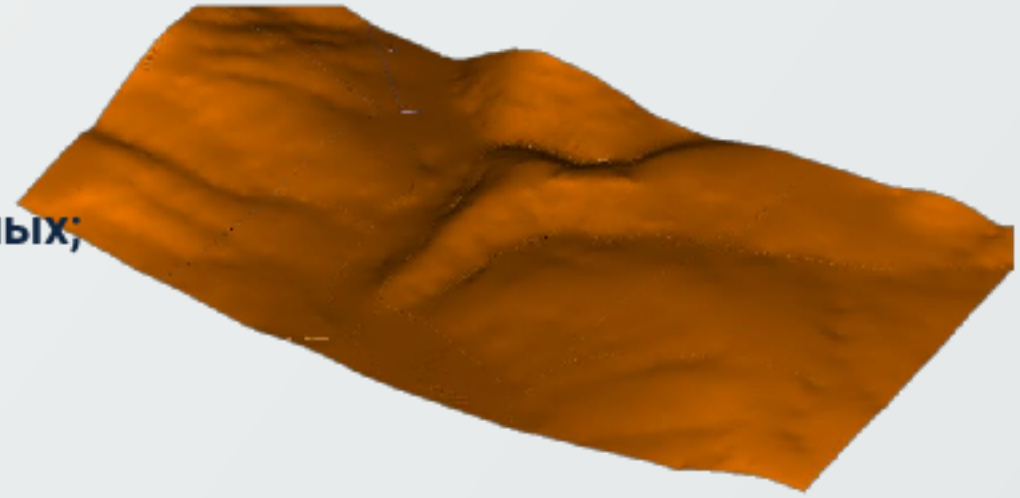
- ✓ Измерять характеристики выпускаемой продукции:
  - ✓ диаметр
  - ✓ овальность
  - ✓ толщина стенки
  - ...
- ✓ Оценивать состояние поверхности

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ. ОПЫТ РАБОТ

Создание компьютерной модели трубопроводной системы нефтесбора на Байтуганском нефтяном месторождении

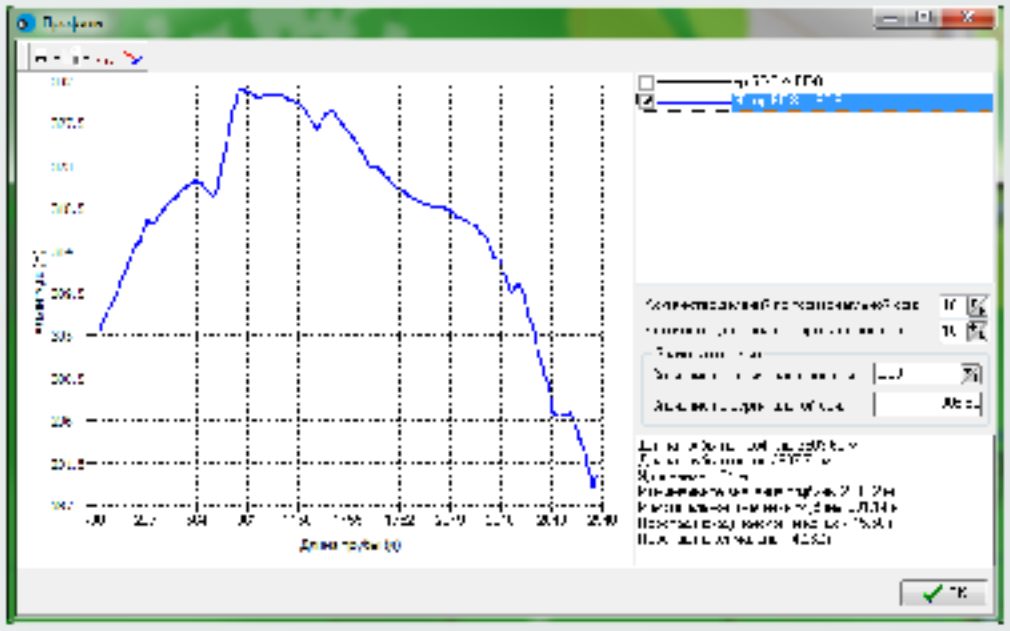
Этап 1 - Сбор, анализ и подготовка данных

- сбор и систематизация данных (топографические, геодезические);
- уточнение перечня отсутствующих, реконструированных и новых участков и объектов;
- геодезическая съемка, уточнение пространственного положения объектов



Этап 2 - Построение цифровой модели

- загрузка исходных данных в формат цифровой модели данных;
- загрузка топографических данных;
- создание цифровой модели рельефа местности;
- построение профилей трасс трубопроводов;
- загрузка паспортных данных;
- загрузка данных по коррозии и солеотложениям.

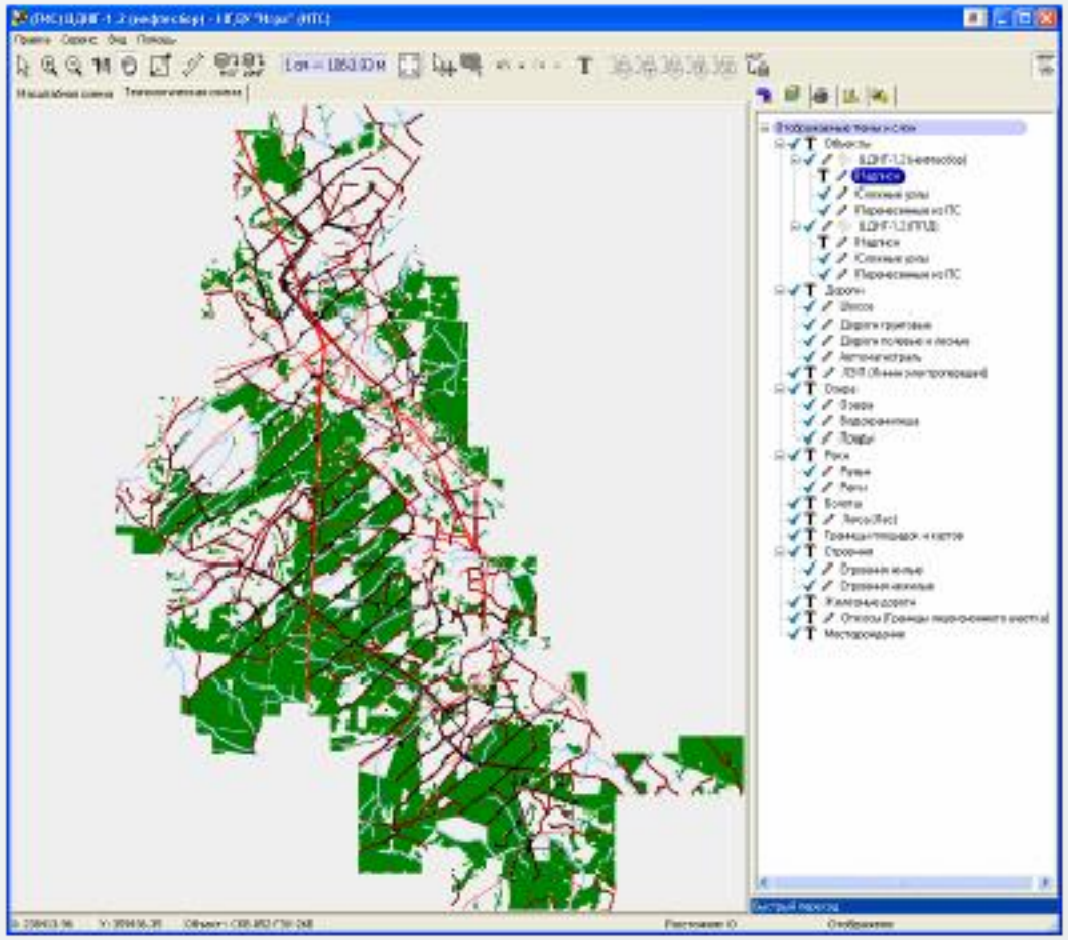


Этап 3 – Эксплуатация моделей

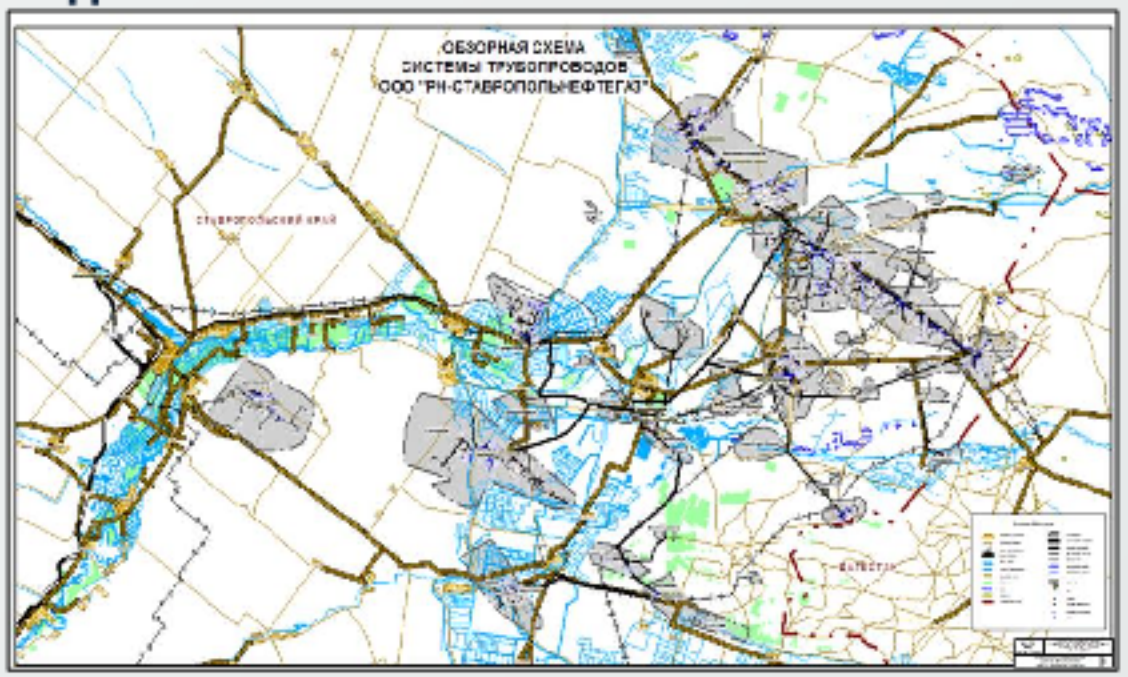
- гидравлический расчет;
- прогнозирование выпадение гипса;
- расчет остаточного ресурса трубопроводов

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ. ОПЫТ РАБОТ

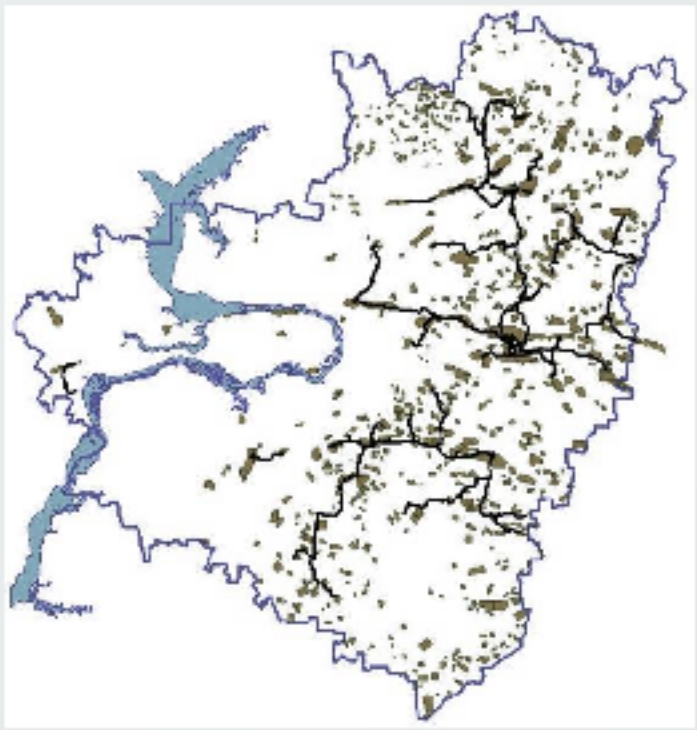
В ОАО «Удмуртнефть» протяженность трасс трубопроводов в модели составила 5018 км



В ООО «РН-Ставропольнефтегаз» протяженность трасс трубопроводов в модели составила 1233 км



В АО «Самаранефтегаз» протяженность трасс трубопроводов в модели составила 8530 км

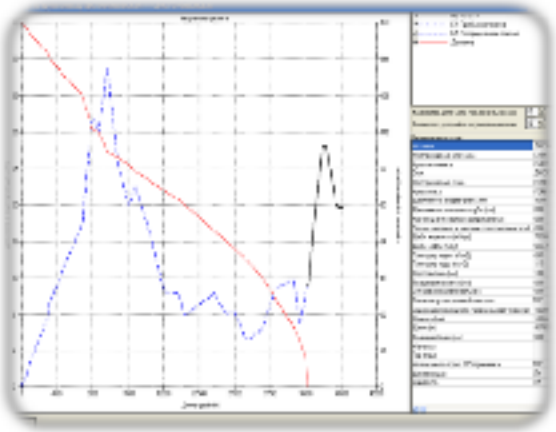


ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ



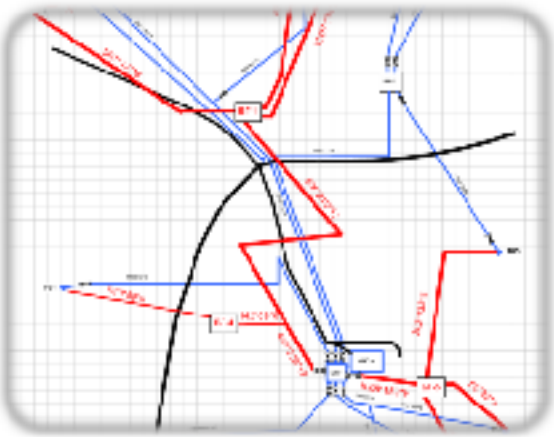
Оперативный мониторинг

- Интегрированность всей имеющейся актуальной информации
- Занесение оперативной информации (отказы, использование реагентов)
- Инвентаризация и паспортизация трубопроводов
- Разработка мероприятий ППР и оценка их эффективности
- Оценка и минимизация экономического и экологического ущерба при авариях



Современные инструменты для работы

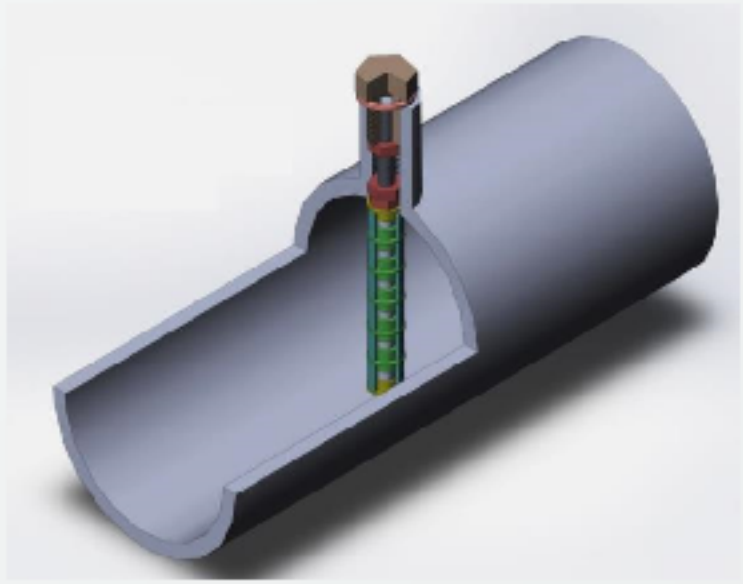
- Расчет остатков нефти
- Гидравлические расчеты
- Расчет остаточного ресурса трубопроводов
- Выполнение статистического анализа по отказоустойчивости
- Прогнозирование рисков отложения солей и АСПО
- Оценка эффективности применения химических реагентов



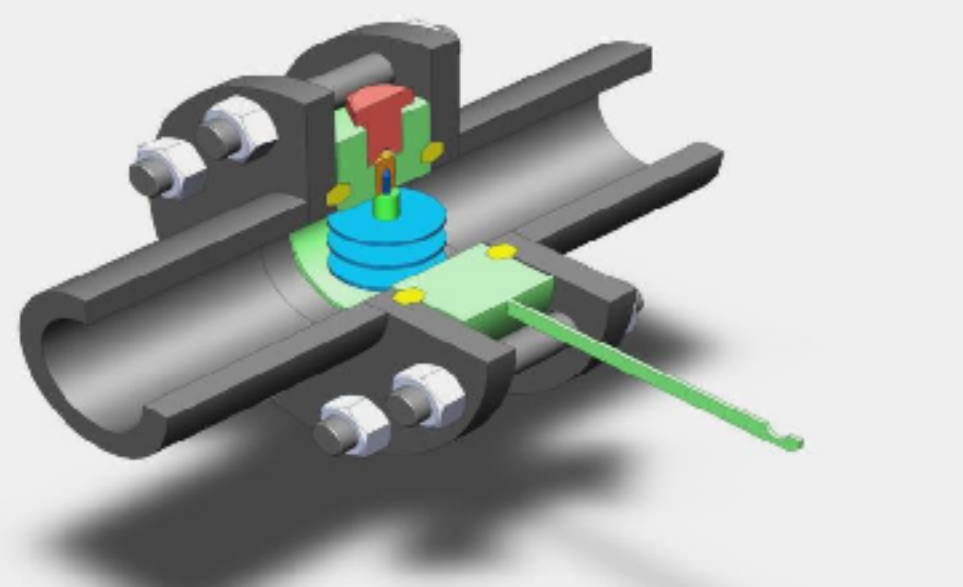
Реинжиниринг системы трубопроводов

- Оптимизация протяженности и топологии систем трубопроводного транспорта
- Учет плана развития и движения фонда скважин
- Повышение надежности эксплуатации трубопроводов и снижение рисков
- Оценка экономической целесообразности и планирование реконструкции и строительства
- Предпроектная подготовка

Использованные устройства контроля коррозии



Гравиметрические кассеты



Межфланцевые узлы

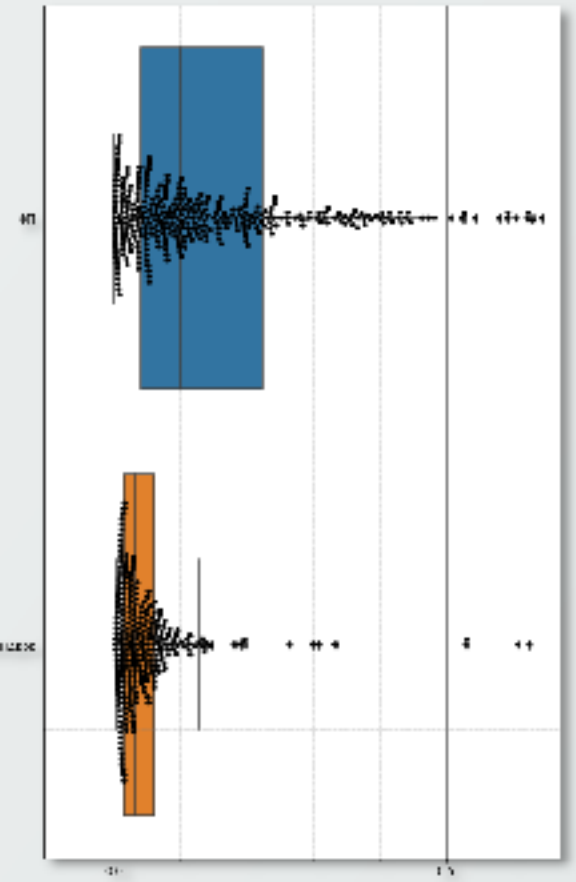
В результате получены временные ряды по следующим технологическим параметрам:

- **T** – температура среды в трубопроводе [℃]
- **P** – давление среды в трубопроводе [МПа]
- **Q** – Расход среды [тыс. $м^3$/час]
- **T_date** – даты замеров
- **P_date** – даты замеров
- **Q_date** – даты замеров
- Наличие/отсутствие ингибирования
- Порядок подачи

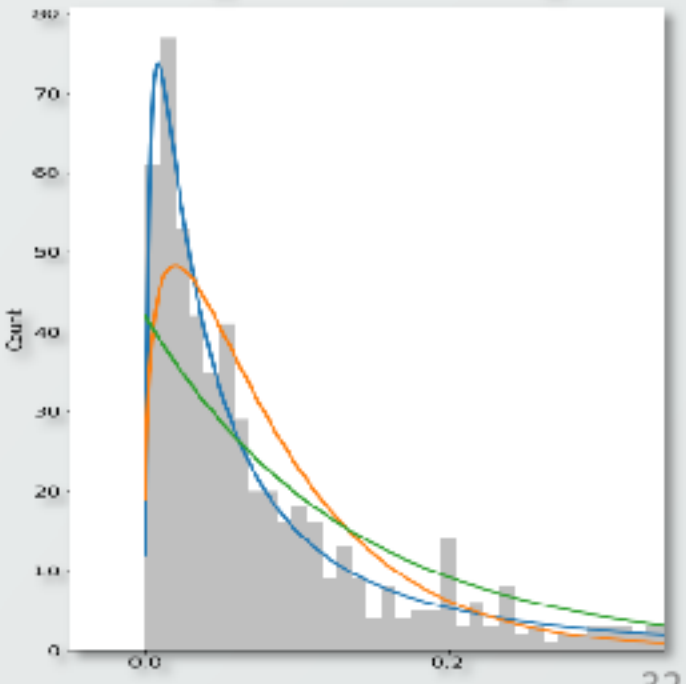
Построение модели предиктивного анализа вероятности отказа трубопровода

Назначение системы:

- обеспечение автоматизированного отслеживания и анализа технического состояния элементов трубопроводной сети
- интерактивное картирование паспортов оборудования и иной необходимой информации (документации) по элементам трубопроводной сети
- оперативное предоставление текущей и аналитической информации по коррозионно-эрозионному износу и остаточному ресурсу элементов трубопроводной сети
- двусторонний обмен информацией между подразделениями по техническому обслуживанию и ремонту трубопроводной сети





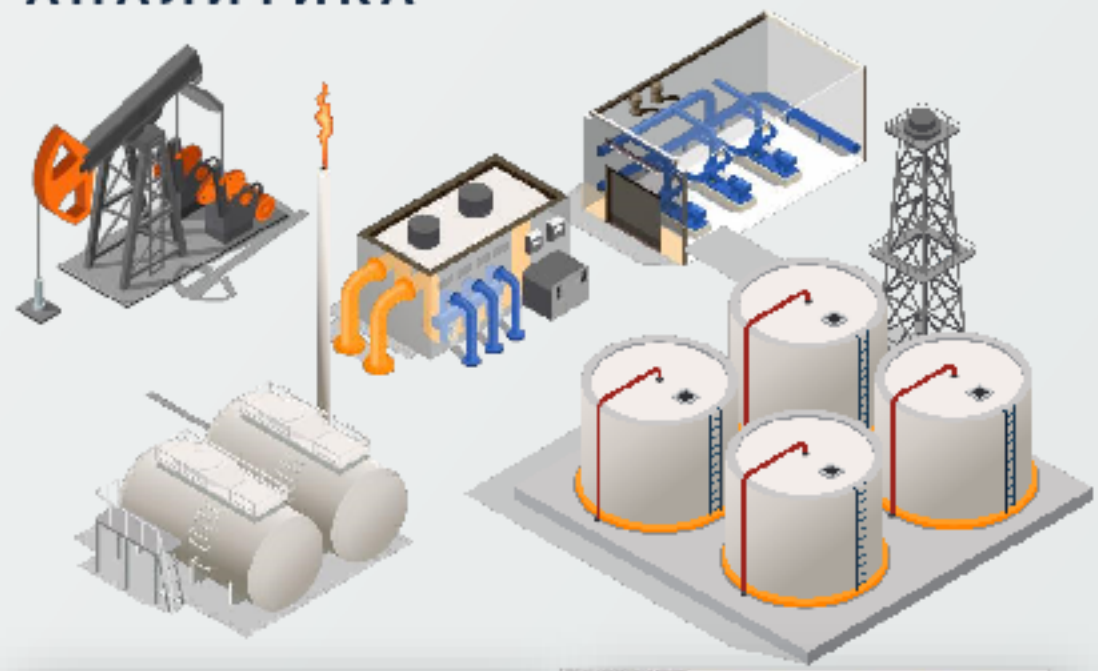


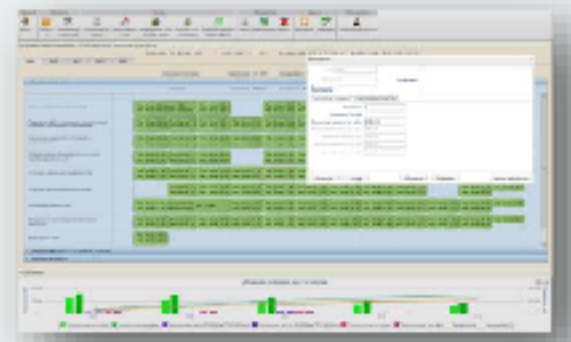
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ И ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА

Компетенции ООО «ИТ-Сервис»

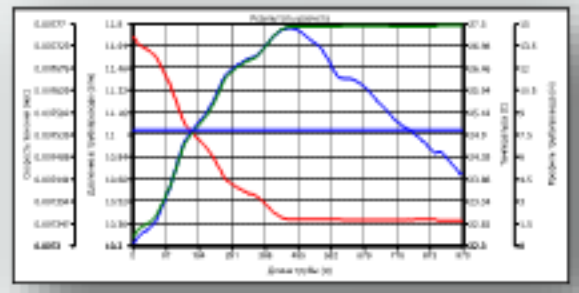
- **Цифровые двойники объектов наземной инфраструктуры:**
  - ✓ построение технологических схем наземной инфраструктуры, в т.ч. системы энергоснабжения
  - ✓ расчет материального баланса
  - ✓ гидравлический расчет систем сбора и транспорта продукции нефтяных скважин и поддержания пластового давления
  - ✓ инфраструктурный риск-менеджмент в разрезе отказов трубопроводной системы и возникновения отложений
  - ✓ разработка вариантов реконструкции, оптимизации и развития наземной инфраструктуры
  - ✓ создание тематических карт и схем различного назначения
  - ✓ систематизация подхода к сбору исходной информации необходимой для оценки энергоэффективности объектов наземной инфраструктуры
  - ✓ расчет фактического и планируемого эффекта от мероприятий, энергоэффективности объектов и технологических процессов
  - ✓ формирование отчетности в установленном формате

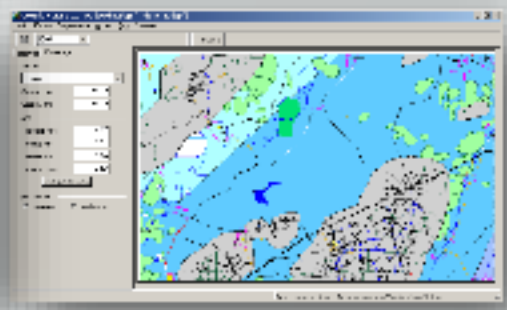
- **Прогнозирование коррозионных отказов систем трубопроводного транспорта :**
  - ✓ системы прогнозирования
  - ✓ предиктивная аналитика
  - ✓ искусственный интеллект















СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Павел Якимов
Зам. технического директора
по информационным технологиям, к.т.н.
yakimov@its-samara.com

ИТС
ИТ-СЕРВИС

WWW.ITS-SAMARA.COM

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ
Научно технологический комплекс новые технологии и материалы



НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

"Современные подходы к принятию решений по выбору методов коррозионной защиты"

Голубев Иван Андреевич

к.т.н., Руководитель направления «Нефтегазовый инжиниринг»

2021



ОПОРНЫЙ ВУЗ ПАО «ГАЗПРОМ»



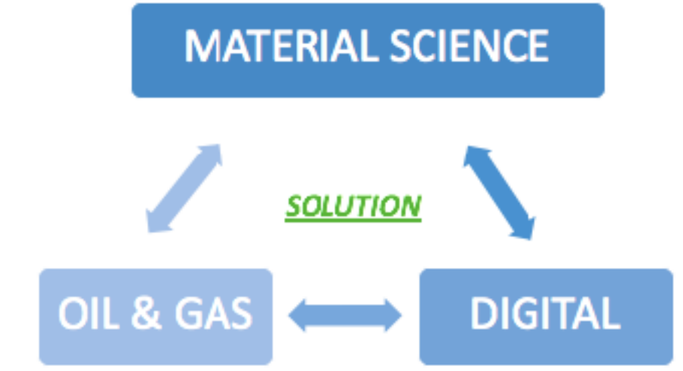
КЛЮЧЕВОЙ ПАРТНЕР ПАО
«ГАЗПРОМ НЕФТЬ» В ОБЛАСТИ АРКТИКИ



НАУЧНЫЙ ЦЕНТР НИОКР В РОССИИ
WEATHERFORD INTERNATIONAL

НТК «Новые технологии и материалы»





ГАЗПРОМ

Транснефть



РЕЕСТР НИИ «ТРАНСНЕФТЬ» -
НАУЧНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ,
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

Северсталь



ЦЕНТР НИОКР
ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ»

Существующие подходы



- Крупные объекты



- Вероятность доп. затрат компенсируется большими запасами

Регионы с традиционными условиями

Универсальные инструменты

Типовые решения

Долгий запуск

Стратегические вызовы отрасли



- Уникальные объекты с малыми запасами



- Мало запасов.
- Доп. затраты не допустимы

Регионы с НЕ традиционными условиями

- Многофазная среда
- Агрессивные компоненты
- Высокие P и T

Адресные решения

Скорость принятия решения

Адаптация накопленного опыта

Гибкие инструменты

Сейчас | Система принятия решений

Разведывательная скважина

Сбор данных:

- Геология и реология;
- Компонентно-фракционный состав флюида;

Концепт

Принятие решения



НЕТ единой системы сбора и анализа статистики

Полученный опыт **НЕ** используется в качестве «выученных уроков»

Проектирование

Лабораторные испытания

- Модельные среды
- Химическая агрессивность
- Статические исследования
- Усредненный результат

Проектные решения

- Выбор технического решения **на основе стандартов** (ГОСТ, ОСТ, СТО и т.д.);
- Разработка **принципиальной** системы сбора и подготовки флюида;
- Выбор «проблемных» участков для мониторинга **на основе экспертной оценки**

Достоверность результатов 60%

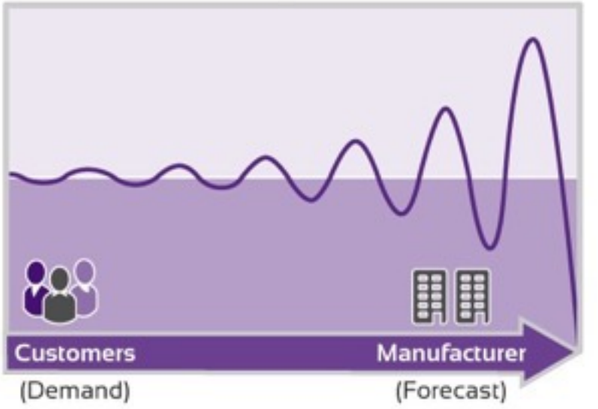
NACE INTERNATIONAL AMPP

Запуск проекта / Эксплуатация

Исследования

Анализ результатов

Bullwhip Effect



Эффект хлыста

- ❑ Позднее обнаружение возможных ошибок
- ❑ Дополнительные затраты на решение
- ❑ Снижение надежности в долгосрочной перспективе

Разведывательная скважина → ***Проектирование*** → ***Запуск проекта / Эксплуатация***

ОПР

Сбор данных:
- Геология и реология;
- Фазовый, фракционный состав флюида;

✓ Серия испытаний (лабораторные + стендовые);
✓ Сбор, систематизация и накопление статистики

✓ Физическое моделирование процессов
✓ Учет мах числа параметров в экспериментах

Концепт

Принятие решения

+

Лабораторные испытания
- Модельные среды
- Статические исследования
- Усредненный результат

Математическое моделирование
- Выбор «проблемных» участков;
- Постановка эксперимента;
- Высокоадекватные результаты

Проектные решения
- Разработка **единого стандарта**
- Выбор решения из **базы данных**
- Интеграция систем мониторинга в выбранные участки

Достоверность результатов 98%

NACE INTERNATIONAL AMPP

Исследования

Анализ результатов

- ❑ *Рост эффективности принятия решений*
- ❑ *Сокращение (минимизация) ошибок*
- ❑ *Адресные решения = высокоадекватные*

Ценность результатов проведенных исследований



Осуществляется сбор, систематизация и накопление статистики.

Мат. Моделирование + эксперимент = повышение эффективности принятия решений на стадии проектирования.

Machine Learning



Искусственный интеллект

Самообучающаяся система выступает в роли интеллектуального помощника при эксплуатации объектов в будущем.

Система принятия решения по обеспечению надежности НГПО

Исследования и испытания
- Лабораторные и промысловые испытаний;
- Аналитика ранее проведенных исследований;
- Единый методологический подход;
- Сбор, хранение, систематизация информации.

Сбор, систематизация и хранение данных
- Гидродинамические характеристики;
- Фазовый и фракционный состав флюида;
- Мониторинг за техническим состоянием (коррозия, эрозия, НДС)
- Виртуальная расходонометрия

BIG DATA
Machine Learning
Искусственный интеллект

«Smart» проектирование

Продукт «Помощь проектанту»

«Smart» эксплуатация

Продукт «Помощь эксплуатационщику»

Выученные уроки для новых кейсов

Эффективно управляем текущим объектом

Трансформация

Система принятия решений
- Имитационное моделирование технологических процессов;
- Выбор технических решений;
- Подбор систем обеспечения надежности НГПО

Система управления надежностью месторождения
- Предиктивная аналитика
- Автоматизированная (безлюдная) система управления технологическими процессами
- Оперативное, адресное принятие решений

Дорожная карта | Стадии реализации проекта

ЭТАП 1 *Комплекс лабораторных испытаний (стандартные + динамические автоклав)*

Коррозионные исследования проектируемых объектов ГПН → Сравнение эффективности подходов к испытаниям: Стандарт Лаб. исп. VS Политех модель → Получение самостоятельных результатов → **Подбор адресных решений по обеспечению коррозионной надежности**

ЭТАП 2 *Стендовые испытания flow-loop*

Динамические испытания на floow-loop → Дополнительная валидация результатов экспериментов → Повышение адекватности решения

ЭТАП 3 *Реализация Пилота «МУПГ» + «Мобильный исследовательский комплекс»*

Проектирование и сборка Пилота → Проведение скважинных испытаний в рамках проекта МУПГ → Сбор и анализ статистики, валидация результатов

2022 г | 2022 г | 2022 - 2023 гг



Не учитывается:
- Гидродинамика потока;
- Изменяющееся во времени свойство среды
- Разные методики оценки условий

Без глубокого погружения в описание внутритрубных процессов

Без валидации экспериментами низкая адекватность математической модели

Этапы проекта | Лабораторные и стендовые испытания

Статические испытания

ЭТАП 1

Сбор данных:

- Компонентно-фракционный состав флюида
- **10 материалов*
- **12 ингибиторов*



Эл-хим ячейки

Химическая агрессивность

- Выбор ингибиторов
- Подбор дозировки



Статич. автоклав

- Выбор материалов
- Оценка эффективности ингибиторной защиты

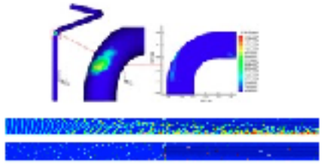
**Качественная оценка*

Результаты

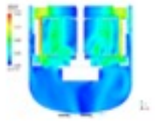
- Степень агрессивности среды
- Линейка материалов ТОП 5
- Линейка ингибиторов ТОП 5

Динамические испытания

ЭТАП 1.1

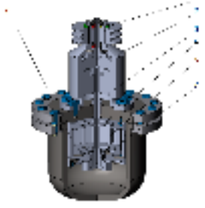


Моделирование условий эксплуатации.



Установление режимов испытаний

- Поток (КНнС)
- Агрессивный флюид +CO^2
- Т ^{0}C
- Р Па



Динамический автоклав

Хим + Физ агрессивность

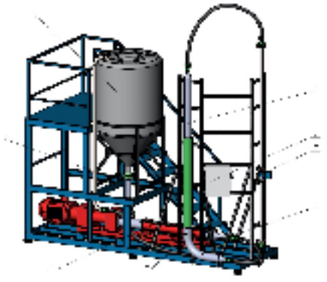
- Оценка влияния потока

Результаты

- Прогноз скорости коррозии
- Материал + ТОП 3 ингибиторов
- ТОП материал (без ингибитора)

Определение граничных условий применимости

ЭТАП 2



Стенд эрозионных испытаний

- Поток + Абразив + НУ
- Агрессивный флюид (без CO_2)

Оценка интенсивности эрозионного износа



Стенд коррозионно-эрозионных испытаний

- Поток + Абразив + Р, Па
- Агрессивный флюид + CO_2

Оценка интенсивности коррозионно-эрозионного износа

- Рекомендации по участку дозировки Ингибитора
- Адресные решения по материальному исполнению

КОМПЛЕКС СТАНДАРТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

КОРРОЗИЯ



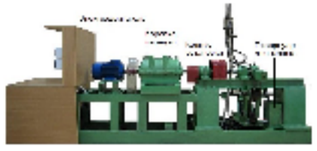
МЕХАНИКА



КЛИМАТИКА



ТРИБОЛОГИЯ



АВТОКЛАВЫ



ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПУЛАТАЦИИ



ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

РЭЛТЕК

GLEEBLE Thermal Mechanical Simulators

INSTRON

Zwick / Roell

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

TESCAN PERFORMANCE IN NANOSPACE

ZEISS

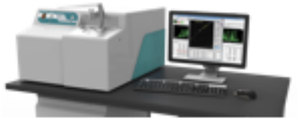
Leica

Thixomet

AZtecFeature

КОСПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

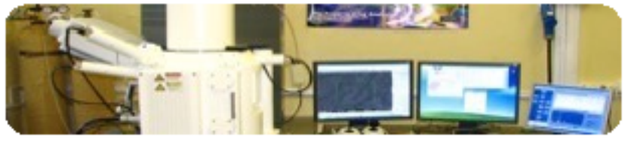
ХИМ.АНАЛИЗ



МЕТАЛЛОГРАФИЯ



ФРАКТОГРАФИЯ, СЭМ, РЭМ, ПЭМ



СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЙ ЦЕНТР



НАУКОЕМКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

FactSage™

HOT STRIP MILL MODEL

PTC

SOLID EDGE

DEFORM

Thermo-Calc Software

Autodesk.

ANSYS

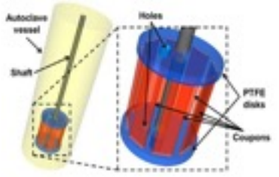
SIMULIA ABAQUS

«−»

Стандартные испытания



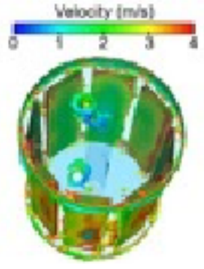
Сосуды Дрекселя

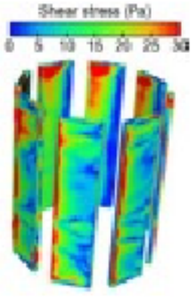


Автоклав RCA

Нет T ^{0}C, P

Не равномерное распределение КНнС





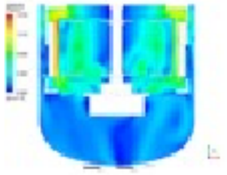


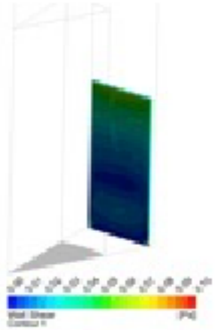
Распределение КНнС в RCA

«+»

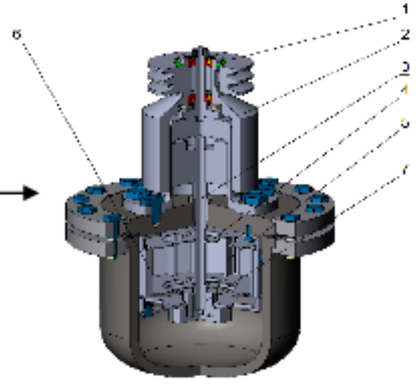
Подходы «Политеха»

Проектирование автоклава с мешалкой





Моделирование

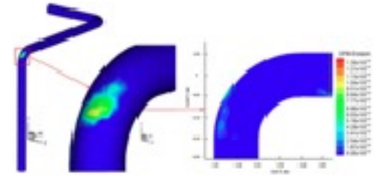


CAD Проектирование

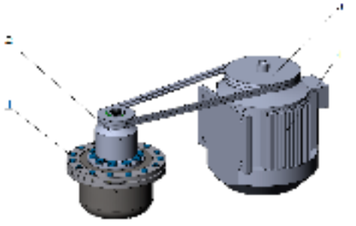
Этапы

✓ Моделирование условий эксплуатации. Установление режимов испытаний





✓ Проведение испытаний с учетом соблюдения гидродинамических критериев подобия



(V,P,T,Q_{co2})



✓ Получение значения скорости коррозии для заданных гидродинамических условиях

Этапы проекта | МУПГ(Н) + Мобильный исследовательский комплекс

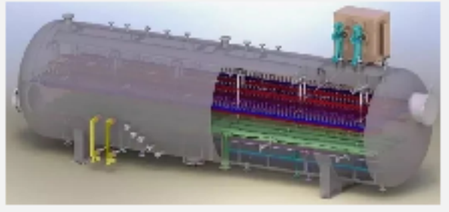
Испытание и освоение скв. | Опытно-Промышленные работы | Ранняя нефть (газ) | Эксплуатация

МИК

Мобильный исследовательский комплекс – мобильная стендовая лаборатория

Модули в составе МИК:

1. Модуль изучения ФХС и реологических свойств
2. Модуль по изучению технологического процесса подготовки нефти
3. Модуль по изучению коррозионно-эрозионных процессов, эффективности методов защиты



Исследование внутренних устройств



Исследование кор-эроз процессов

МИК – предназначен для проведения динамических исследований на реальных жидкостях для дальнейшего применения результатов при проектировании. Подбор реагентов – деэмульгаторы, ингибиторы, подбор технологических параметров, подбор материального исполнения трубопровода

МУПГ(Н)

Мобильная установка подготовки нефти(газ) - мобильное (перемещаемое) техническое устройство

Применения: эксплуатационное бурение (ОПР, Ранняя нефть).
Отгрузка продукции: нефтеналив, трубопровод.
Комплектация: сепарация газа и воды, подготовка нефти.
Кол-во скважин: группа скважин.
Производительность: до 1500 м^3/сут.
Исполнение: временное.
Срок эксплуатации: 0 мес. – 15 лет.





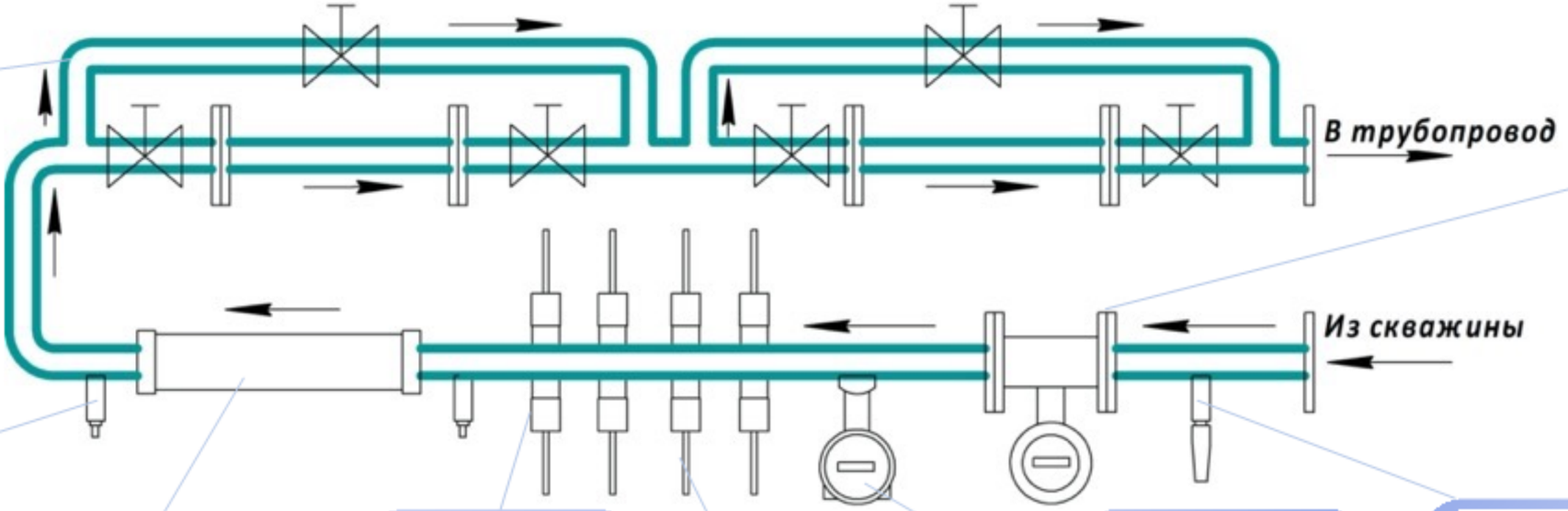
МУПГ(Н) – универсальное мобильное решение, предназначенное для эксплуатации на этапах ОПР и Ранняя нефть, при этом может применяться на этапах испытание и эксплуатация.

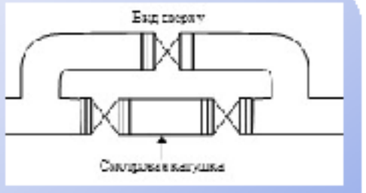
ПОЛИТЕХ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ Научно технологический комплекс новые технологии и материалы

Параметры определяемые на стенде

- Режим течения
- КНИс
- Скорость течения
- Температура
- Давление
- pH
- Наличие механических примесей
- Степень коррозионного износа

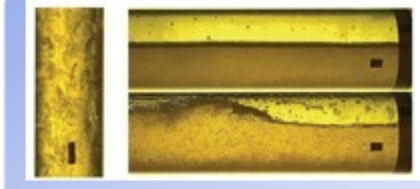




Узел подключения Смотровых катушек



Датчики давления И температуры



Инспекционный участок



Тестовые купоны



Датчик КНИс, LPR



Проточный вискозиметр



Датчик уровня pH



Проточный вискозиметр

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОЛУЧЕНИЕ БЕСШОВНЫХ ТРУБ КАТЕГОРИЙ ПРОЧНОСТИ К55 и J55 БЕЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

АО «ВМЗ»
ООО «ИТ-Сервис»
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

докладчик Чистопольцева Е.А.

Объекты исследований

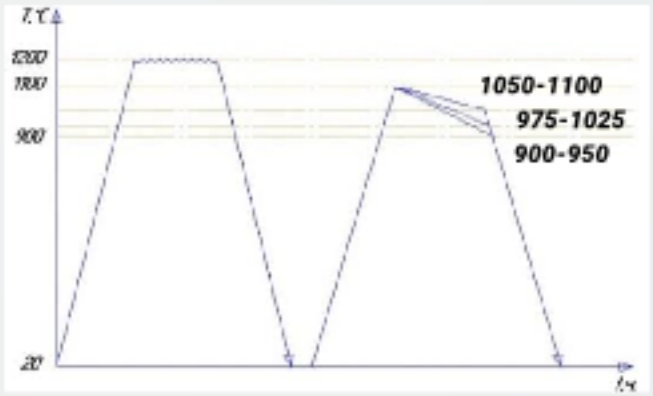
Целью работы являлось моделирование температурно-деформационных режимов прокатки бесшовных труб из среднеуглеродистых сталей, а также оценка влияния режимов прокатки и химического состава на механические свойства. Выбор химического состава металла труб, обеспечивающий свойства групп прочности К55и J55 сразу после прокатки.

Химический состав сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, % *							
	C	Mn	Si	не более				
				Cr	Ni	Cu	S	P
32Г2	0,30-0,35	1,20-1,50	0,17-0,37	0,30	0,25	0,30	0,035	0,035
Д (45Г)	0,41-0,48	0,60-0,90	0,17-0,37	0,30	0,30	0,30	0,045	0,045

Сортамент: Ø73х5,5 мм, Ø178х9,2 мм и Ø244х10,03 мм

Схема режимов термомеханической обработки



в ходе экспериментальной прокатки контролировались следующие параметры:

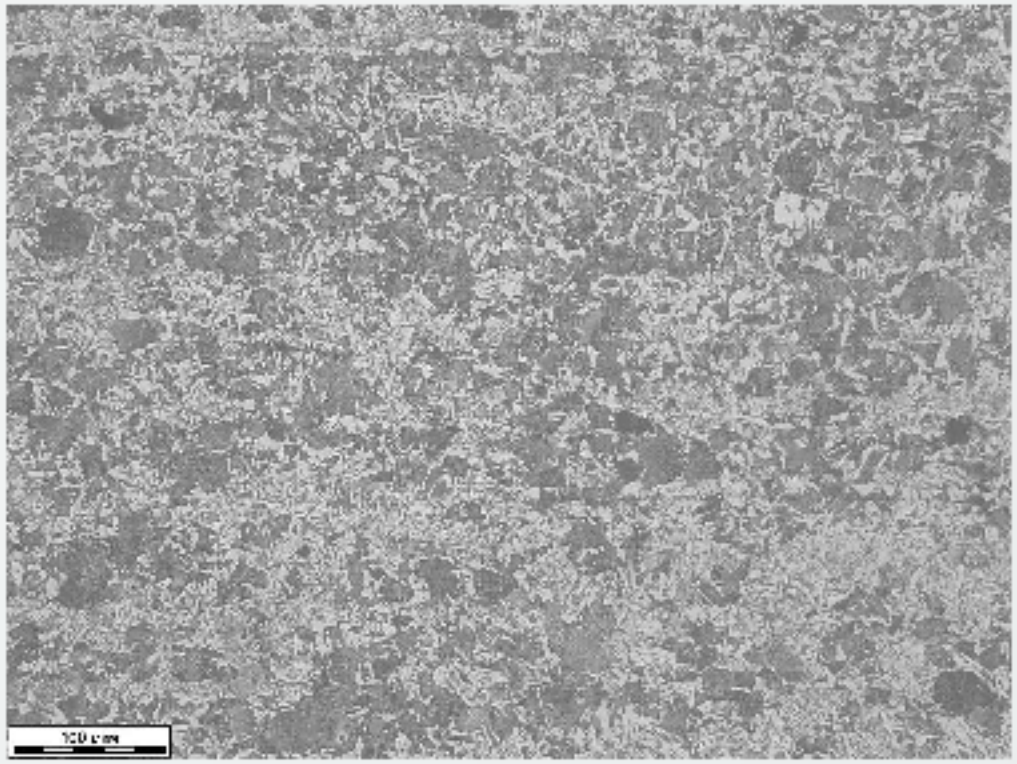
- температура перед прокаткой;
- температура металла на выходе;
- количество проходов;
- степень деформации.

Прочностные свойства металла поковок исследуемых сталей

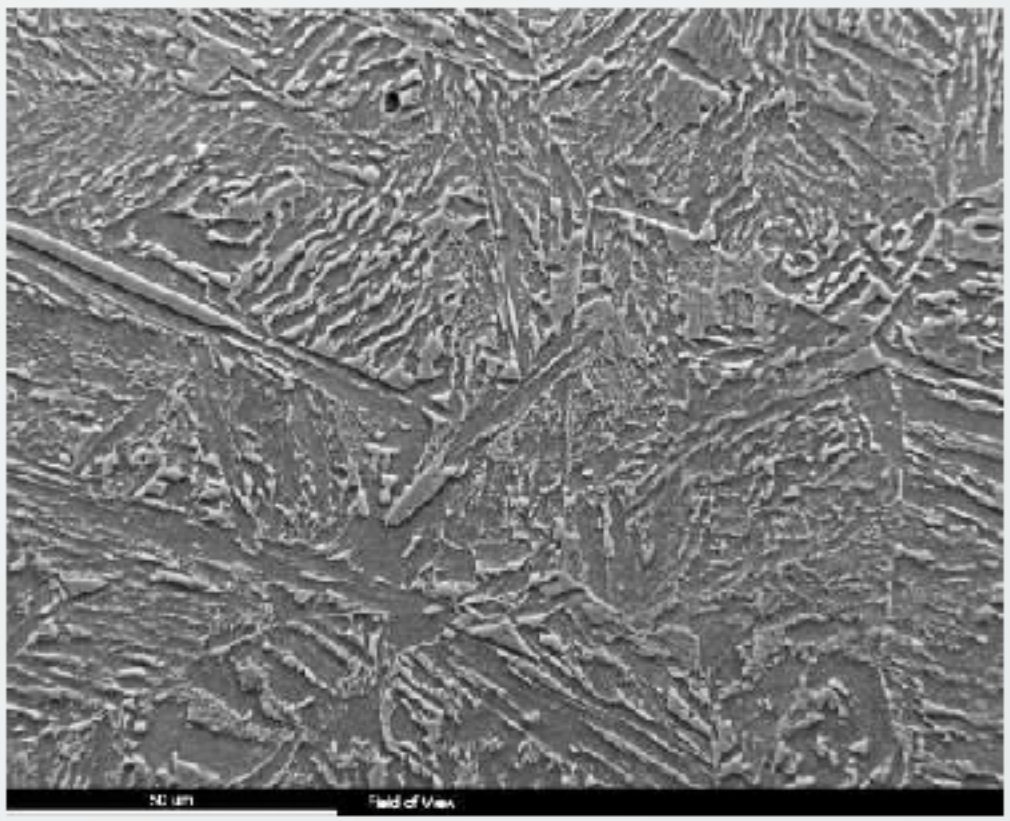
Марка стали	Сортамент заготовки, мм	Среднее значение твердости, HRB	Средний диаметр первичного аустенитного зерна, мм	Средняя доля избыточного феррита в структуре проката, %	
				По ASTM E562	Расчетное, по программе
Сталь 32Г2	19	97	0,10	11	9,85
Сталь Д	19	98	0,10	11	8,17
Сталь 32Г2	30	96	0,13	11	7,47
Сталь Д	30	97	0,15	14	9,78

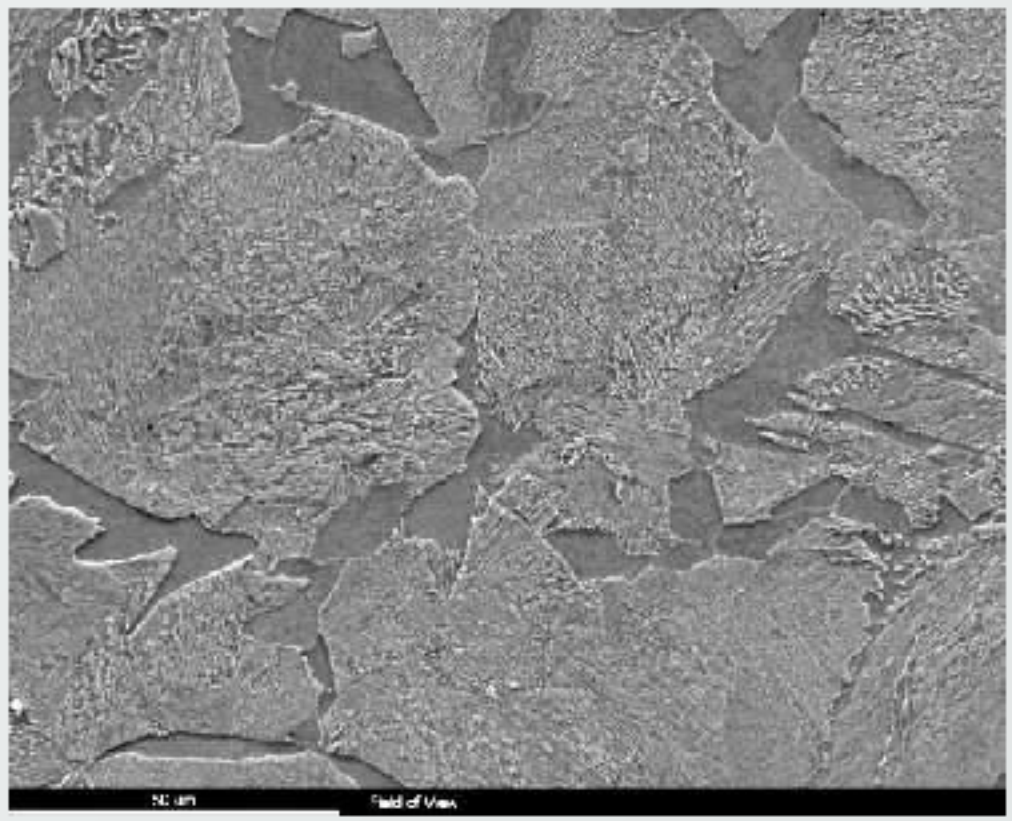
* ГОСТ 34636-2020, Заготовка трубная. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2020г. – 28 с.

Микроструктура проката толщиной 5,5 мм из стали 32Г2

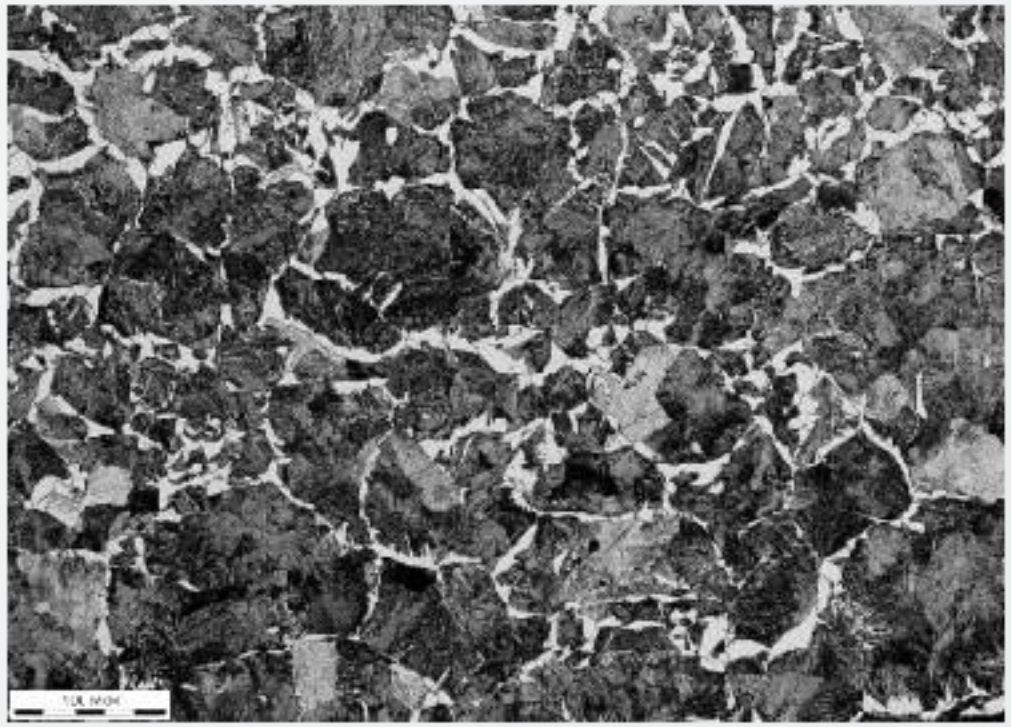


Прокат из стали 32Г2 толщиной 5,5 мм имеет разнородную структуру, представленную смесью зерен бейнита, тонкопластинчатого перлита и феррита. Понижение температуры окончания прокатки с 1100 до 900 ˚С приводит к уменьшению доли бейнита с 70 до 15 % и увеличению объемов феррито-перлитной смеси.

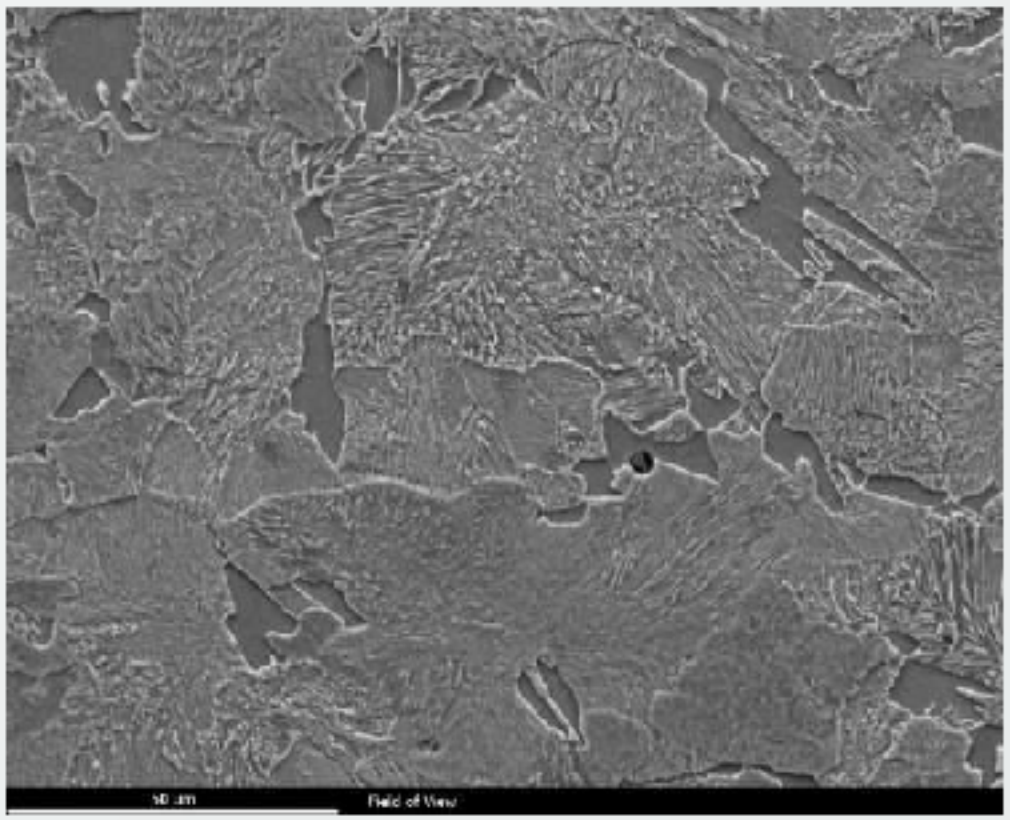


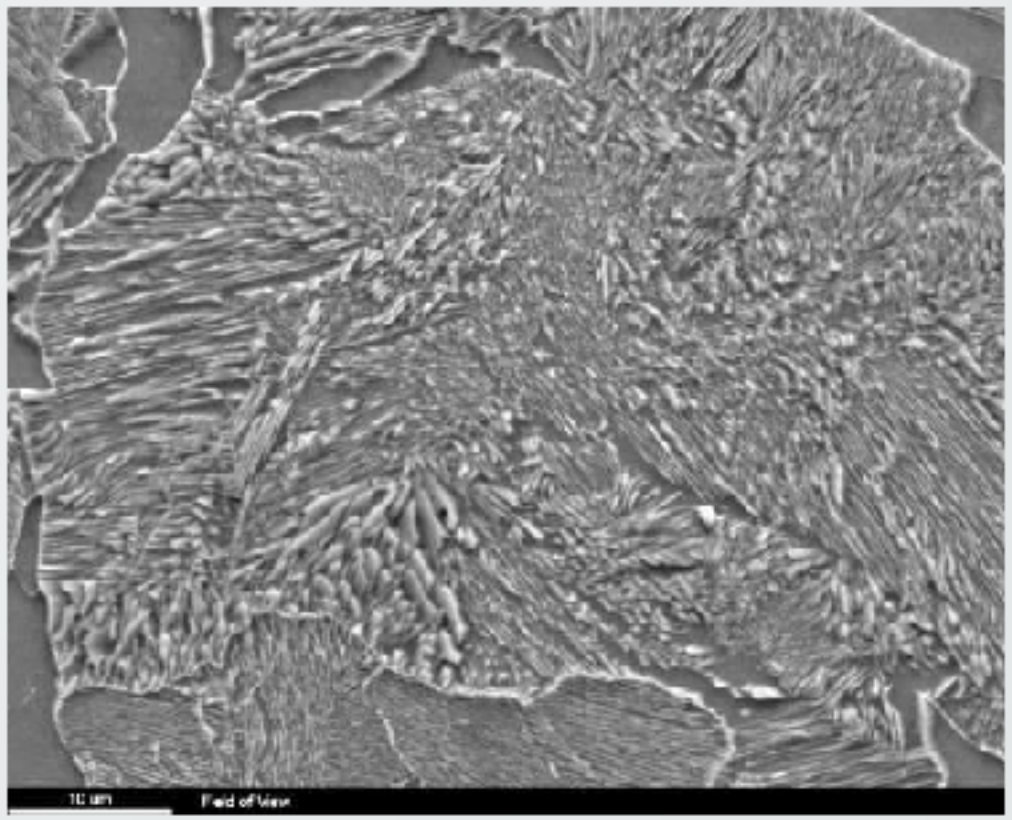


Типичный вид микроструктуры проката из стали 32Г2 толщиной 9,2 и 10,0 мм

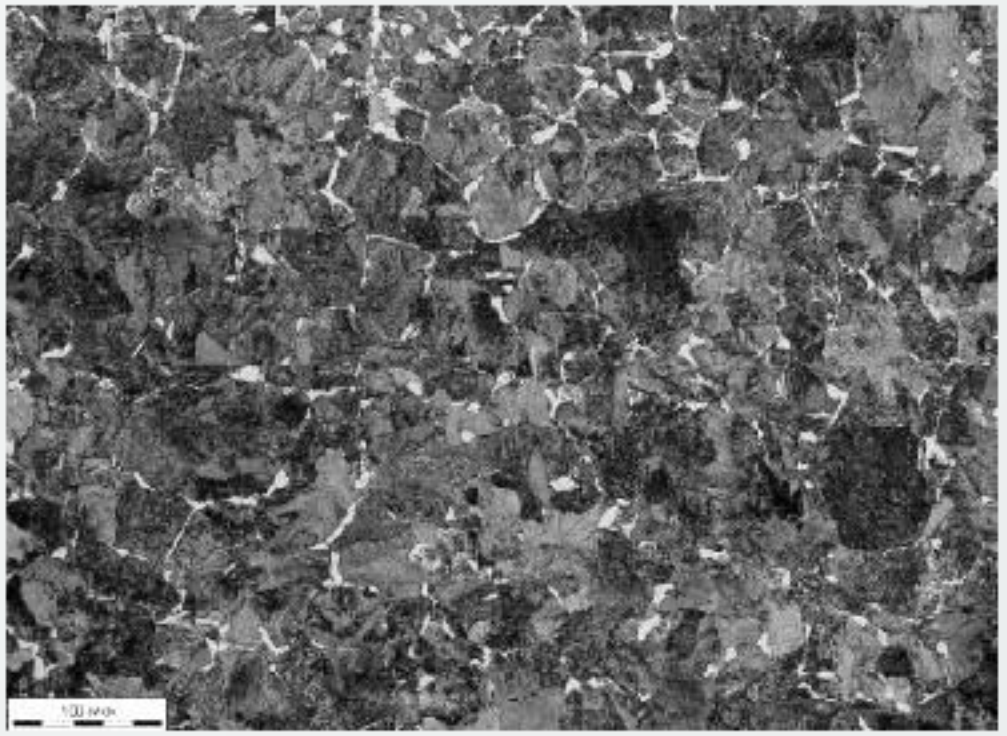


Микроструктура проката из стали 32Г2 толщиной 9,2 мм и 10,0 мм представлена зернами тонкопластинчатого перлита, окаймлёнными ферритными зернами по границам зерен первичного аустенита. Доля избыточного феррита при понижении температуры конца прокатки повышается. Для всех сортаментов проката из стали 32Г2 выявлено уменьшение размера бывших аустенитных зерен с понижением температуры конца прокатки.





Типичный вид микроструктуры проката из стали Д (45Г)

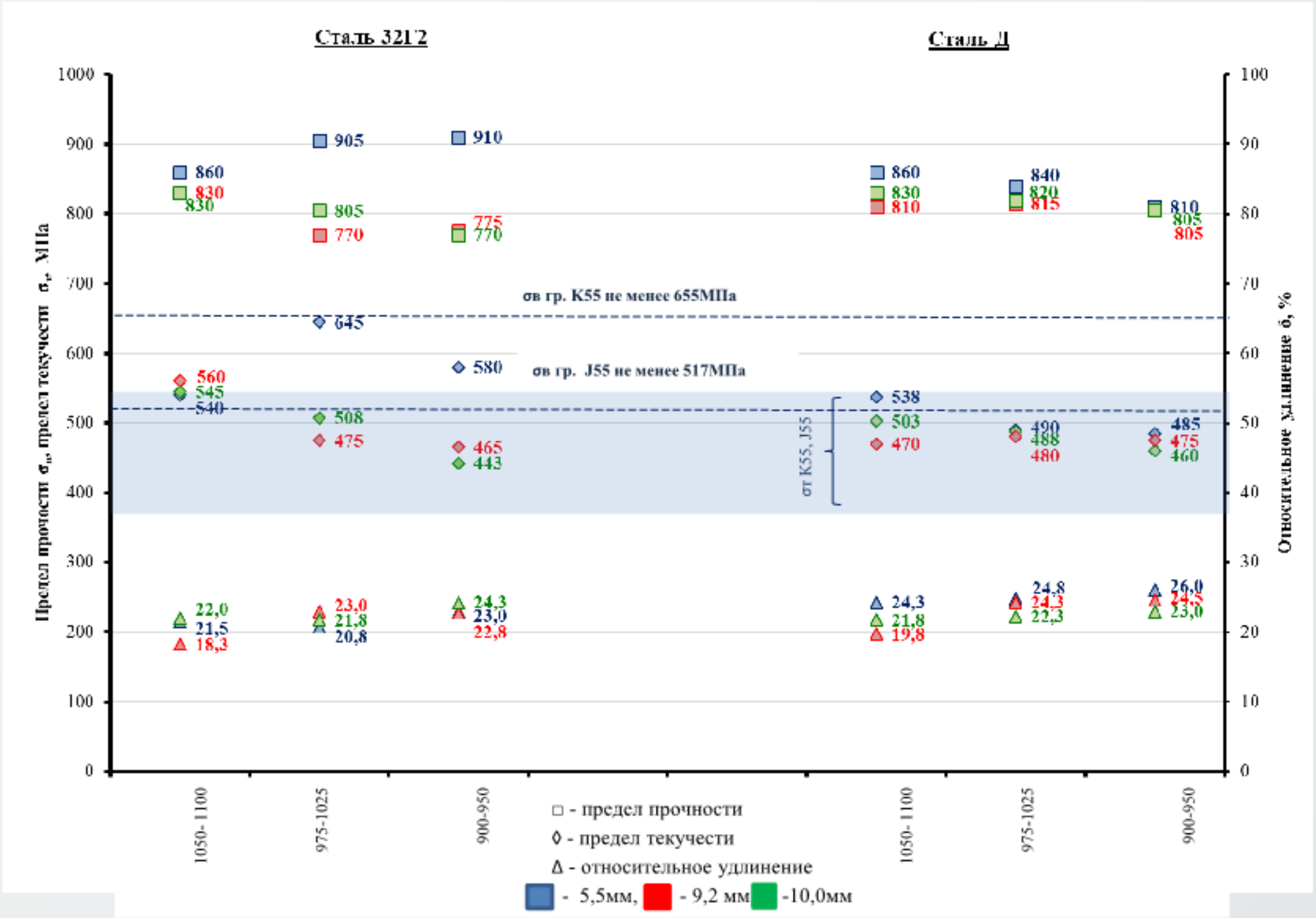




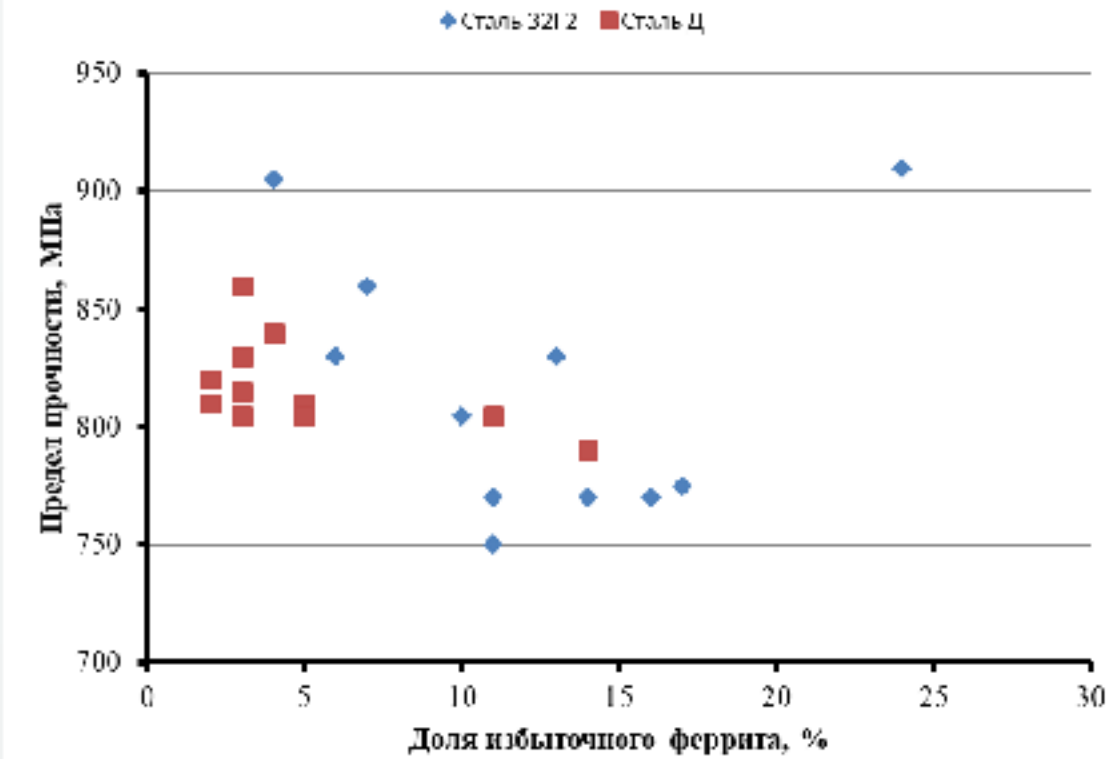
Структура проката всех исследуемых сортаментов независимо от температурных режимов деформации представлена перлитной матрицей и зернами феррита. Цементитная составляющая перлита представлена тонкопластинчатой высокодисперсной формой. Объемная доля зерен феррита практически не изменяется при понижении температуры конца прокатки и не превышает 5%. Выявлено уменьшение размера бывших аустенитных зерен при понижении температуры конца прокатки.

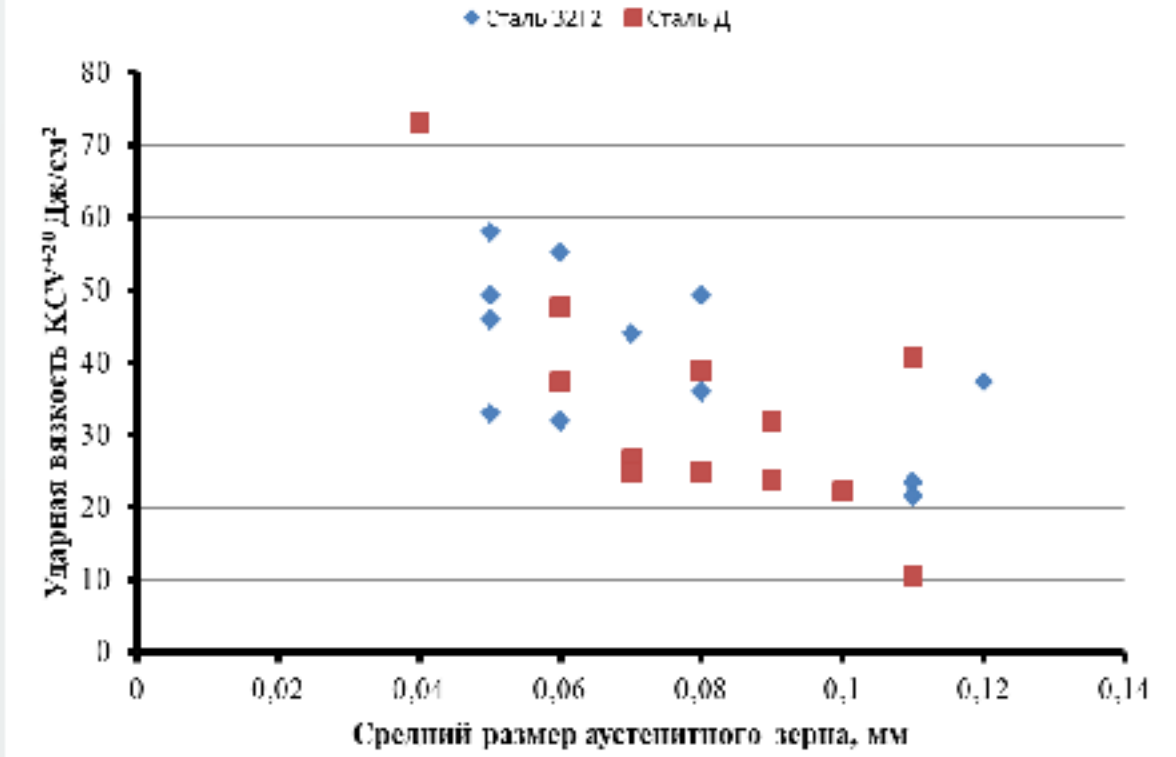


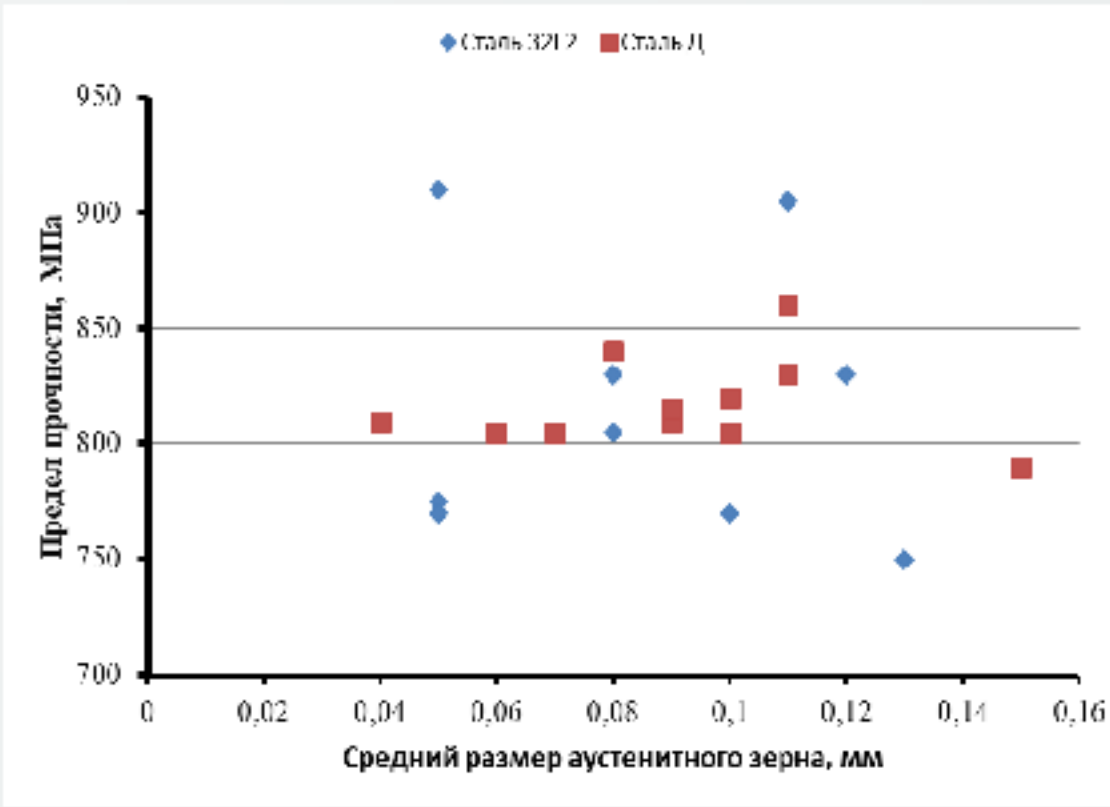
Механические свойства проката исследуемых сталей

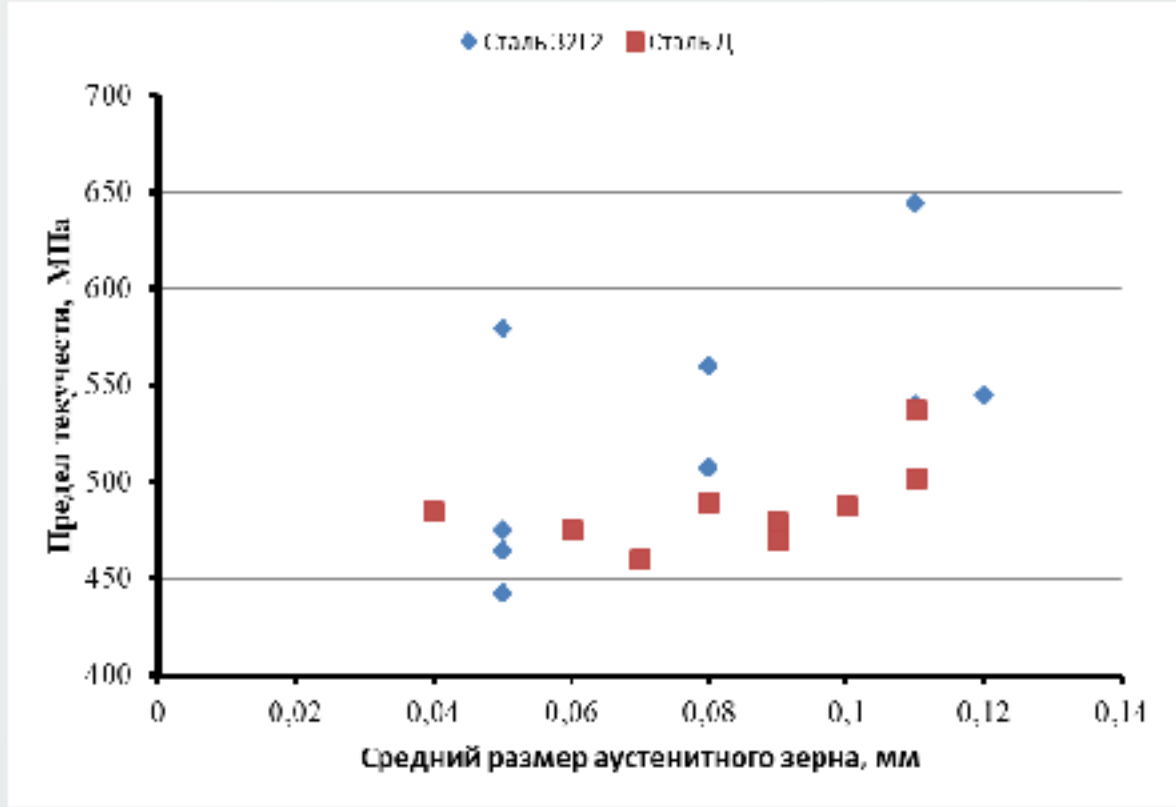


Зависимость прочностных свойств от микроструктурных параметров









ВЫВОДЫ

Проведено физическое моделирование температурно-деформационных режимов прокатки бесшовных труб из среднеуглеродистых сталей с целью получения прочностных свойств категорий прочности К55 и J55, по результатам которого установлено:

1. Химический состав стали Д (45Г) гарантированно обеспечивает получение свойств групп прочности К55 и J55 в горячедеформированном состоянии в исследуемом температурном интервале деформации и сортаменте.

2 Достижение требуемого комплекса прочностных свойств для стали Д (45Г) при различных температурах конца прокатки обусловлено формированием стабильной однородной перлитной структуры.

3. Свойства стали 32Г2 соответствуют группам прочности К55 и J55 только для проката сортамента 9-10 мм. При уменьшении толщины проката до 5,5 мм в структуре стали в результате переохлаждения происходит выделение низкотемпературных продуктов распада аустенита – бейнита, повышающих прочность. Сталь 32Г2 склонна к ликвации, повышению разнородности структуры и свойств.

4. Среднеуглеродистые стали в состоянии после прокатки имеют низкие значения ударной вязкости даже при комнатной температуре. Сталь 32Г2 с бейнитной структурой характеризуется меньшей ударной вязкостью, чем перлитная Сталь Д (45Г).

5. Для исследованных сталей уменьшение размера бывшего аустенитного зерна мало влияет на прочностные свойства, но увеличивает ударную вязкость.

Спасибо за внимание!

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Перспективы использования цифровых технологий при разработке технических условий на трубы повышенной коррозионной стойкости и непрерывнолитую трубную заготовку для их изготовления

Авторы: **Сафронов А.А.**, Мальгинов А.Н., Ронков Л.В., Щепкин И.А., Новиков В.А., Толстых Д.С., Тохтамышев А.Н., Барболин А.Н., Соловьева М.С.

1. ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЕКТА

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

- Разработка и внедрение новых технологий, направленных на интенсификацию, увеличение эффективности выплавки и обработки металла, расширение сортамента и повышение качества готовой металлопродукции (выплавка в сверхмощных ДСП и внепечная обработка).

- Нестабильность характеристик качества:
  - различных партий одноименных видов продукции в аналогичных эксплуатационных условиях: **на территории России эксплуатируется 350 тыс. км промысловых трубопроводов, на которых ежегодно происходит около 50…70 тыс. отказов, 90% из которых являются следствием коррозионных повреждений**;
  - аттестованных годными отдельных партий металлоизделий при расширении объема и видов испытаний;
  - загрязненность металла КАНВ

1. ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЕКТА

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Результаты металлографического анализа металла проката по **ГОСТ**

Объект	Микроструктура		Неметаллические включения по ГОСТ 1778						
Плавка / лист	Номер зерна ГОСТ 5639	Полосчатость ГОСТ 5640	Сульфиды	Оксиды		Силикаты			Нитриды
			С	ОТ	ОС	СХ	СН	СП	Н
Плавка 1	9	0	0	0,9	0,25	0	0	0	0
Плавка 2	10	0	0	1,3	0,9	0	0	0	0
Плавка 3	11	0	0	0,85	0	0	0	0	0
Плавка 4	11,4	0	0	1	1	0	0	0	0
Плавка 5	11,6	0	0	1,15	0	0	0	0	0

Результаты подсчета количества блистеров в интервалах размеров на образцах после выдержки в коррозионной среде по стандарту **NACE TM0284**

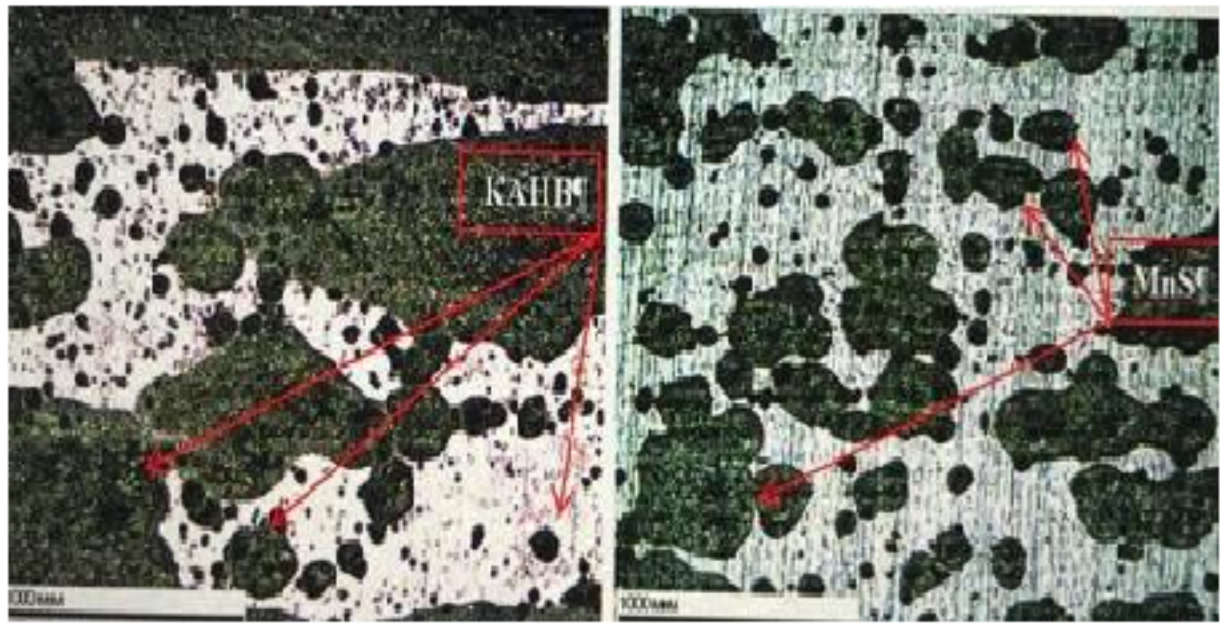
Объект	Количество блистеров по интервалам размеров, шт							
	Интервалы размеров блистеров на поверхности 1, мм				Интервалы размеров блистеров на поверхности 2, мм			
Плавка / лист	от 0,5 вкл. до 1,0 вкл.	от 1,0 до 2,0 вкл.	от 2,0 до 3,0 вкл.	более 3,0	от 0,5 вкл. до 1,0 вкл.	от 1,0 до 2,0 вкл.	от 2,0 до 3,0 вкл.	более 3,0
Плавка 1	3	1	0	0	6	13	1	0
Плавка 2	5	1	0	0	1	1	2	0
Плавка 3	0	0	0	0	1	0	0	0
Плавка 4	185	25	24	9	2	0	0	0
Плавка 5	14	3	10	0	1	0	0	0

2. ПРИЧИНЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Основные причины нестабильности свойств металлопродукции:

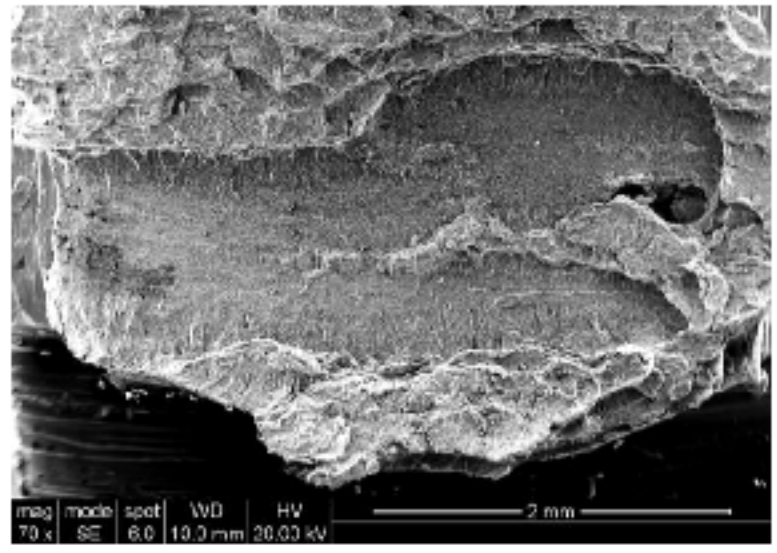
- ❑ характеристики микроструктуры (величина зерна, полосчатость);
- ❑ загрязненность неметаллическими включениями



Вид образца после электрохимических испытаний (определение КАНВ)

Вид блистеринга сверху (макрофотография)





Вид блистеринга и внецентренного излома после испытания на водородное растрескивание и неметаллические включения в изломе

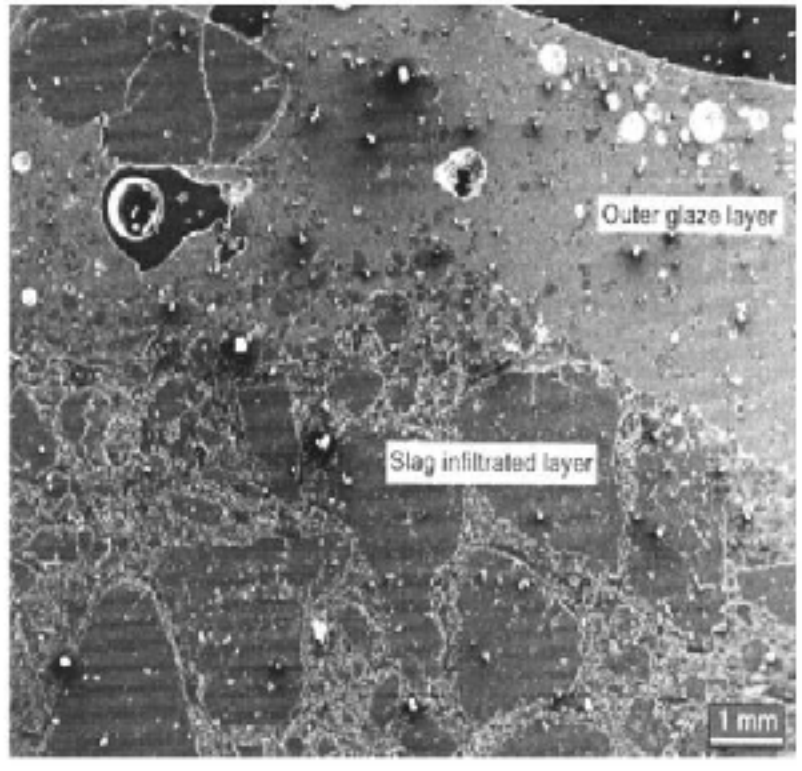
3. КРУПНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

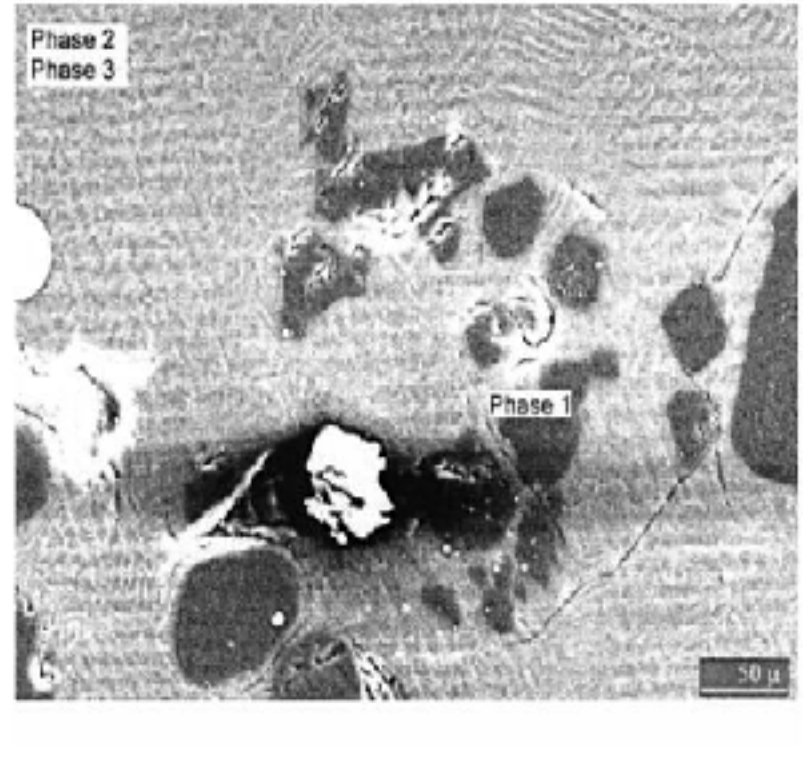
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

ЭКЗОГЕННЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ: ЧАСТИЦЫ ШЛАКА, ОГНЕУПОРОВ

Экзогенные включения появляются в объеме расплавленного металла в результате:

- ❑ попадания шлака сталеразливочного или промежуточного ковша, ШОС;
- ❑ эрозии огнеупоров, вымывания (растворения или химического взаимодействия) связки;
- ❑ влияния составов огнеупоров





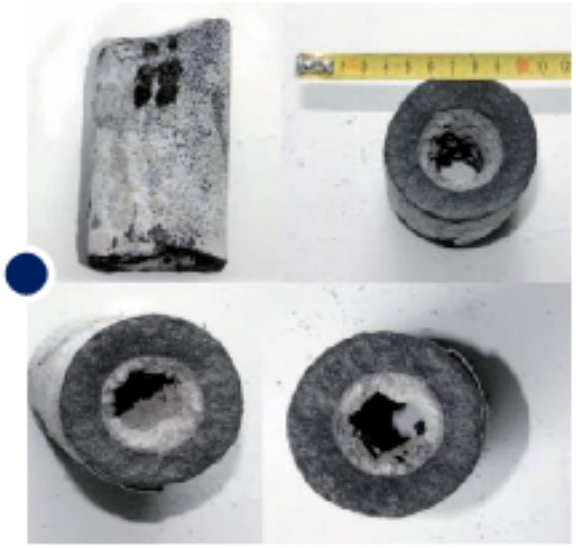
Микроструктура рабочего слоя огнеупорной MgO-футеровки

4. УКРУПНЕНИЕ ВКЛЮЧЕНИЙ

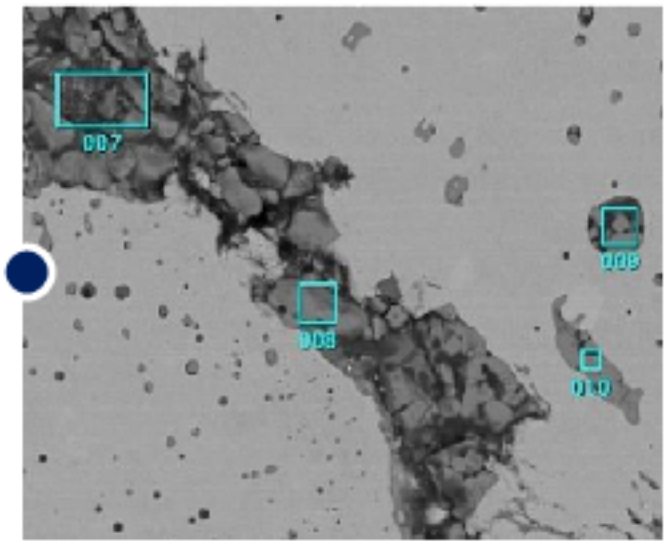
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ УКРУПНЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ЧАСТИЦ:

- понижение температуры металла;
- повышение a_O;
- вторичное окисление металла при разливке;
- взаимодействие с огнеупорами при разливке



Отложения алюминатов кальция на стенках погружного стакана



50

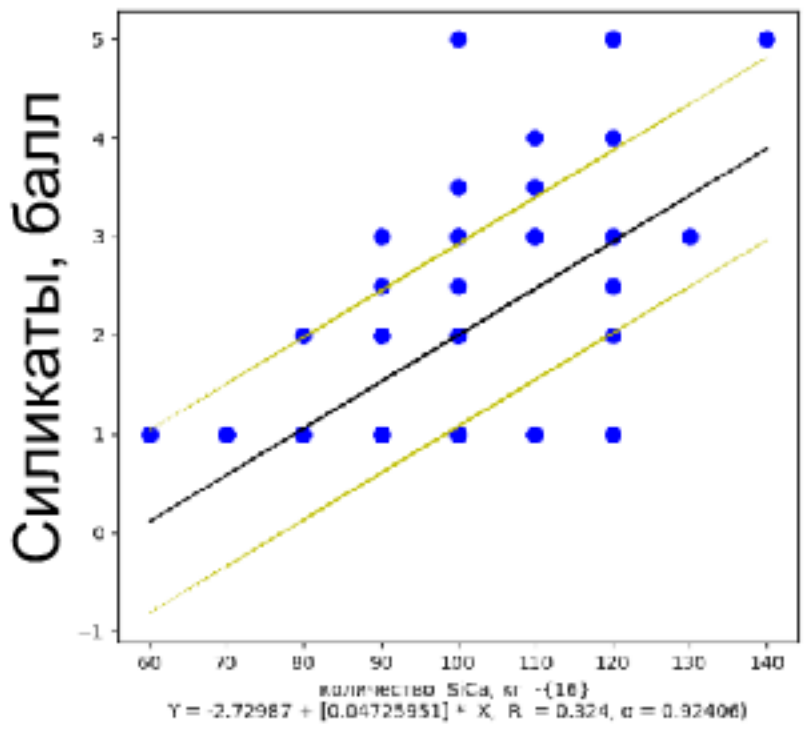
Memo	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Total(mass%)
007	6.79	3.22	12.06	29.79	18.60	27.52	100.00
008	12.05	2.82	1.04	46.75	17.85	19.47	100.00
009	15.95		25.60	23.13	18.44	15.89	100.00
010	8.67		5.50	50.96	11.85	23.02	100.00

Состав НВ в металле «короны», образовавшейся при вакуумной разливке металла

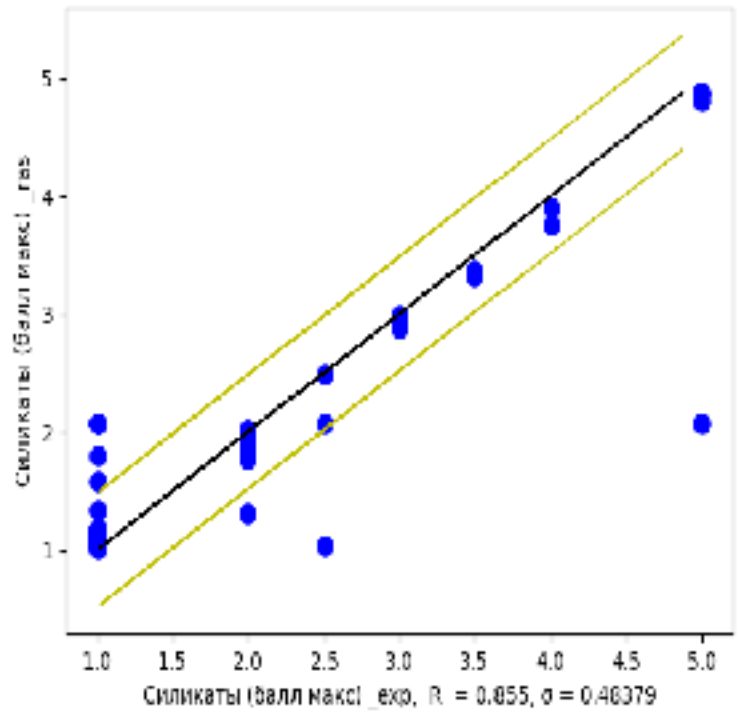
5. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

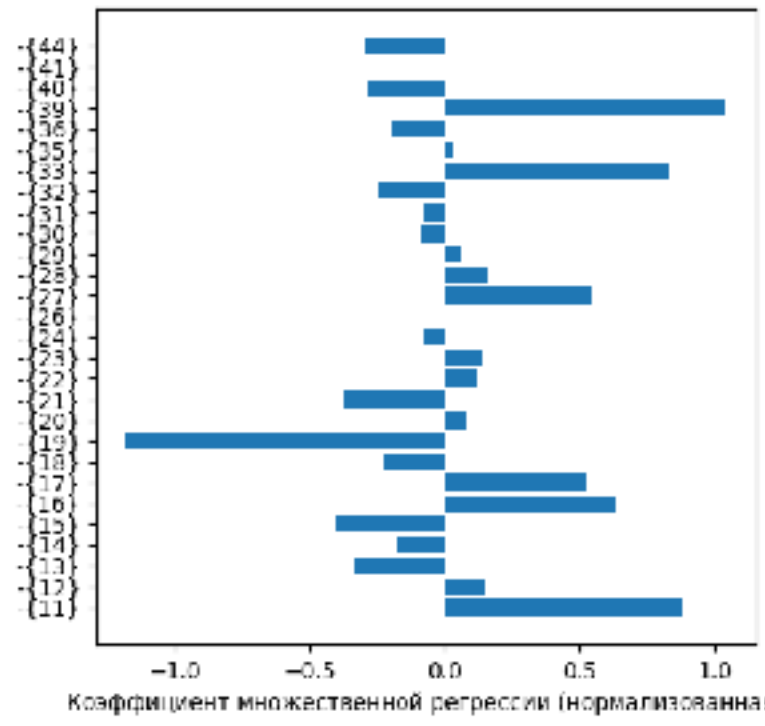
Использование описанных закономерностей при создании программного комплекса контроля и управления технологией выплавки, внепечной обработки, непрерывной разливки и качества металла НЛЗ с количественной динамической оценкой эффективности осуществления внепечной обработки стали, степени риска возникновения плен, раскатанных трещин и крупных неметаллических включений в металле труб или листового проката; эффективности внепечной обработки в части удаления и модифицирования неметаллических включений



а



б



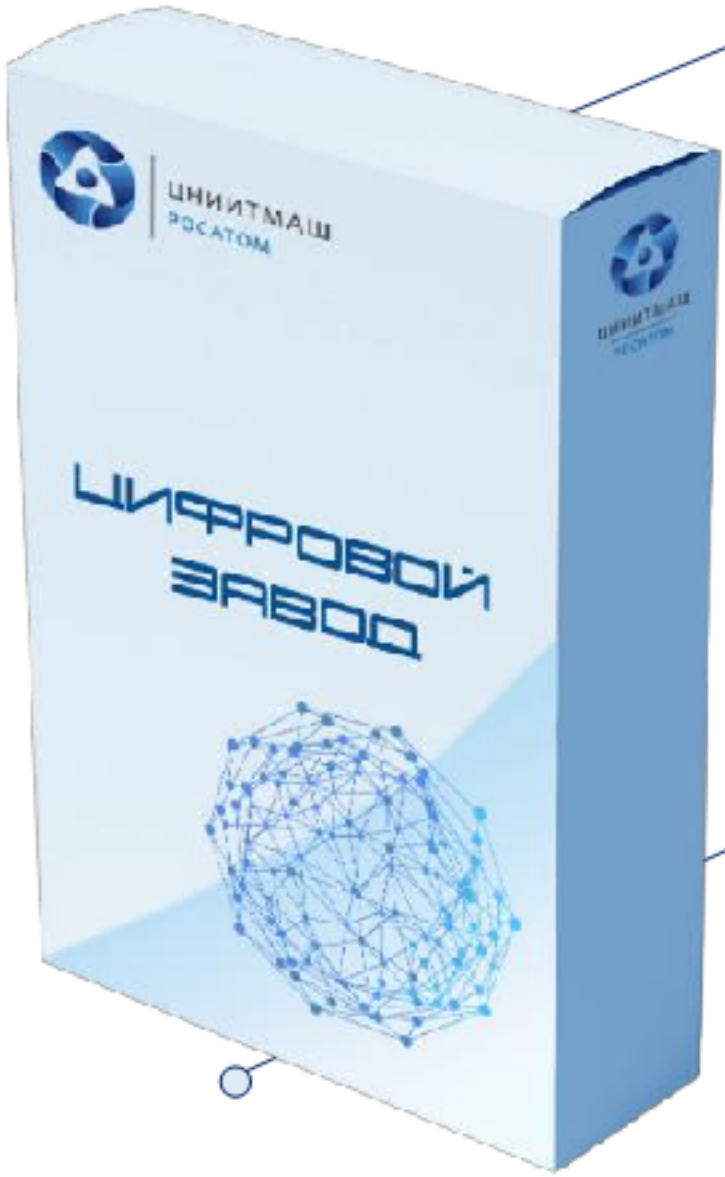
в

Примеры построения прогностических моделей загрязненности металла неметаллическими включениями: а – выявление влияющих признаков; б – сопоставление экспериментальных и расчетных значений; в – значимость коэффициентов регрессии

6. ПРЕДЛОЖЕНИЕ: ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Интегрированная в АСУ ТП предприятия цифровая экспертная система (программный продукт), позволяющая обеспечить:



- планирование, прогнозирование, контроль и управление свойствами создаваемых изделий;
- управление заданным, стабильным уровнем характеристик качества изделия;
- обеспечение реализации высокого уровня автоматизации производства;
- управление производственными затратами (сокращение до 10…15%);
- регистрация, архивирование и обеспечение связности и достоверности данных.

6. ПРЕДЛОЖЕНИЕ: ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

ВИДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

- **«СОВЕТ»** – встраивание/взаимодействие с АСУ ТП предприятия в качестве консультирующего программного кода (с возможностью модернизации)
- **«ИНТЕГРАЦИЯ»** – встраивание/взаимодействие с АСУ ТП предприятия с функциями управления
- **«ЗАМЕНА»** – формирование нового программного кода предприятия

6. ПРЕДЛОЖЕНИЕ: ВНУТРЕННИЙ СТАНДАРТ ПРЕДПРИЯТИЯ (ВТСП)

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

ВТСП: Система управления качеством и технологическими процессами изготовления продукции (с высоким уровнем цифровизации)

1. **Область применения:**
   - ❑ система управления технологическими процессами изготовления продукции (НЛЗ и труб);
   - ❑ устанавливает требования к системе управления технологическими процессами изготовления (НЛЗ и труб)
2. **Задачи:**
   - ❑ стабилизация свойств и качества на уровне, заданном НТД, сокращение брака на производстве;
   - ❑ сокращение временных и финансовых затрат на производство;
   - ❑ фиксация доказательной (верификационной) базы для изготавливаемой продукции ответственного назначения
3. **Цель**: создание новых видов продукции высокого и стабильного уровня качества

6. ПРЕДЛОЖЕНИЕ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО СТАНДАРТА ПРЕДПРИЯТИЯ (ВСТП) В ТУ ИЛИ ГОСТ

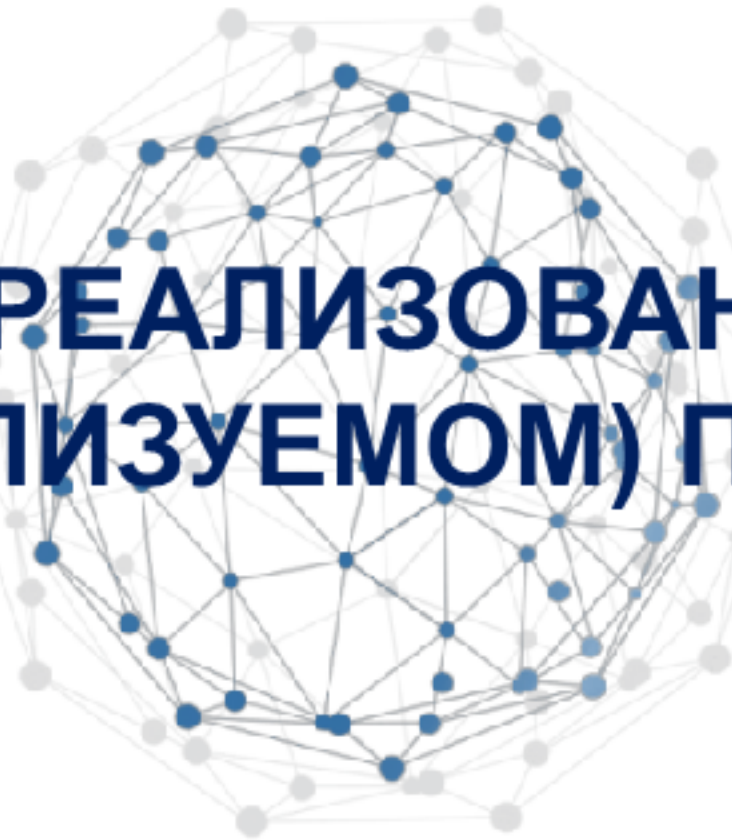
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Разработка внутреннего стандарта предприятия с элементами разработки и использования цифровых моделей

Определение возможности для трансформации внутреннего стандарта в технические условия на продукцию ответственного назначения с высоким и стабильным уровнем характеристик качества

Разработка ТУ или стандарта с элементами использования цифровых моделей

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ



О РЕАЛИЗОВАННОМ (РЕАЛИЗУЕМОМ) ПРОЕКТЕ

7. КОНЦЕПЦИЯ РЕАЛИЗОВАННОГО ПРОЕКТА

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Определение зависимостей и корреляций параметров технологических процессов, разработка адаптивного математического аппарата и создание на их основе автоматизированной расчетной системы, позволяющей в режиме реального времени протекания процессов контролировать технологию выполняемой операции каждого текущего передела, прогнозировать качество полупродукта (заготовки) и формировать рекомендации или управляющие воздействия для обеспечения необходимого качества, как на текущих, так и на последующих технологических переделах

Применение методов машинного обучения и искусственного интеллекта

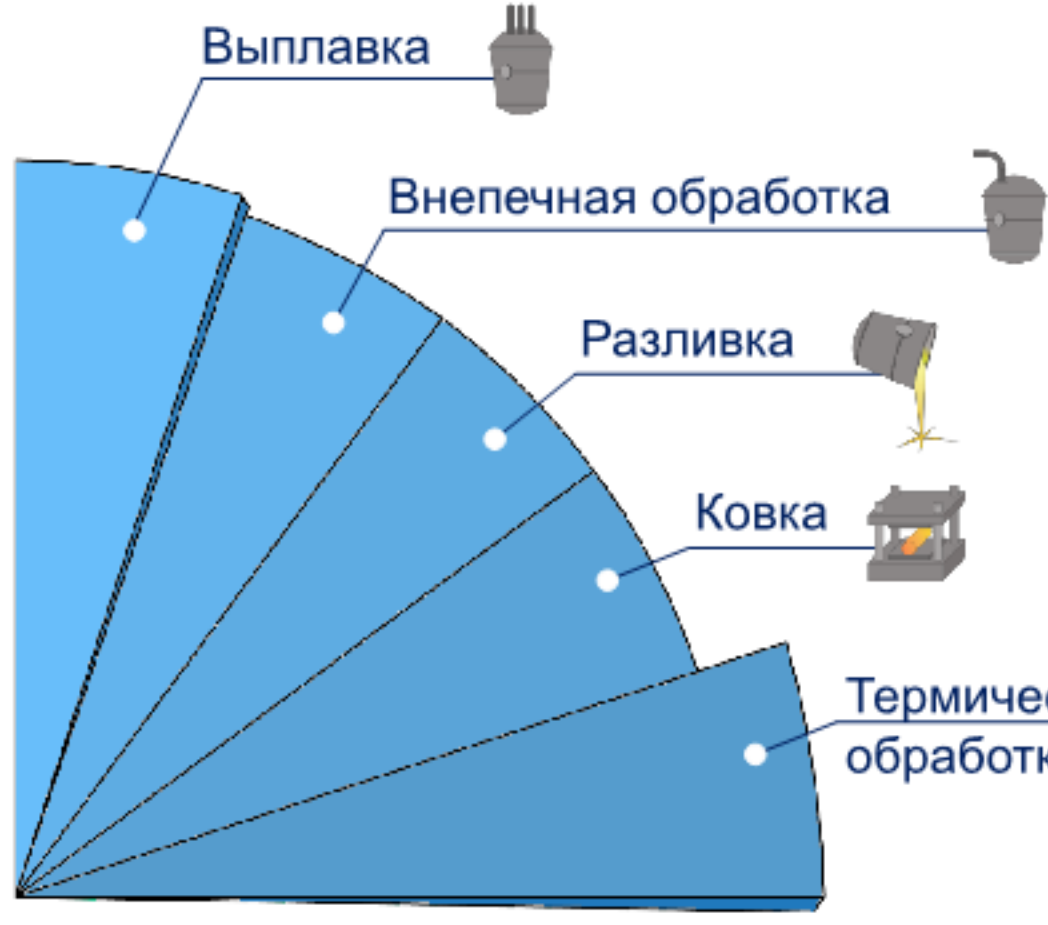
ФУНКЦИИ

Контроль

Прогнозирование (расчетные модели)

Управление свойствами заготовок/изделий через модельное испытание на экспериментальных образцах, включая технологические процессы

Итерация процессов – рекурсивный анализ



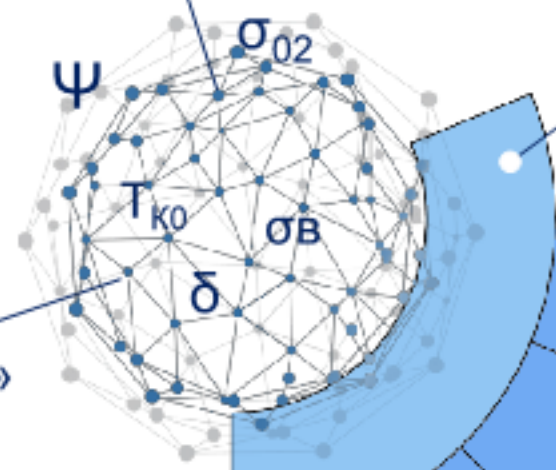
Технологический процесс завода

8. ОСОБЕННОСТИ ГИПОТЕЗЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

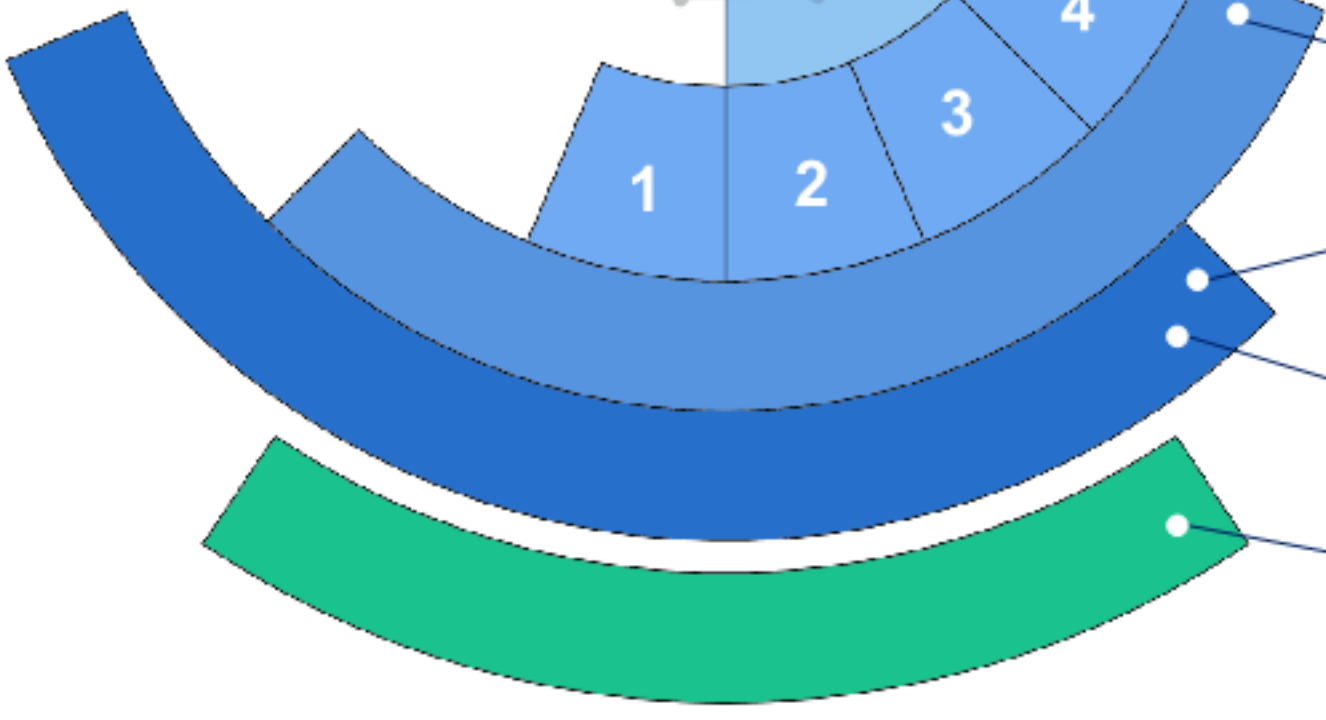
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ

Механические и другие свойства изделия (качество)



Big Data
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»



Феноменологическая модель (физико-химические и термодинамические законы и зависимости)

Реализуемые модели:
выплавка,
внепечная обработка,
разливка,
термодеформационная обработка,
термическая обработка

Сквозная адаптивная модель на основе машинного обучения

Управление реальным технологическим процессом

Промышленные параметры (данные онлайн)

Обучение персонала и специалистов, вкл. вузы

(ценность для потребителя)

8. ОСОБЕННОСТИ ГИПОТЕЗЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Феноменологическая модель

Статистическая модель (коэффициенты (поправки) корреляции)

- ❑ физико-химические законы, описывающие термодинамику и кинетику процессов:
  - расчет количества шлака;
  - расчет распределения и содержания фосфора;
  - расчет распределения и содержания серы;
  - расчет вводимых легирующих элементов;
  - расчет равновесного с углеродом содержания кислорода;
  - расчет количества алюминия на раскисление стали;
  - расчет десульфурации и др.
- ❑ закон сохранения массы;
- ❑ закон сохранения энергии

Модель 1 (продукт)

Модель-i (продукт)

Модель-n (продукт)

Выполнение на основе методов машинного обучения анализа параметров технологического процесса, выявление их влияния на моделируемую величину, отбор наиболее значимых и выстраивание моделей с разной степенью значимости, которые консолидируются в ансамбли, повышающие уровень прогнозности и устойчивости их работы

Способы машинного обучения:

- ❑ k-ближайших соседей;
- ❑ лес деревьев;
- ❑ градиентный бустинг;
- ❑ линейная регрессия и др.

9. ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

- Разработано математическое описание и обоснована концепция сквозного моделирования, включая все этапы машиностроительного технологического передела при производстве заготовок АЭУ, что является составной частью цифрового двойника жизненного цикла изделий ответственного машиностроения от подготовки шихтовых материалов до утилизации
- Определена, обоснована и валидирована методология построения программного продукта применительно к каждому конкретному производству и сквозной технологии производства изделий для АЭС, включающей в себя выплавку, внепечную обработку, разливку, термодеформационную и термическую обработки
- Проведены сбор и обработка первичных данных по технологиям выплавки, внепечной обработки, разливки, термодеформационного передела и термической обработки (за 2010…2020 годы)
- На основе разработанной и верифицированной методологии разработаны:
  - модуль ведения плавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП);
  - модуль ведения внепечной обработки;
  - модуль процесса разливки в слитки;
  - модель расчета фазового состава сталей;
  - модель расчета размеров аустенитного зерна;
  - модель расчета (прогноза) механических свойств;
  - модуль контроля хода технологического процесса термической обработки;
  - архитектура программного продукта (диспетчер)
- Обоснована и экспериментально подтверждена возможность интеграции создаваемых моделей в сквозные комплексные модели отдельных изделий, а также использование их при создании моделей управления жизненным циклом оборудования

9. ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

- Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021612830
- Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021613129
- Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021662638
- Технический акт о внедрении от 20.11.2020



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021612830

Программа компьютерного моделирования энергетических параметров плавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) «rkpetr.py»

Заявка № 2020665562

Дата поступления 27 ноября 2020 г.

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25 февраля 2021 г.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021613129

Программа компьютерного моделирования физико-химических параметров плавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) «dspechlack.py»

Заявка № 2020665477

Дата поступления 27 ноября 2020 г.

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 02 марта 2021 г.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021662638

Программа компьютерного моделирования процесса обработки металла на установках вакуумного рафинирования и вакуумирования (УВРВ) «ucs_vkd_dyn.py»

Заявка № 2021661340

Дата поступления 14 июня 2021 г.

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 02 августа 2021 г.



УТВЕРЖДАЮ

Технический директор
ООО «ОМЗ-Сепаратор»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора – директор НИиМ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ О ВНЕДРЕНИИ

В рамках выполнения работ по договору № 190649.0I2.11.Эт от 25.08.2020 «Разработка информационной модели технологического маршрута производства крупных заготовок для ответственных изделий АЭУ», заключенного в рамках исполнения работ по проекту ЕОТП-МТ-78 «Цифровая система управления качеством и экономическими показателями при производстве крупных ответственных изделий, в том числе энергетического и атомного машиностроения» в условиях ООО «ОМЗ-Сепаратор» была реализована и внедрена система цифровых моделей технологических процессов при производстве заготовок АЭУ, включающих в себя массивную ДСП, многочасовую обработку на УВРВ и разливку, а также создание программ-диспетчеров управления запусками моделей, системами входных и выходных данных (с результатами расчетов) между ними и АСУ ТП предприятия.

Работа данных моделей позволяет:

1. Проводить расчет заданных кривых изменения расхода энергии, температуры расплава, состава металла и шлака, расходов кислорода и природного газа. На основе информации, собираемой в данном процессе, осуществляется прогноз энергоемких параметров в реальном времени в течение плавки в ДСП.

2. Проводить расчет массы присадок легирующих и шлакообразующих материалов для получения металла и шлака требуемых составов, расчет степени усвоения элементов ферросплавов (C, Si, Mn, Al, Cr, Mo, Ni, V) металлом в ковше при обработке, изменение содержания водорода и металле при вакуумировании, скорости удаления серы из металла и шлака в процессе обработки на установке УВРВ. Это позволит обеспечить более эффективное использование легирующих присадок и протекание процессов рафинирования металла.

3. Прогнозировать качество (физическое, химическое, структурное неоднородностей типовых плавок, применяемых для производства изделий АЭУ, при их затвердевании.

Система разработана и внедрена при участии специалистов АО «НПО «ЦНИИТМАШ»: И.А. Иванов, А.А. Сафронов, Л.В. Ронков, А.П. Мальянов, И.А. Щипков, А.Ю. Суетнов, В.С. Дуб; ООО «ОМЗ-Сепаратор»: С.В. Сосна, С.Ю. Афанасьев, В.К. Яковлев; ООО «ОМЗ-Инжиниринг»: В.А. Елкин, И.В. Кравцов, Т.Ю. Гумфер, А.С. Сейтов.

от ООО «ОМЗ-Сепаратор»

Главный сталеплавильщик

В.К. Яковлев

от АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

Ведущий научный сотрудник

А.А. Сафронов

10. КОНЦЕПЦИЯ BIG DATA

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

ПЛАВКИ:

Стали: 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А, 15Х2НМФА кл. 1, 10ГН2МФА, 10ГН2МФА-А, 06Х12Н3Д
Период: 10 лет
Количество процессов: 1134



КОВКА:

[redacted]

ЭКСПЕРИМЕНТЫ**:

[redacted]

ТЕРМООБРАБОТКА:

[redacted]

СВОЙСТВА*:

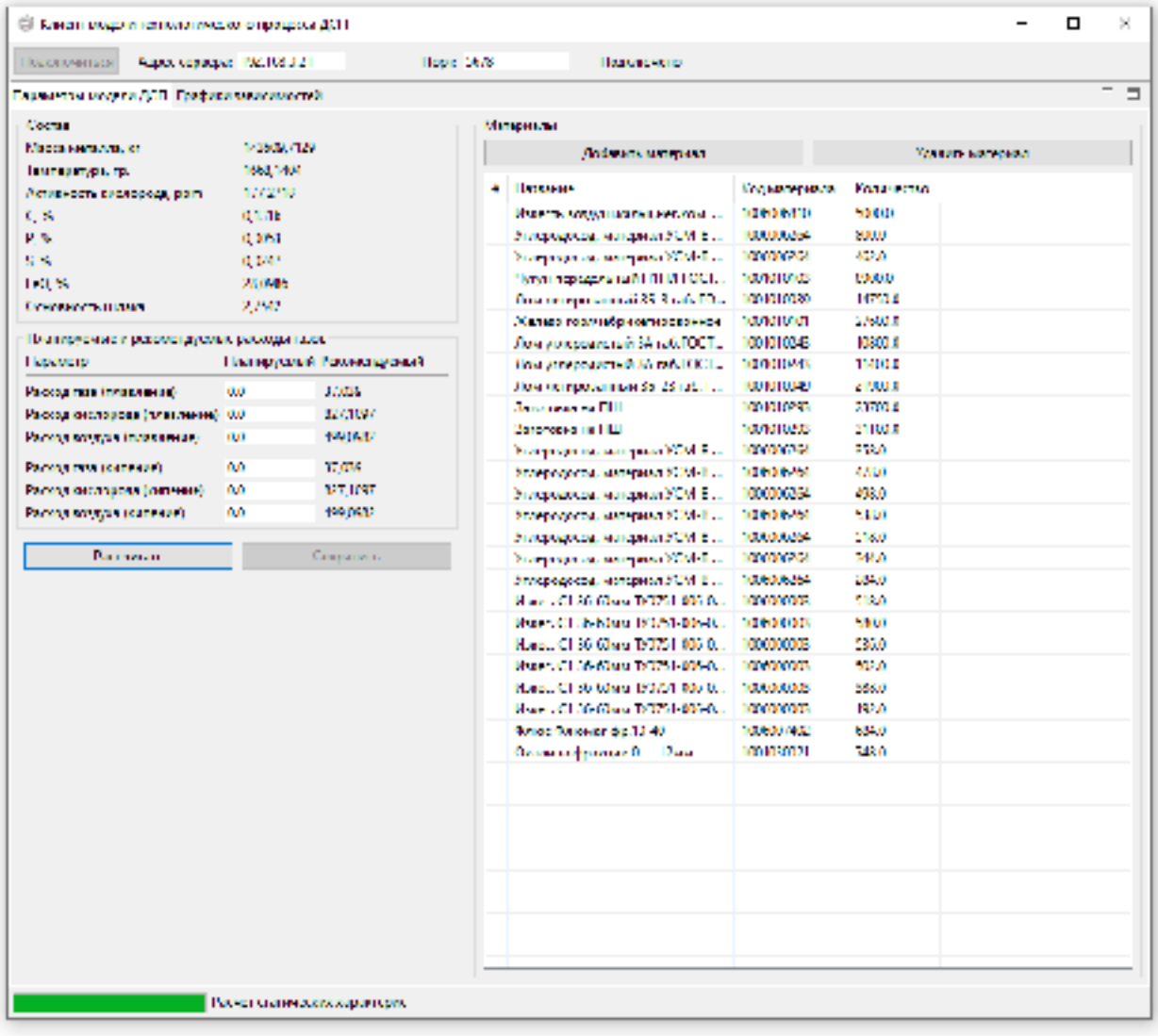
[redacted]

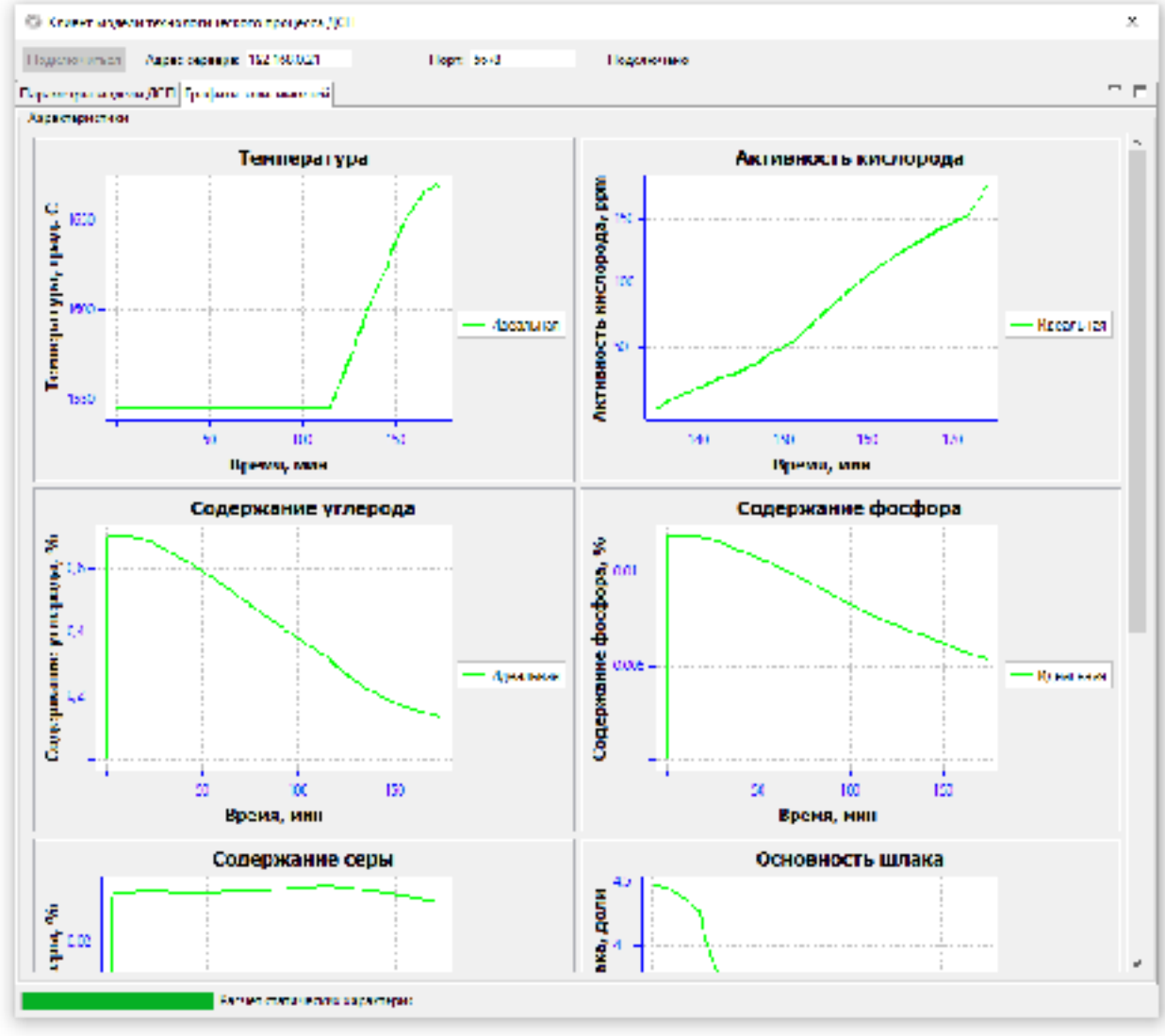
* включая множество физических параметров документально зафиксированных при производстве изделий
** валидация и верификация математического аппарата

11. ПРИМЕРЫ РАБОЧИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Программа статического и динамического компьютерного моделирования плавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП)

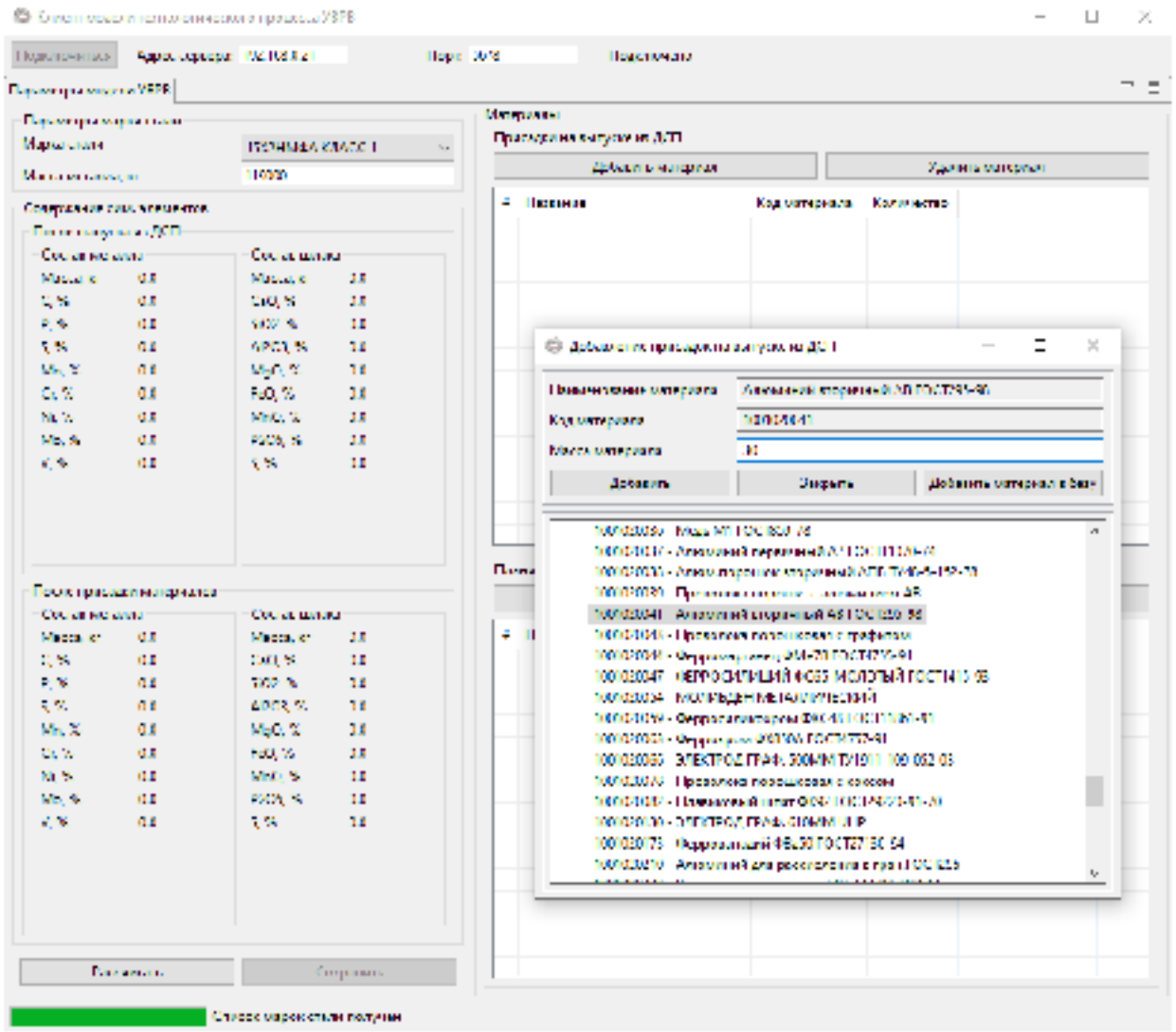


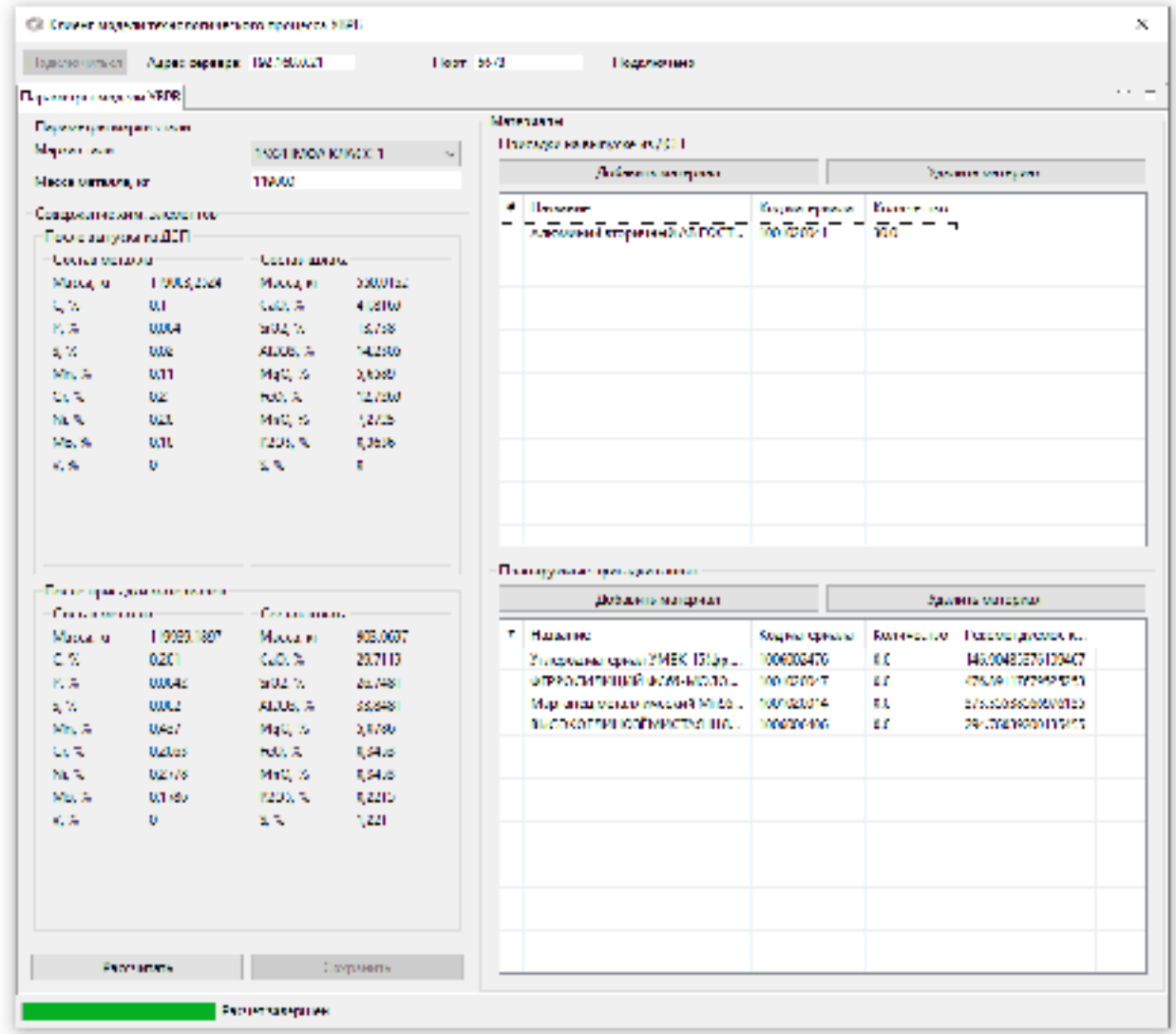


11. ПРИМЕРЫ РАБОЧИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Программа статического и динамического компьютерного моделирования плавки на установке внепечного рафинирования и вакуумирования (УВРВ)

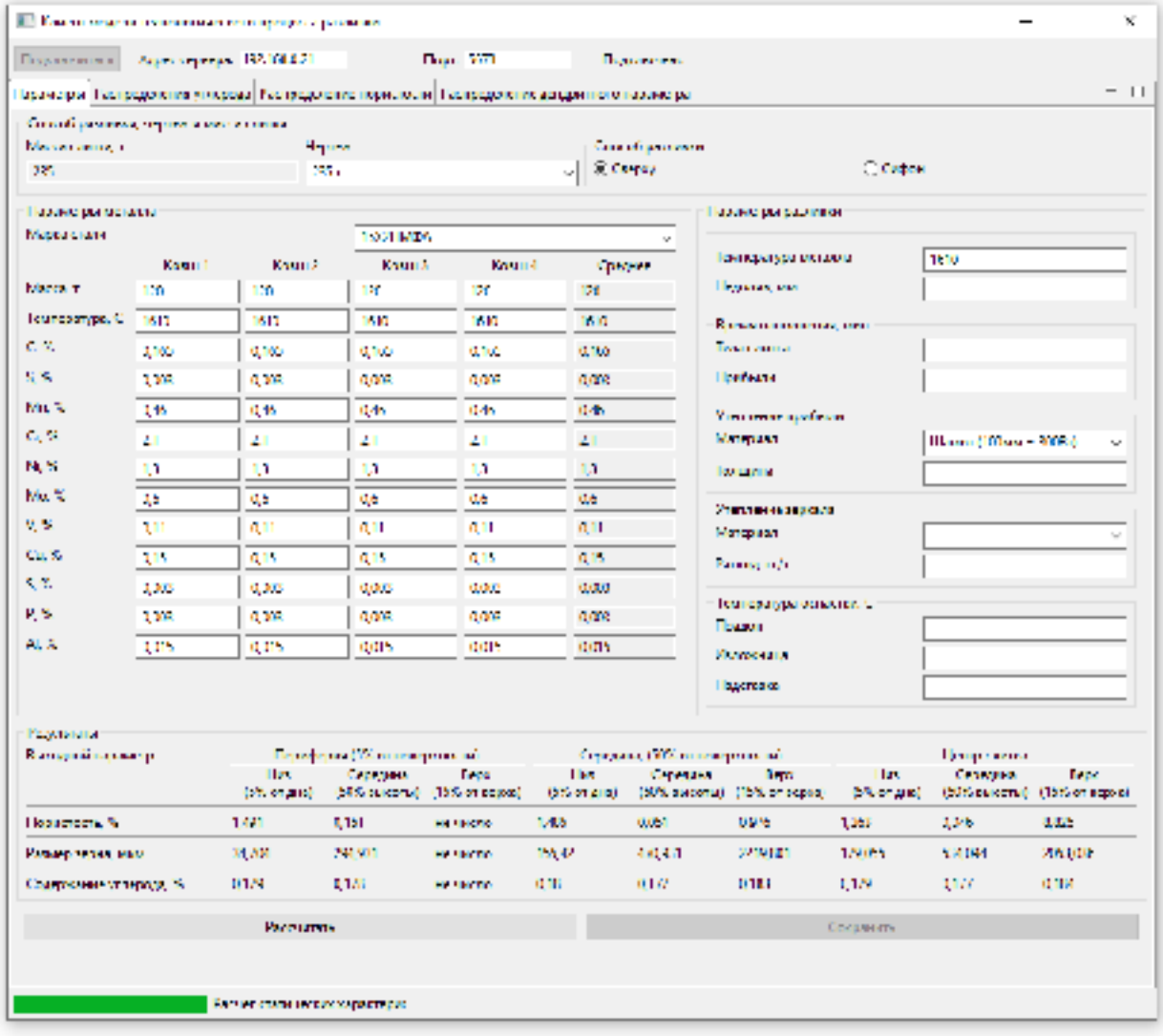


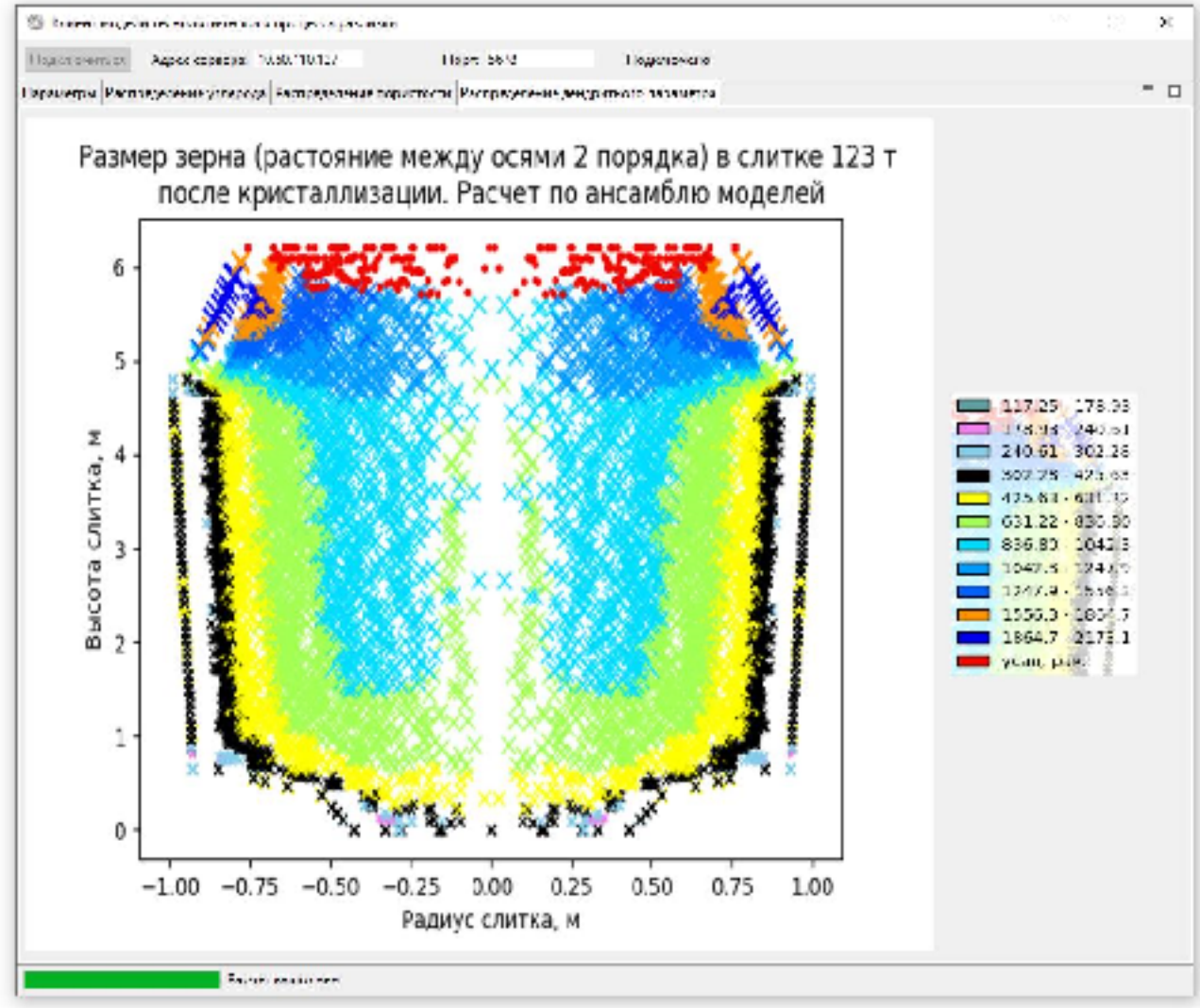


11. ПРИМЕРЫ РАБОЧИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Программа компьютерного моделирования разливки (затвердевания)

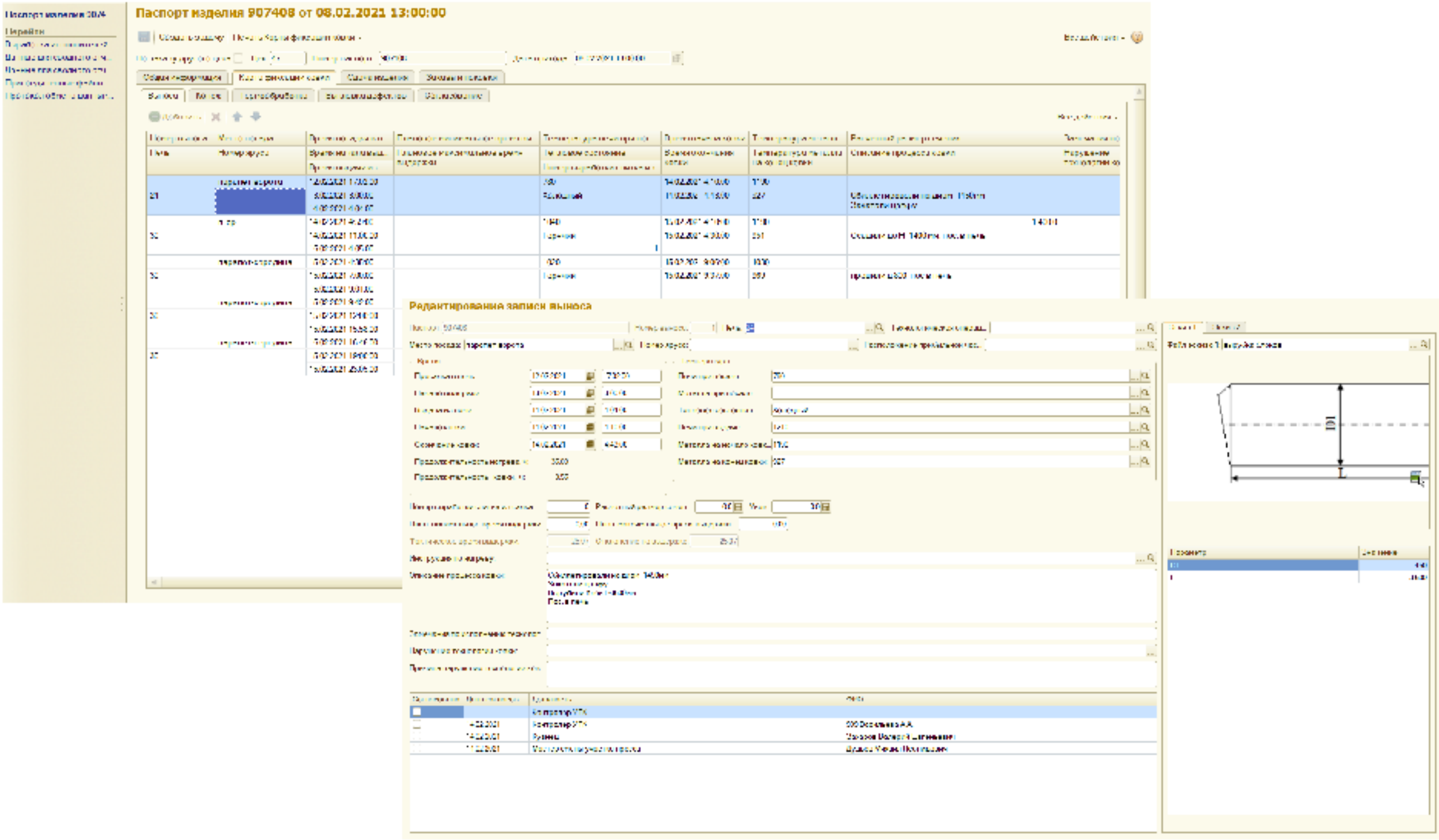




11. ПРИМЕРЫ РАБОЧИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Электронный паспорт изделия



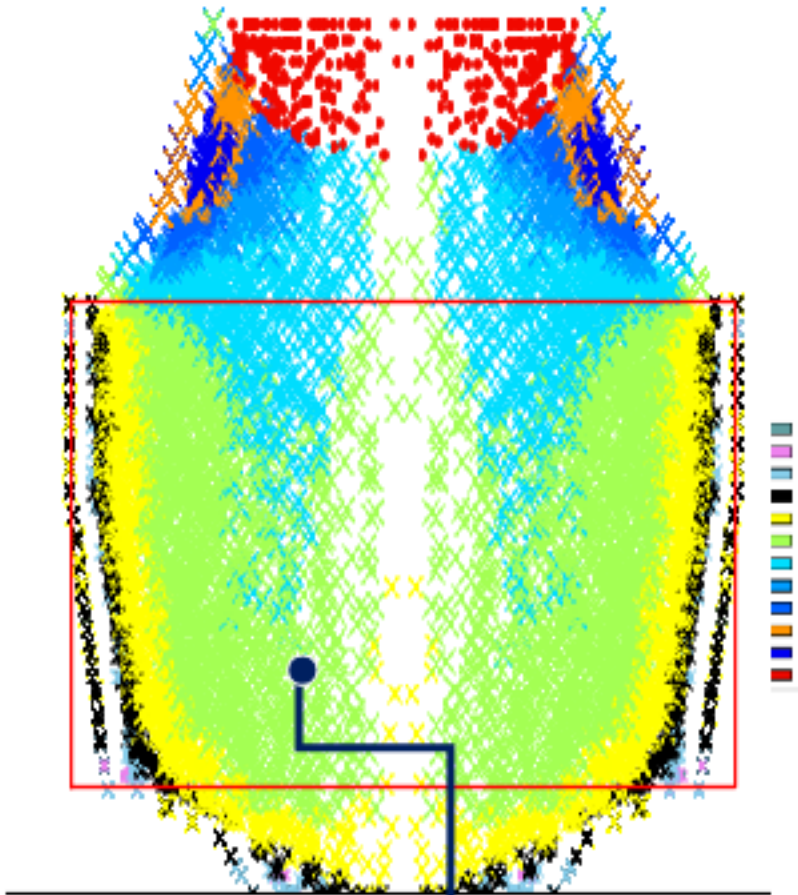
12. ВИЗУАЛИЗИРУЕМЫЕ МОДЕЛИ

ПРИМЕРЫ В СОСТАВЕ РАБОЧИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

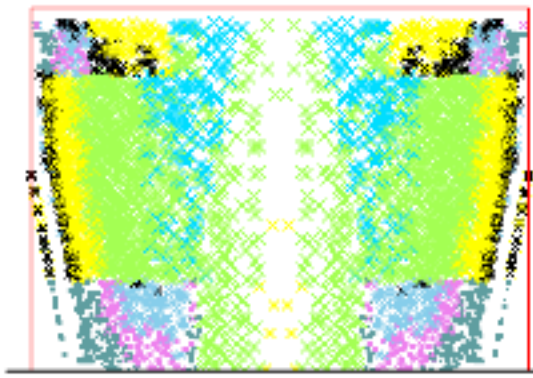
Термодеформационный передел (данные, полученные при компьютерном моделировании и обработанные методами машинного обучения)

Слиток массой 384 т

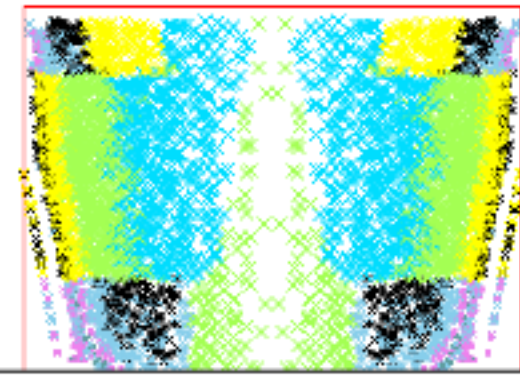


Годная часть слитка

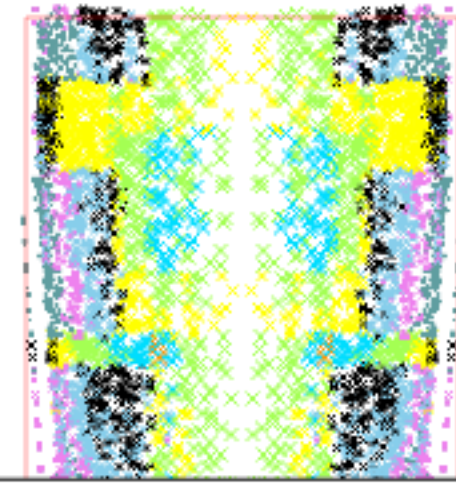
1-ый вынос



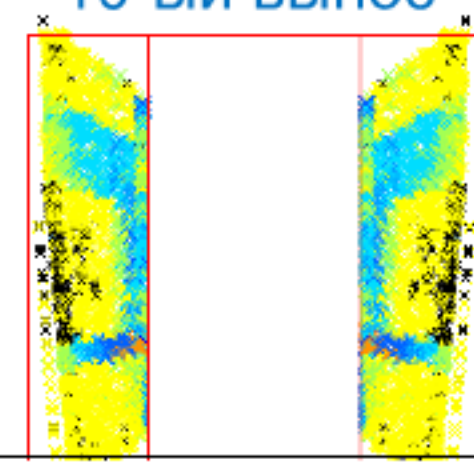
нагрев



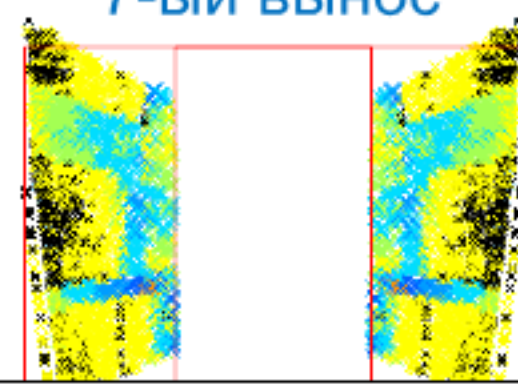
2-ый вынос



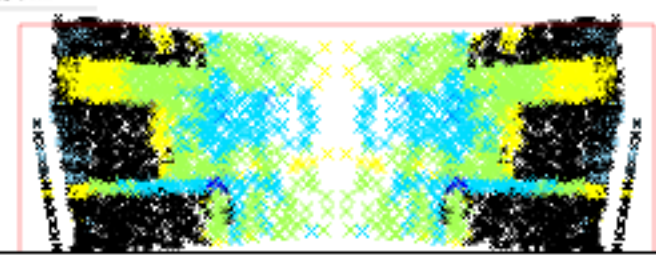
10-ый вынос



7-ый вынос



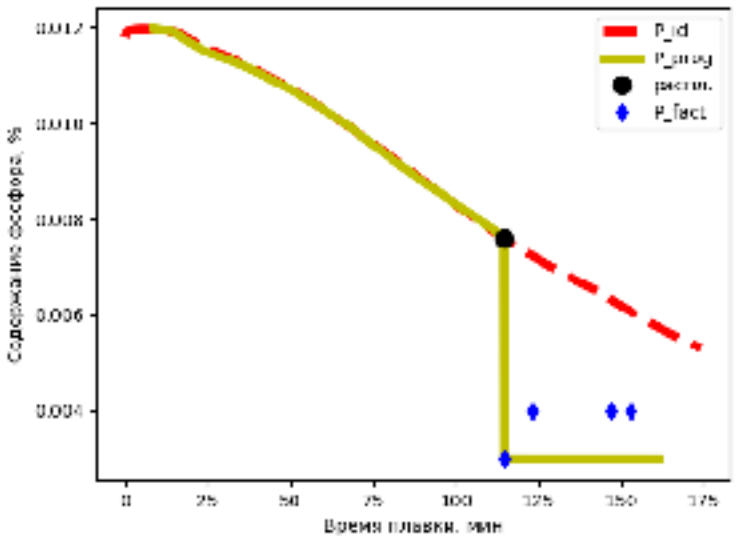
5-ый вынос

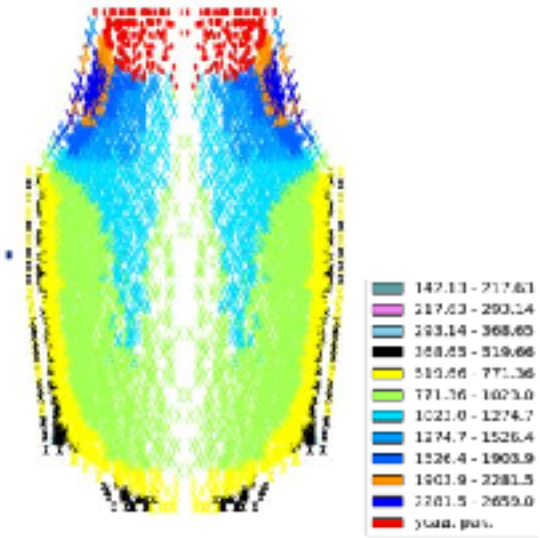


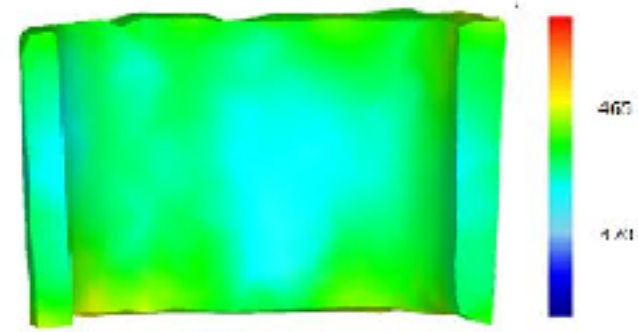
12. ВИЗУАЛИЗИРУЕМЫЕ МОДЕЛИ

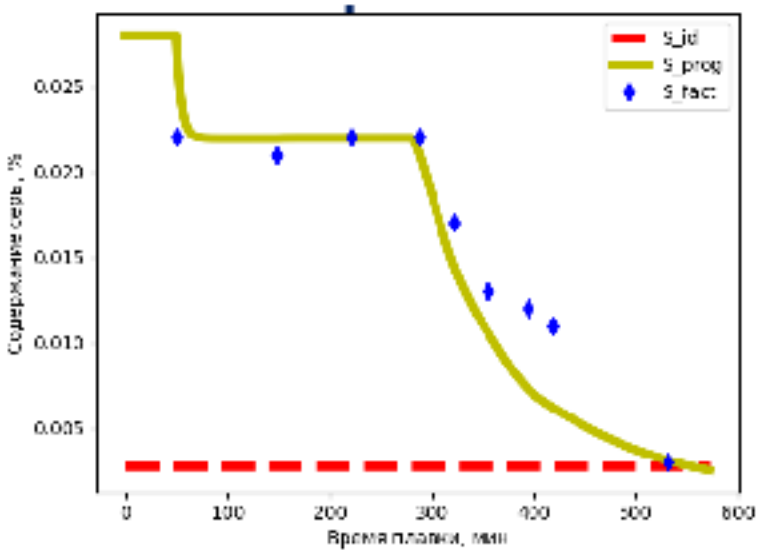
ПРИМЕРЫ В СОСТАВЕ РАБОЧИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

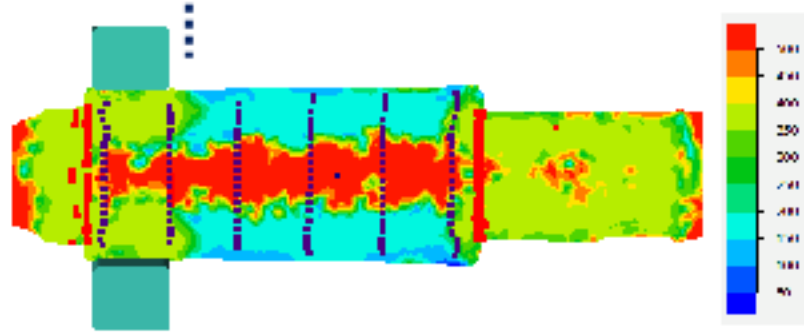
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ









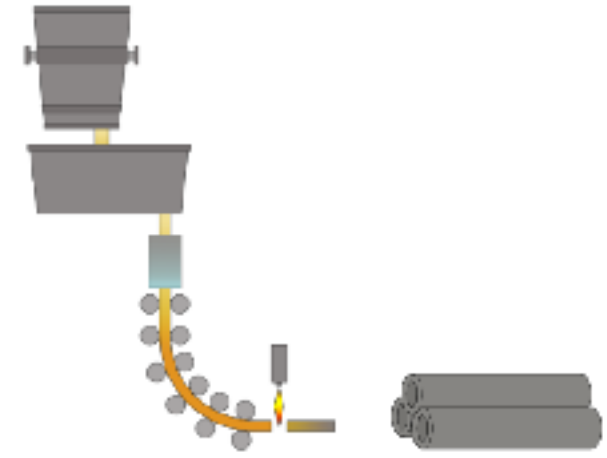


13. НАПРАВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОЙ КООПЕРАЦИИ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ



МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ



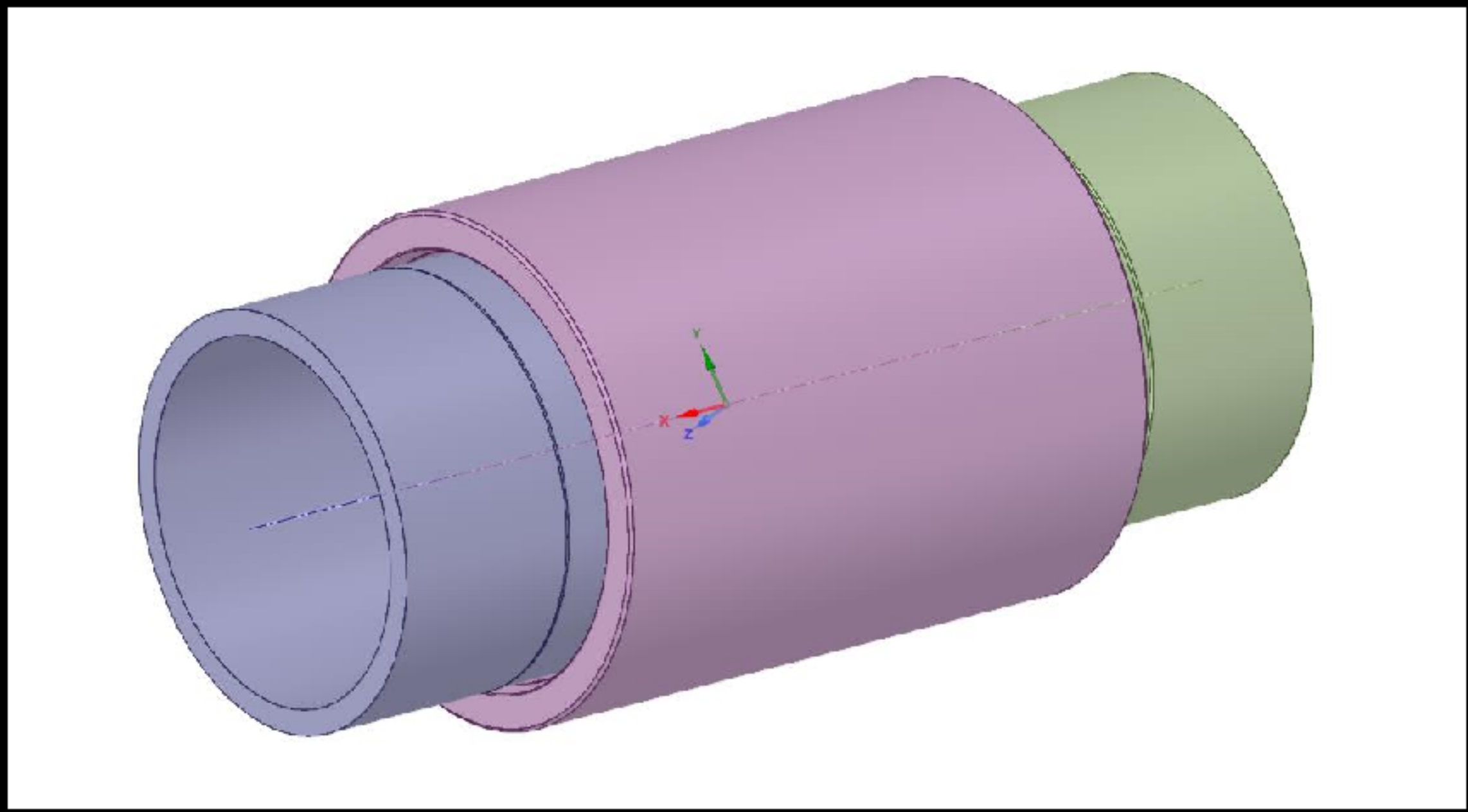
- **Общий объем производства стали в России в 2020 году – 73,4 млн. тонн**
- **Объем производства трубной металлургической компанией в 2020 году – порядка 8 млн. тонн труб**

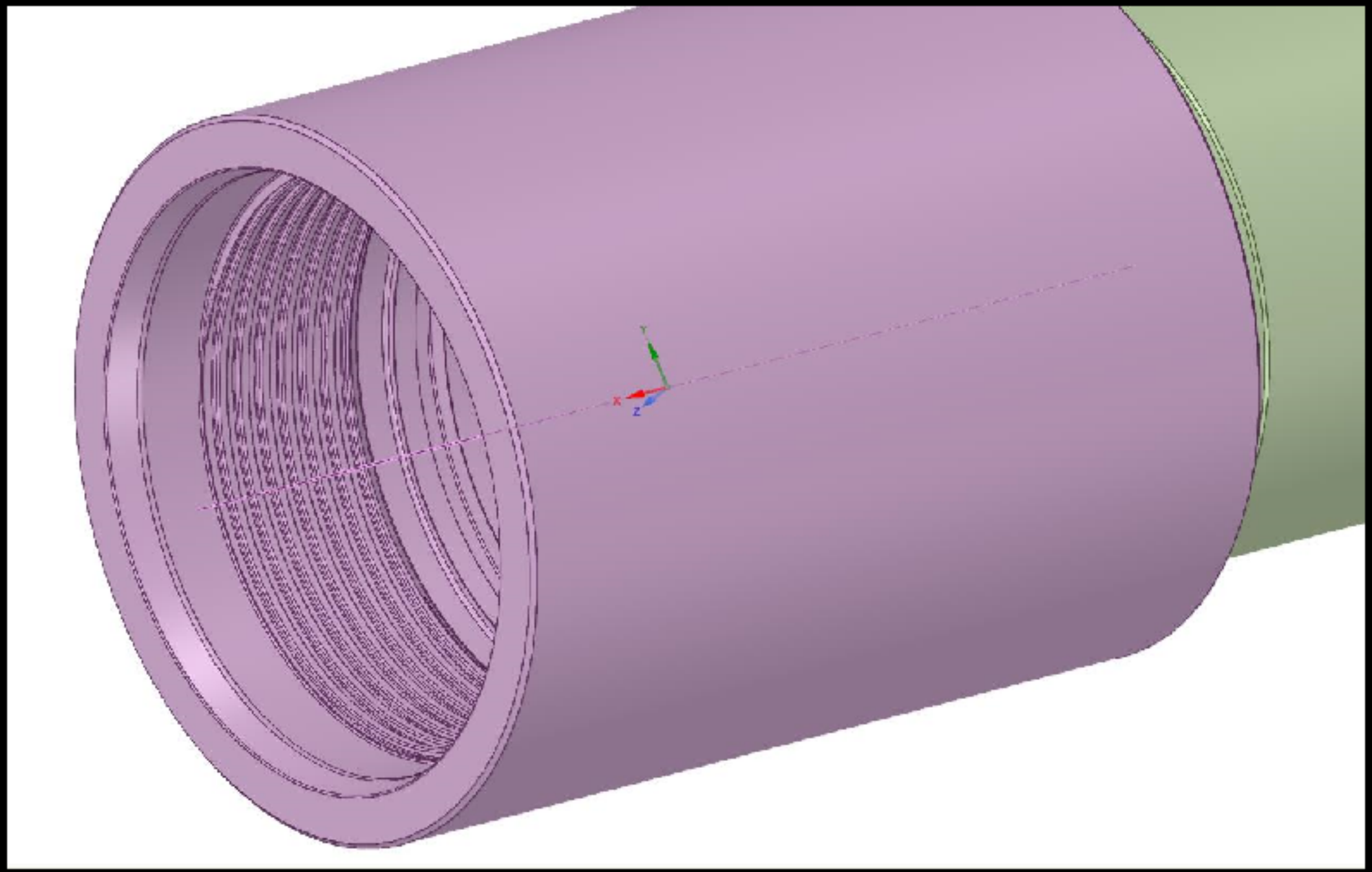
Разработка и внедрение внутреннего стандарта предприятия: **Системы управления качеством и технологическими процессами изготовления продукции**

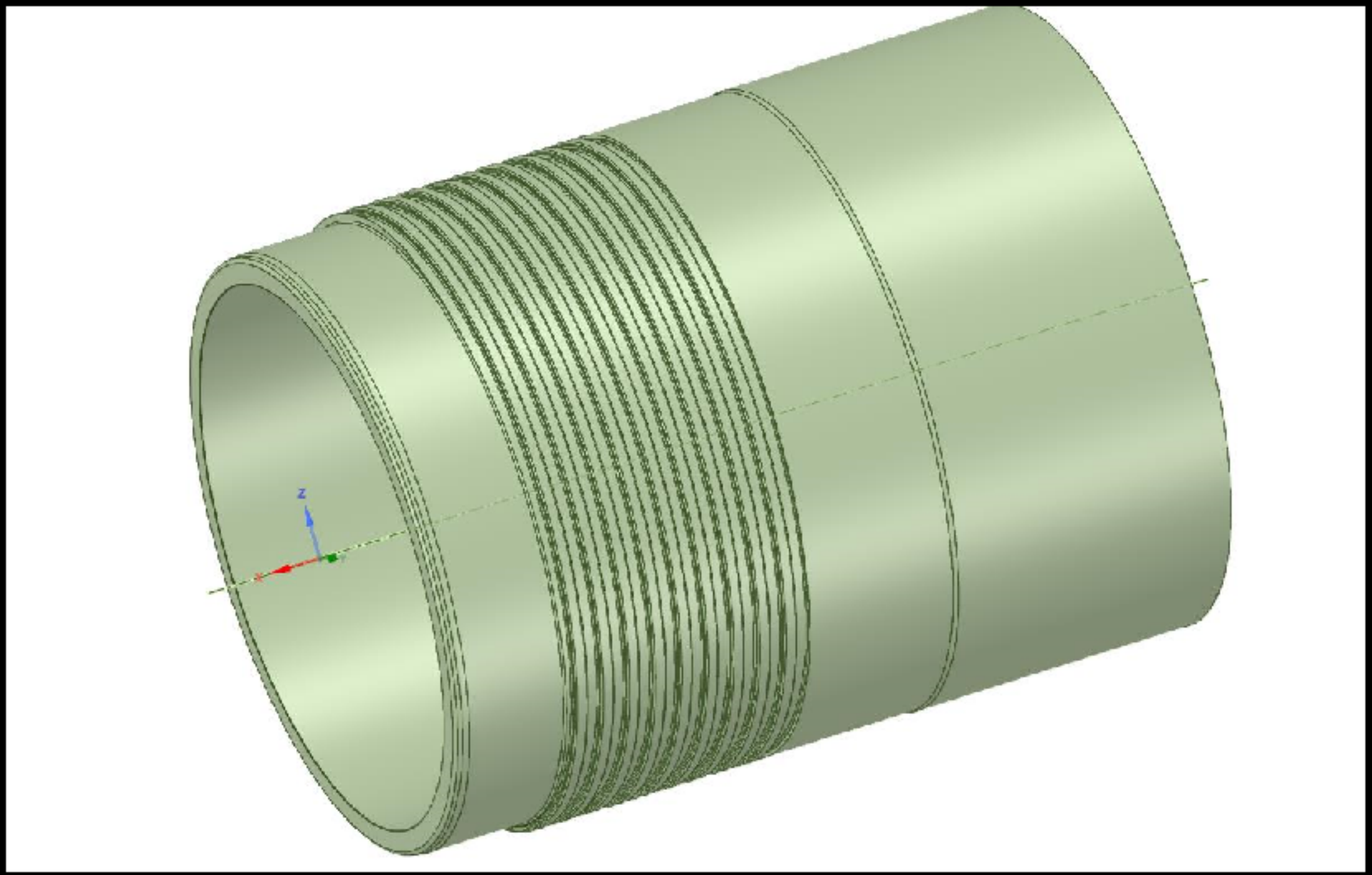
Спасибо
за внимание

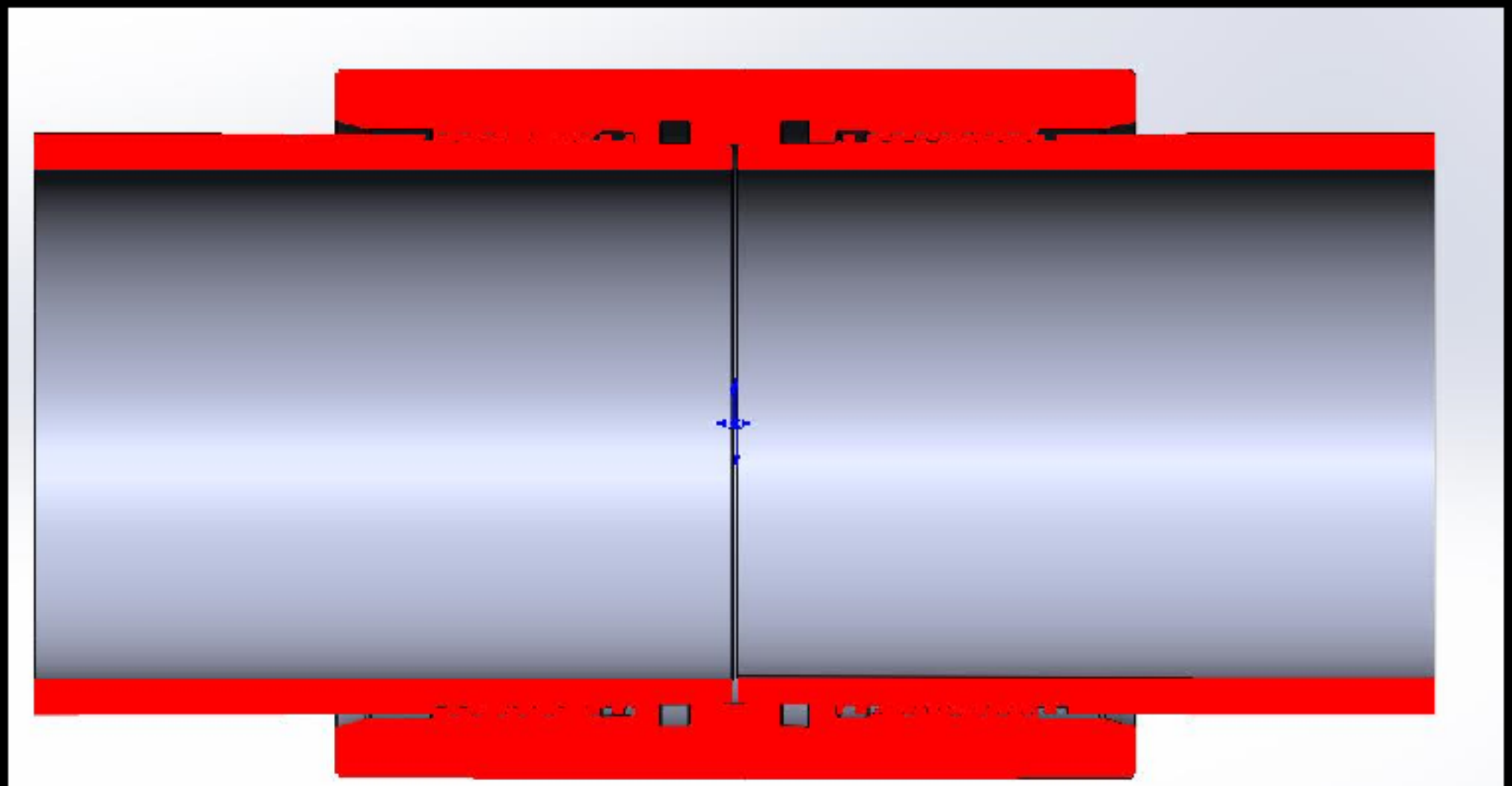
Сафронов Александр Афанасьевич
Ведущий научный сотрудник

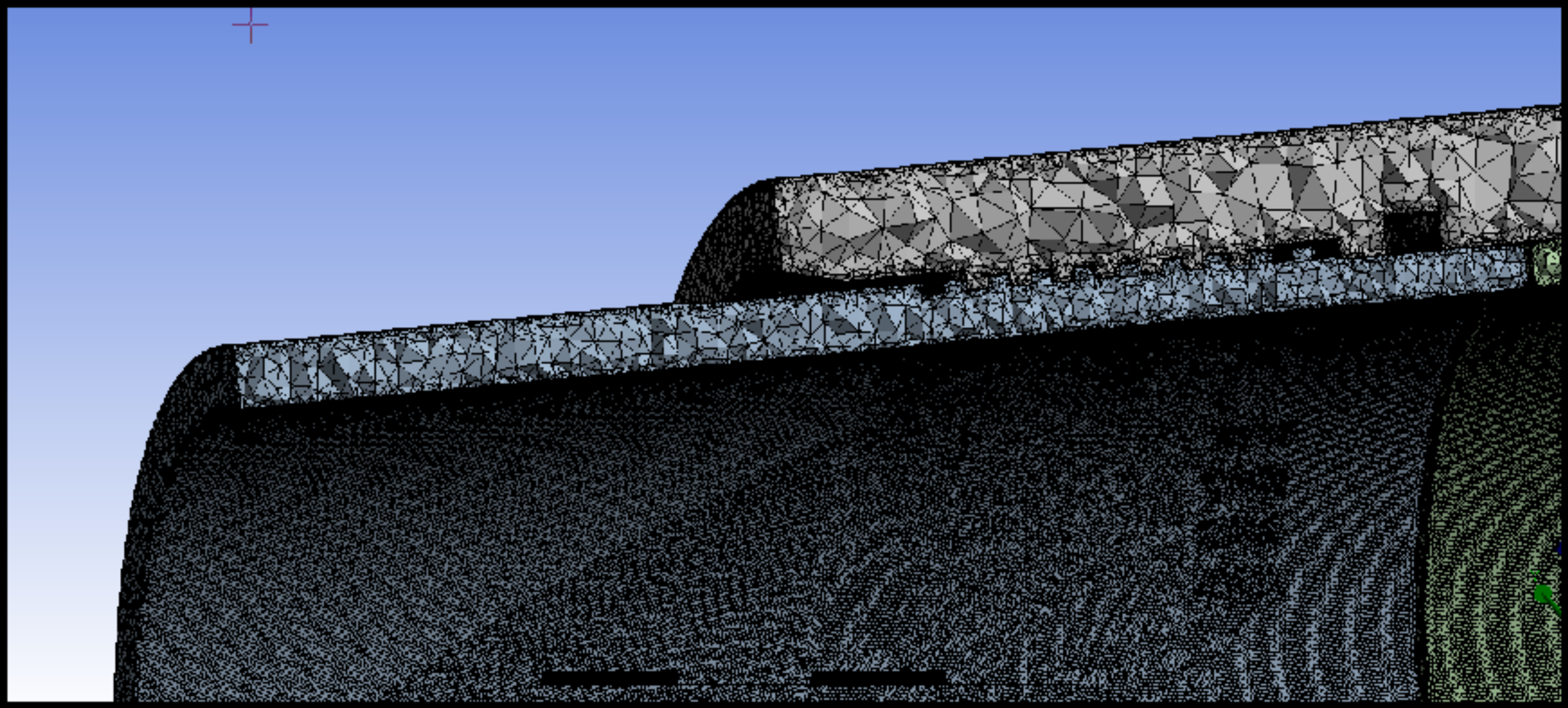
Тел.: +7 (495) 675-89-14
E-mail: AASafronov@cniitmash.com
www.cniitmash.com

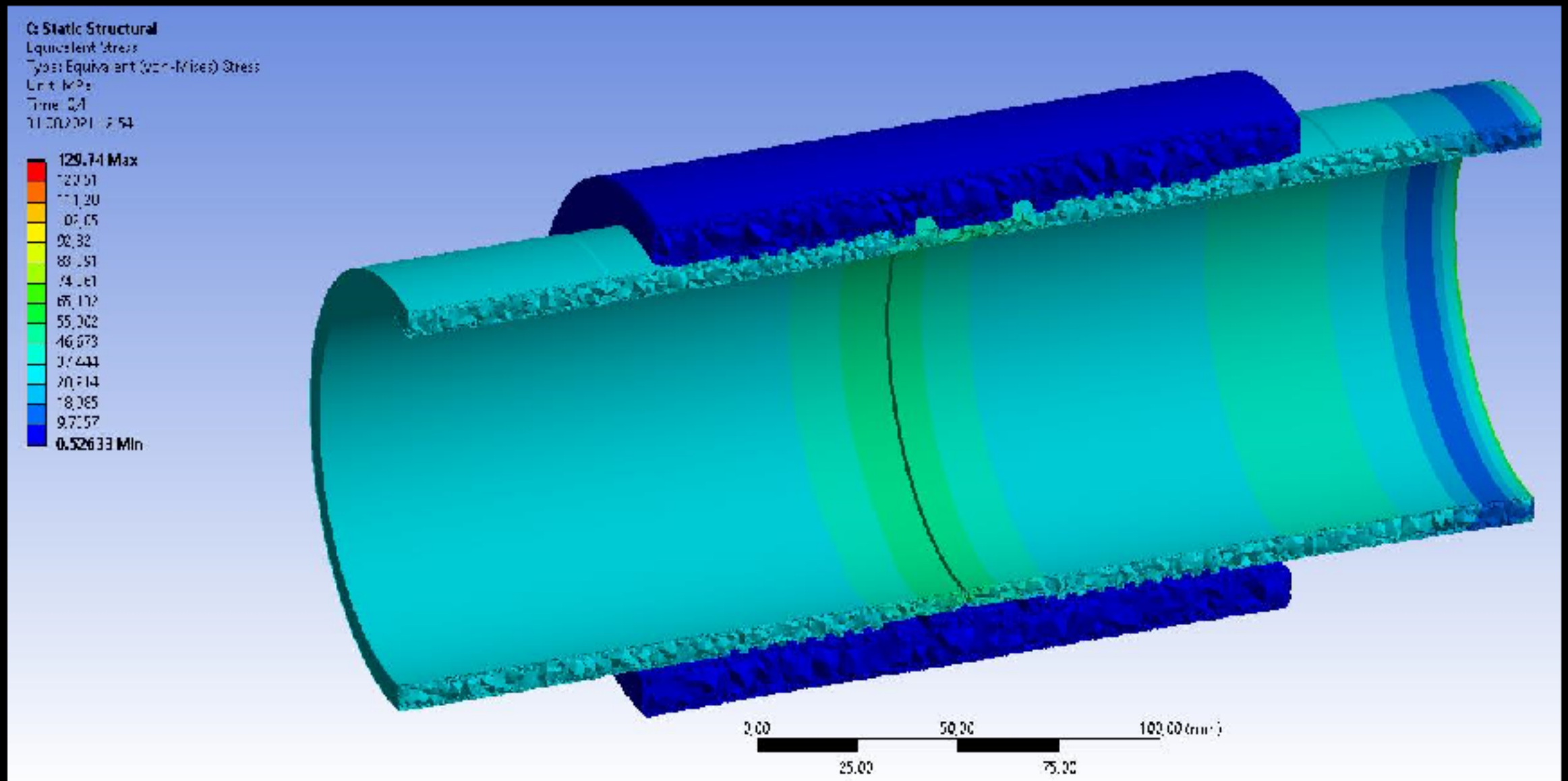

Y
X
Z

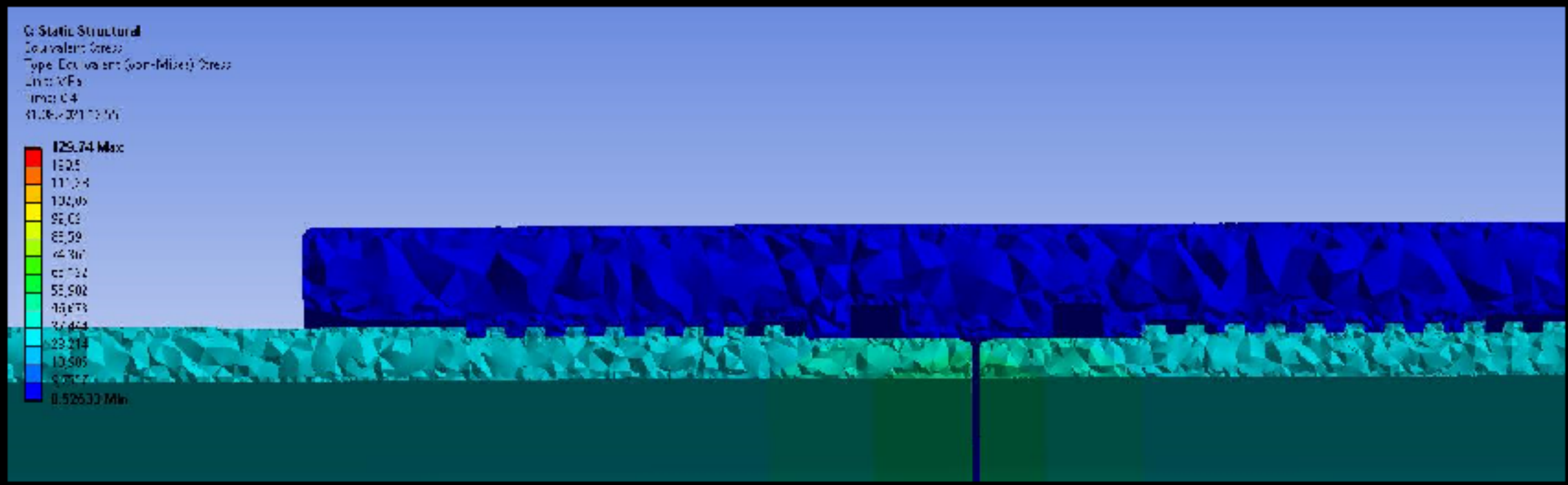

Y
X
Z

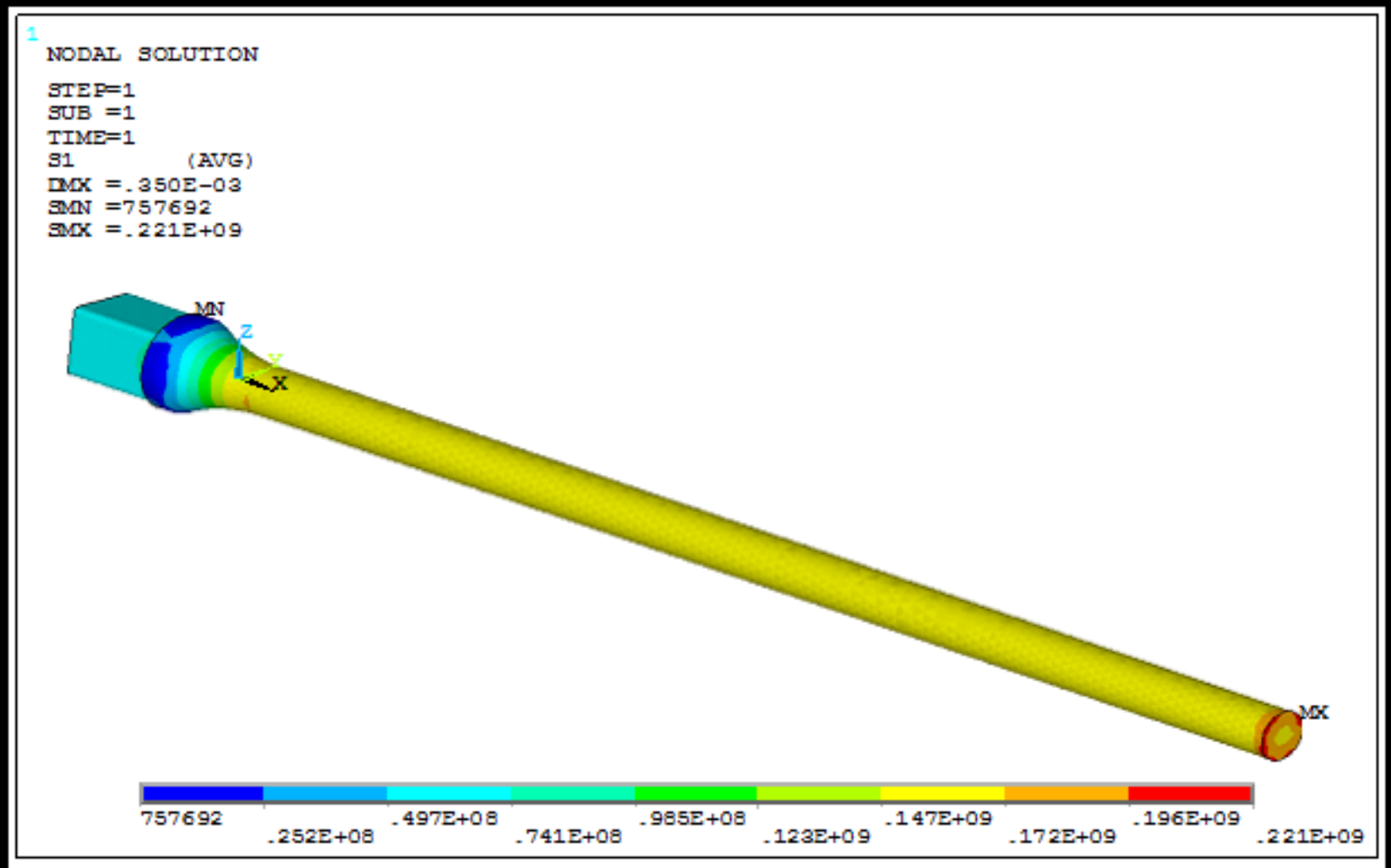

Z

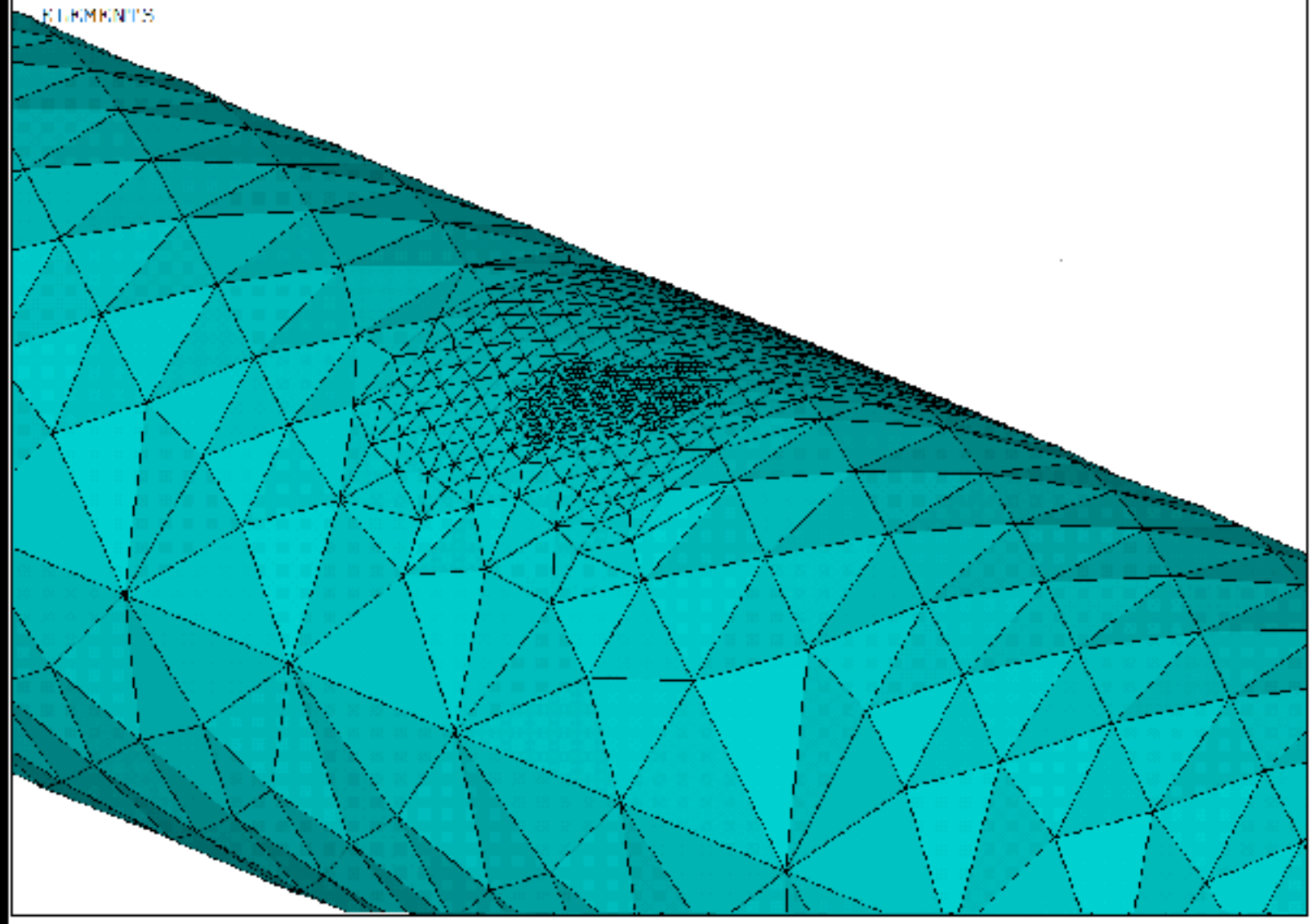


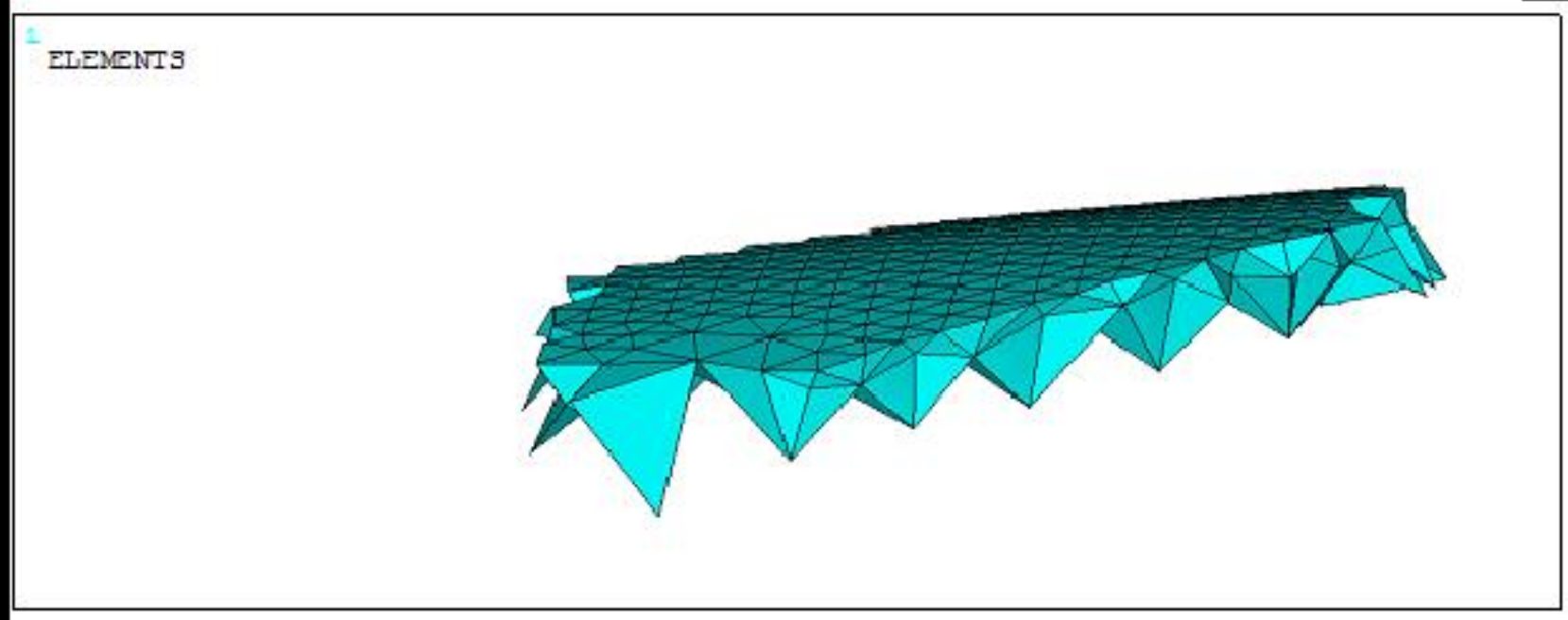


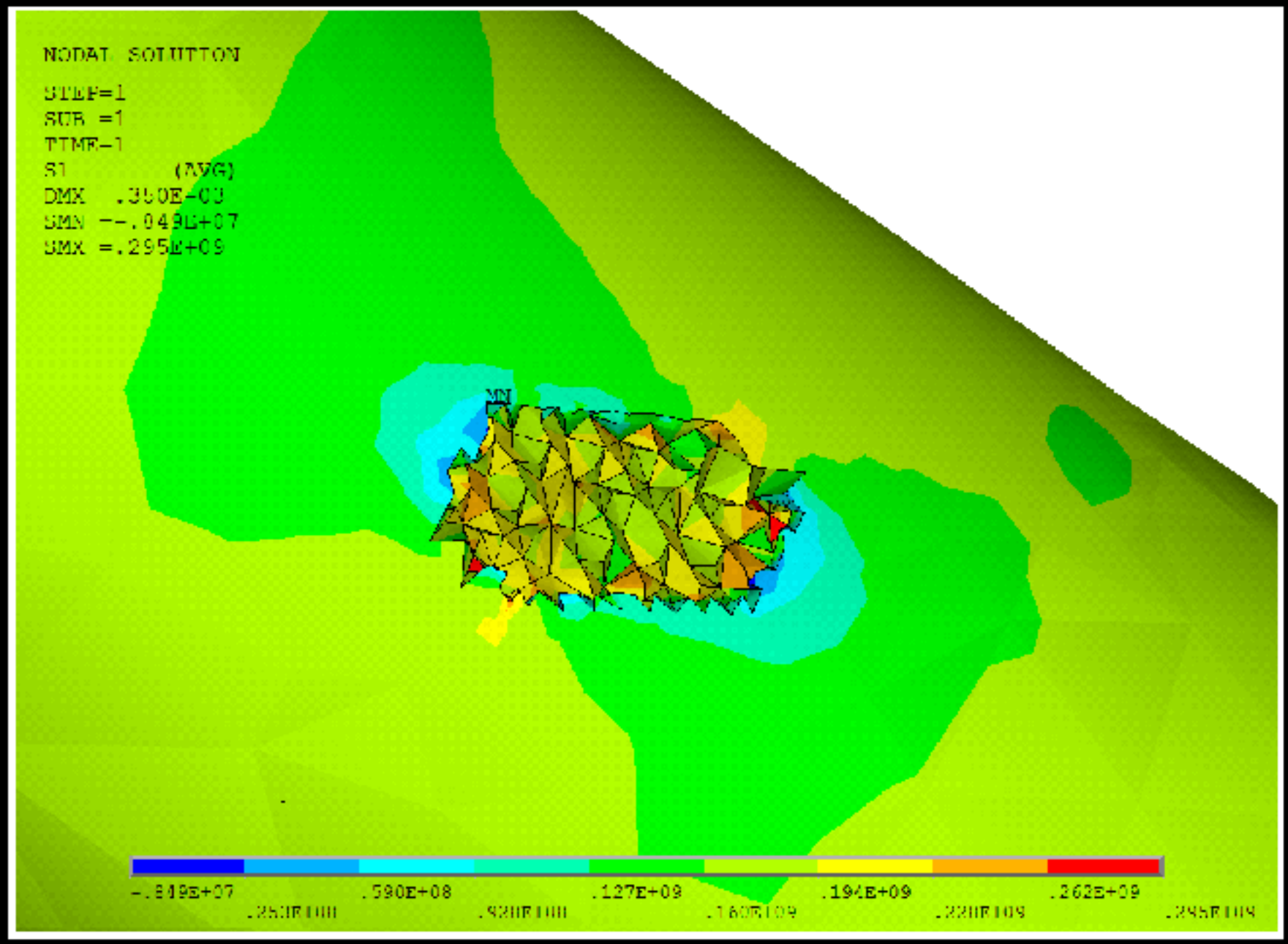

C: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
11/30/2021 7:54
129.74 Max
120.51
111.20
101.95
92.682
83.451
74.221
64.990
55.760
46.529
37.299
28.068
18.838
9.6077
0.52633 Min
0.00
50.00
100.00 (mm)
25.00
75.00


C Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 0.4
125,74 Max
0,52633 Min


1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
S1 (AVG)
DMX =.350E-03
SMN =757692
SMX =.221E+09
MN
Z
Y
X
MX
757692
.252E+08
.497E+08
.741E+08
.985E+08
.123E+09
.147E+09
.172E+09
.196E+09
.221E+09

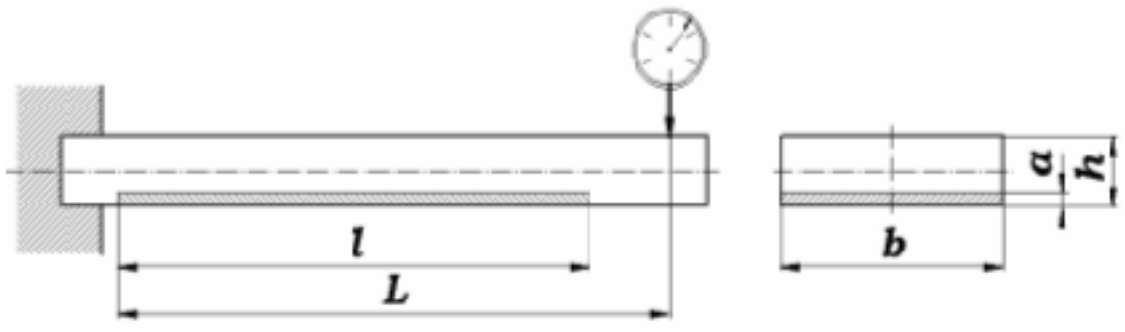

ELEMENTS


1
ELEMENTS

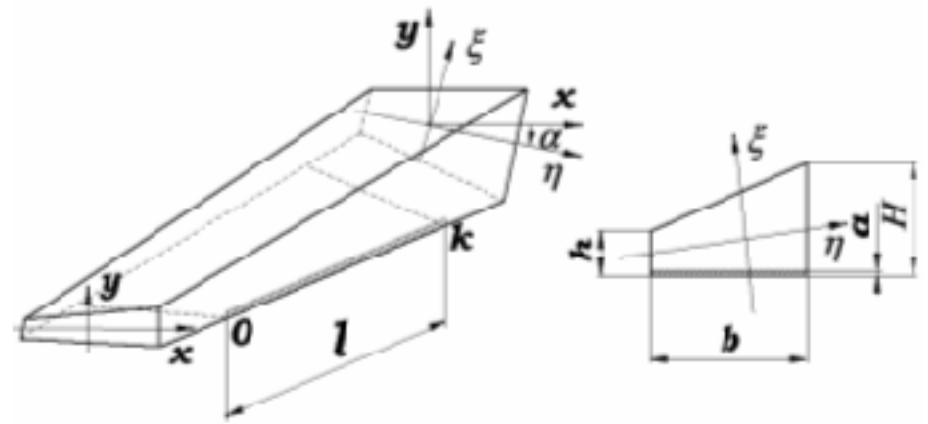

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
S1 (AVG)
DMX .350E-03
SMN -.849E+07
SMX .295E+09
MN
-.849E+07
.590E+08
.127E+09
.194E+09
.262E+09



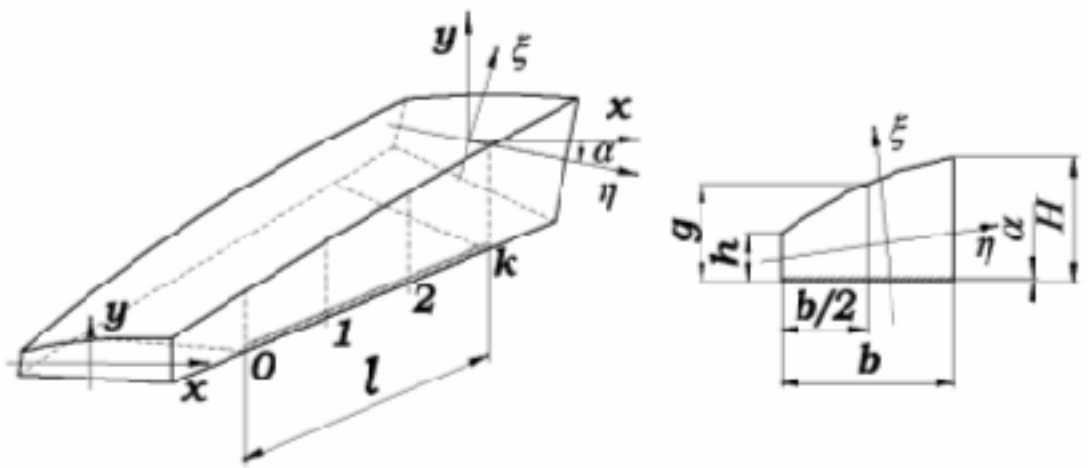
№1. Прямоугольное постоянное сечение



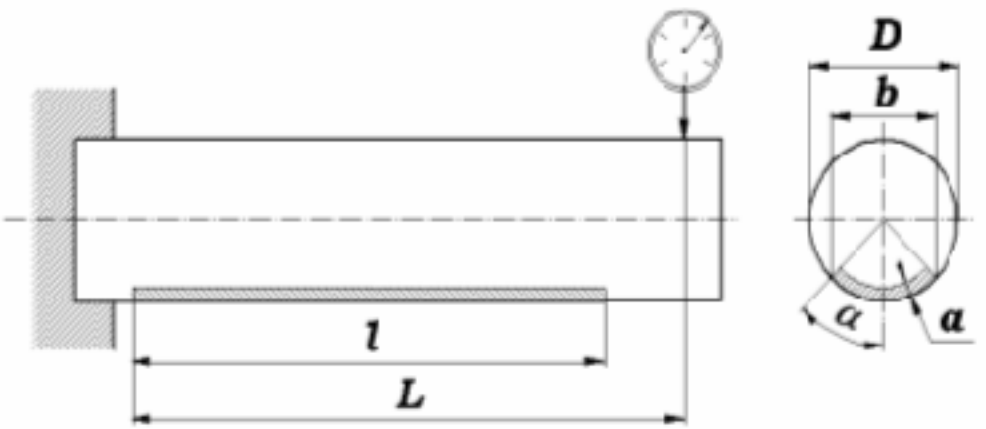
№2. Трапецеидальное клиновидное сечение



№3. Трапецеидальное переменное сечение



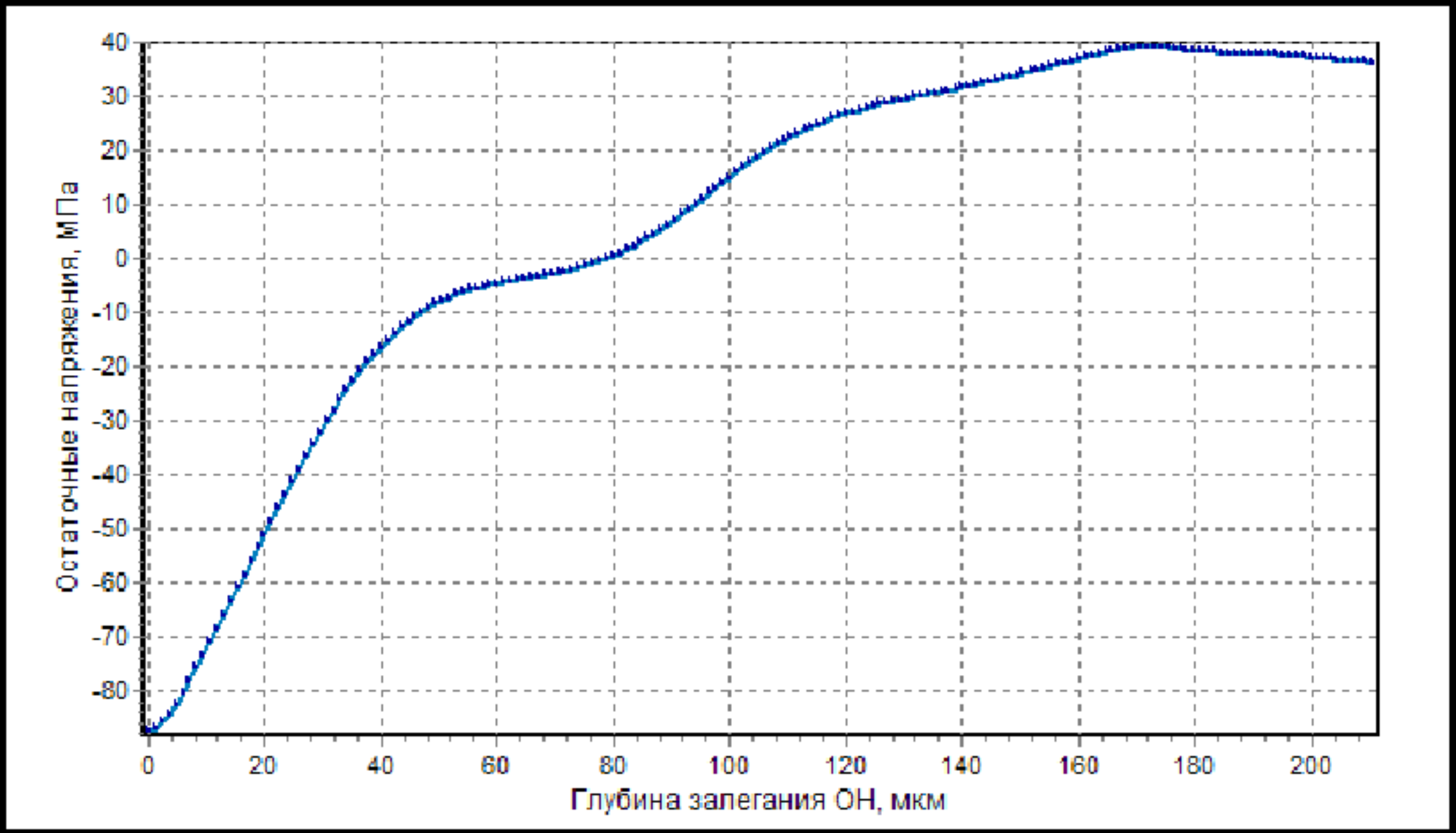
№4. Круглое постоянное сечение

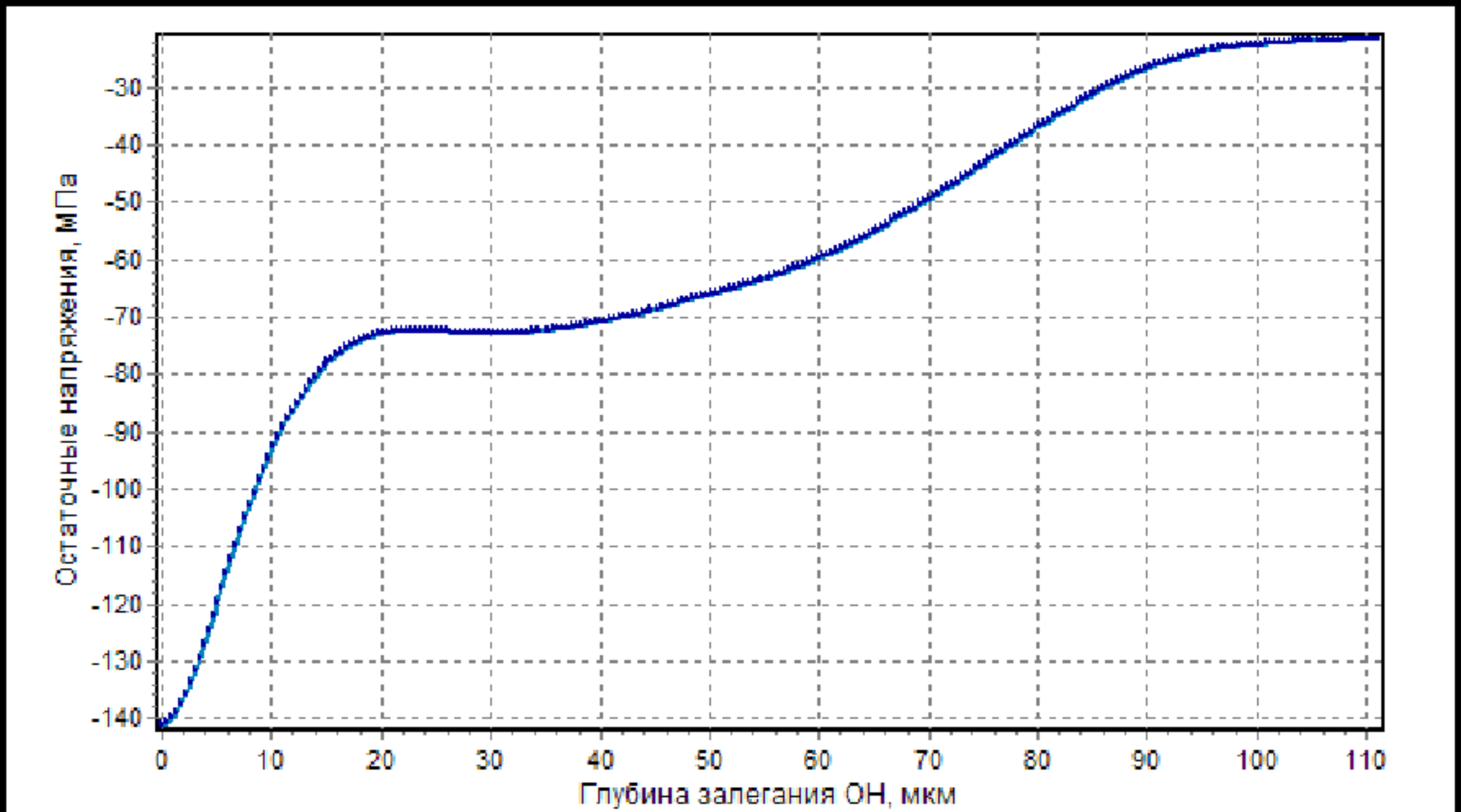


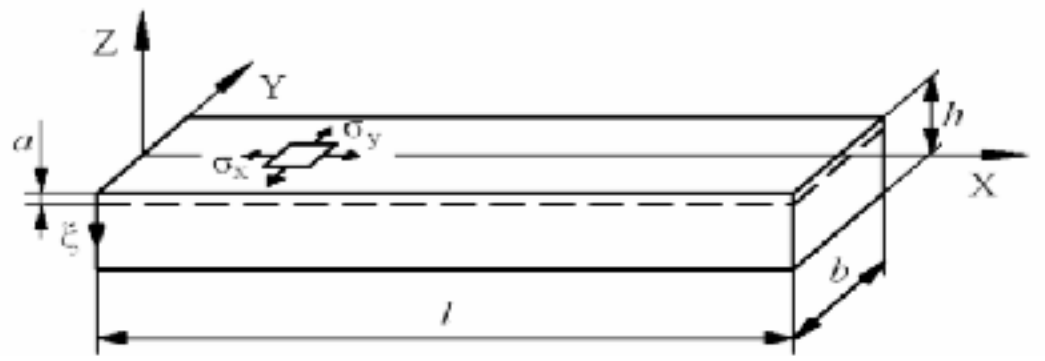




Образцы секторного сечения


Остаточные напряжения, МПа
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
Глубина залегания ОН, мкм


Остаточные напряжения, МПа
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
-130
-140
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
Глубина залегания ОН, мкм



Ориентация системы координат и направления остаточных напряжений

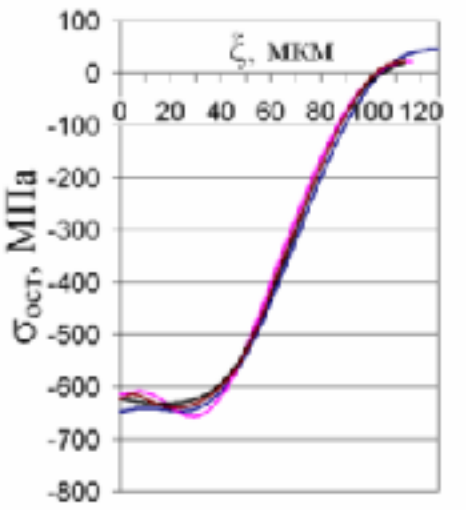
$$U_{д} = \Delta U_{a} = f(U_{a})$$

$$u_0 = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)],$$

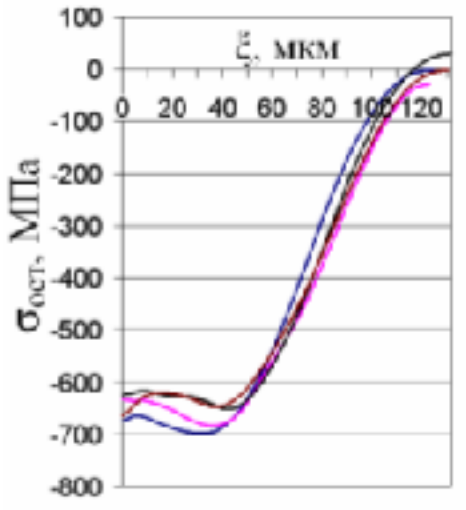
где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные начальные напряжения.

$$\sigma_1 = 0, \qquad \sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\sigma_{н}}{1-\mu},$$

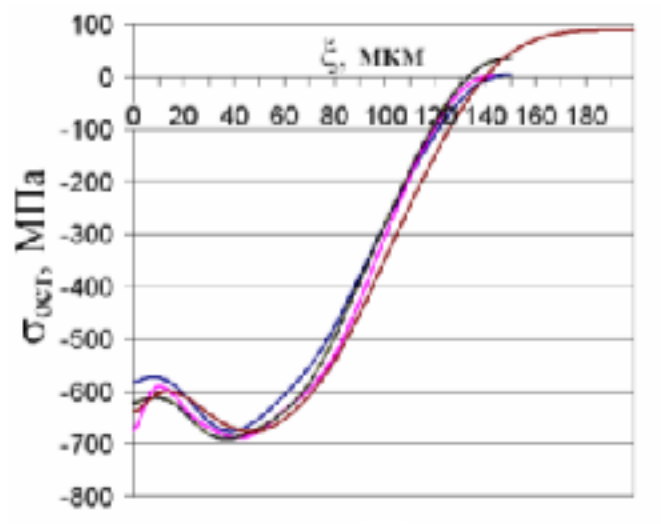
$$u_0 = \frac{\sigma_{н}^2}{(1-\mu)\cdot E}.$$



1

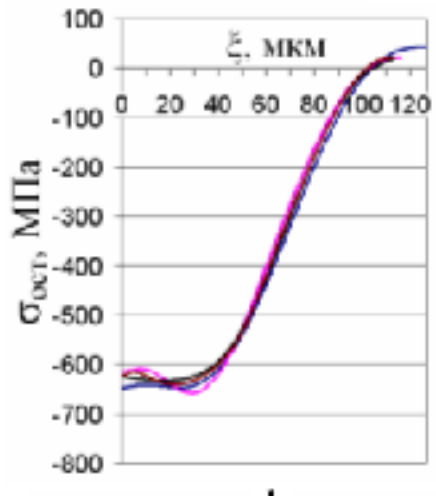


2

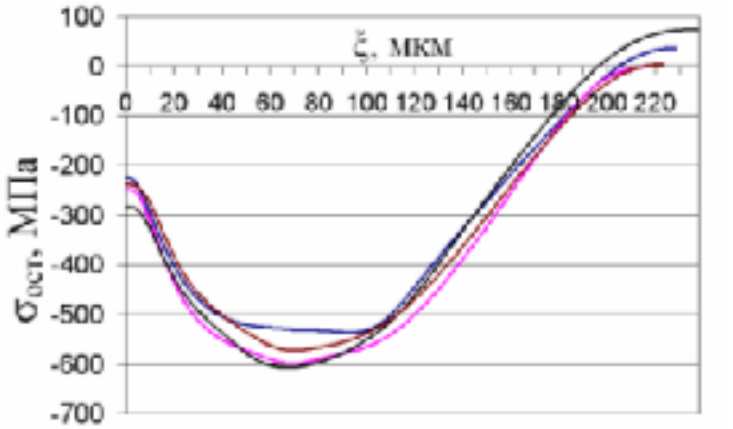


3

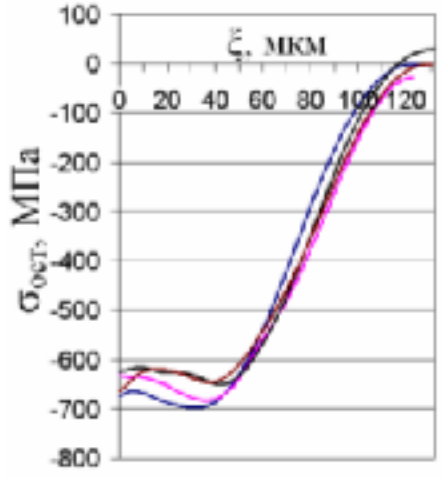
Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стеклянными микрошариками Ø250 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении p – 0.2 МПа; 2 – при давлении p – 0.3 МПа;
3 – при давлении p = 0.4 МПа.



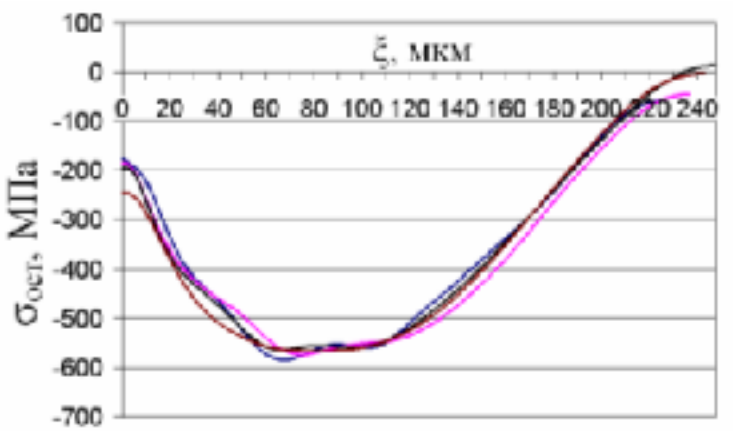
1



3

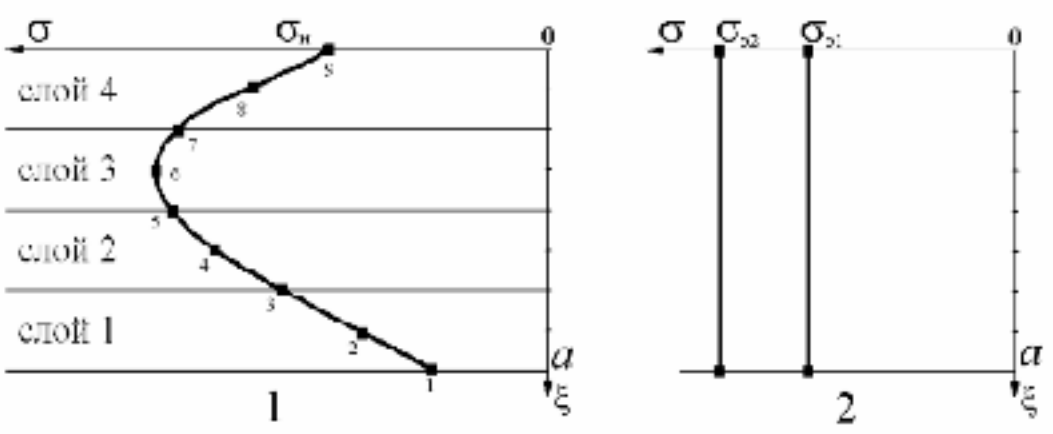


2



4

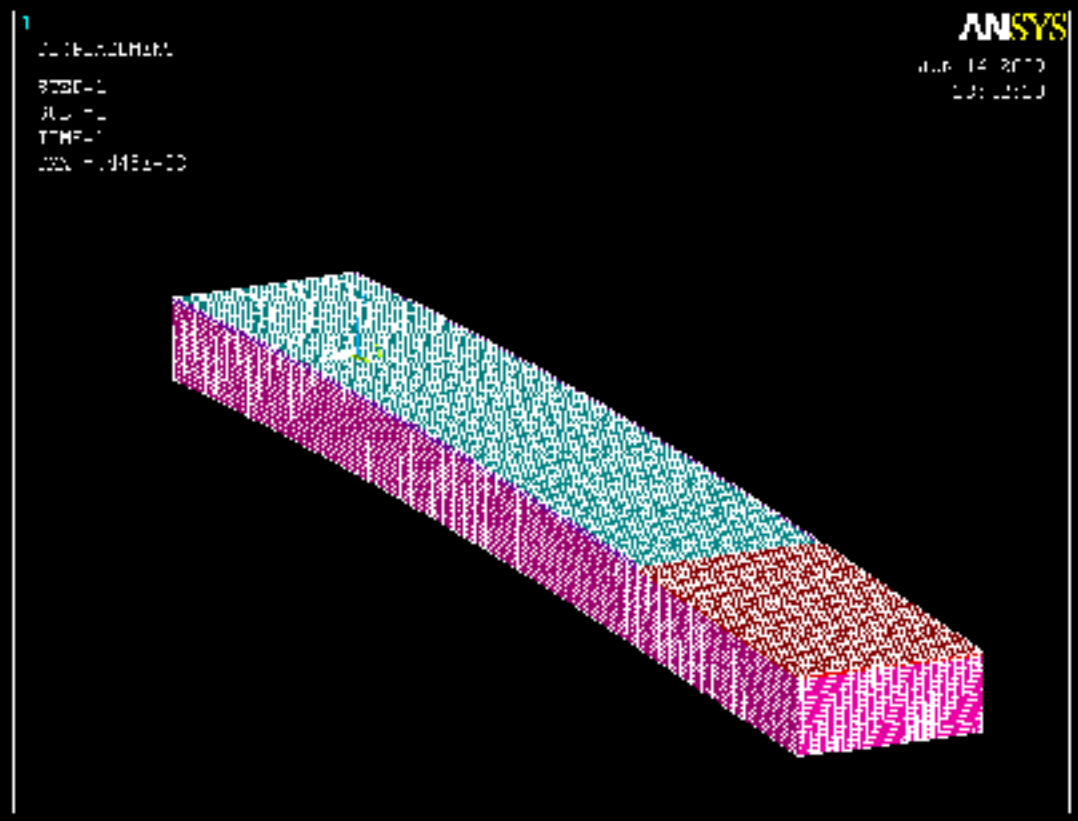
Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стальными микрошариками Ø315 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении p = 0.15 МПа; 2 – при давлении p = 0.30 МПа;
3 – при давлении p = 0.45 МПа; 4 – при давлении p = 0.60 МПа.

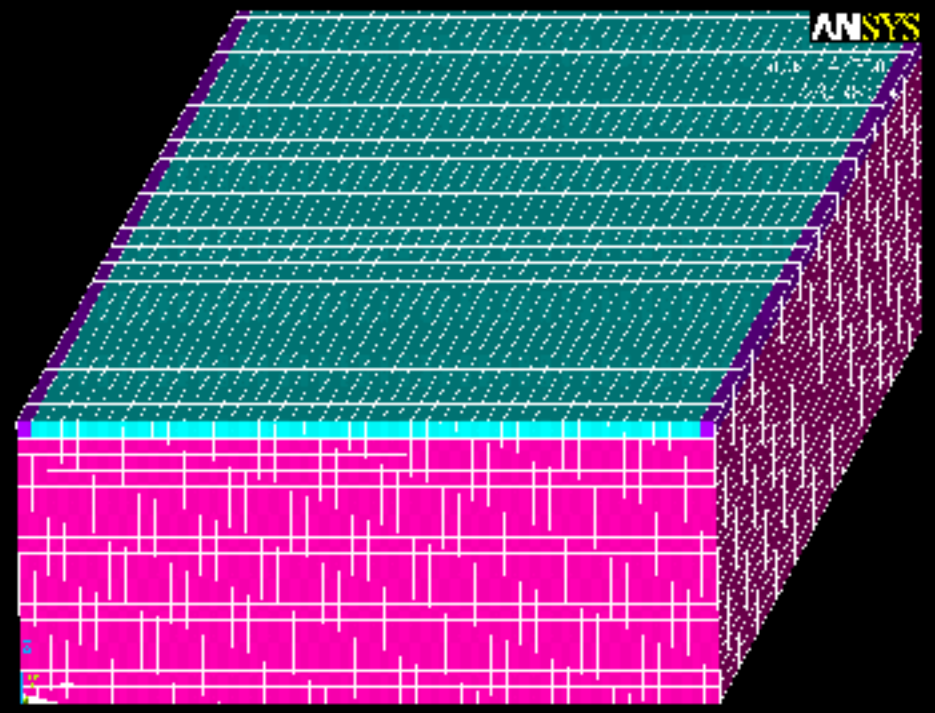


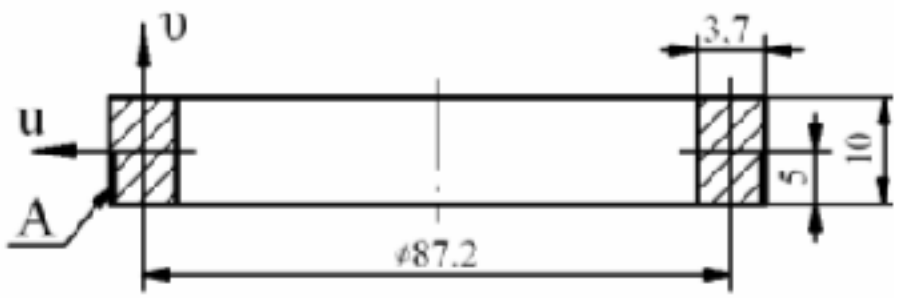
Структура упрочненного поверхностного слоя



Распределение ОН после упрочнения на вибрационном режиме



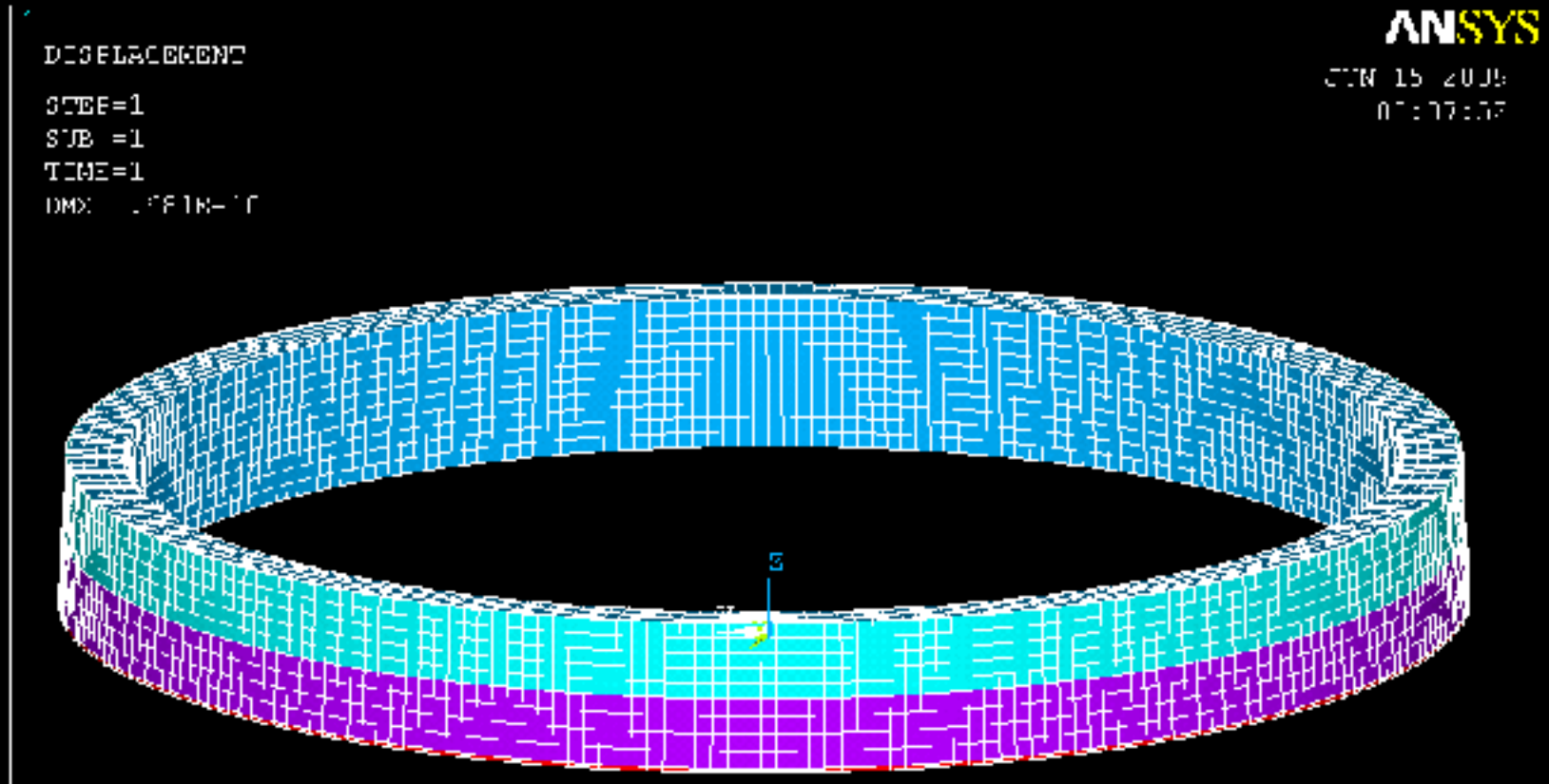




Кольцевой образец
А – обработанная поверхность



Распределение ОН после дробеструйной обработки

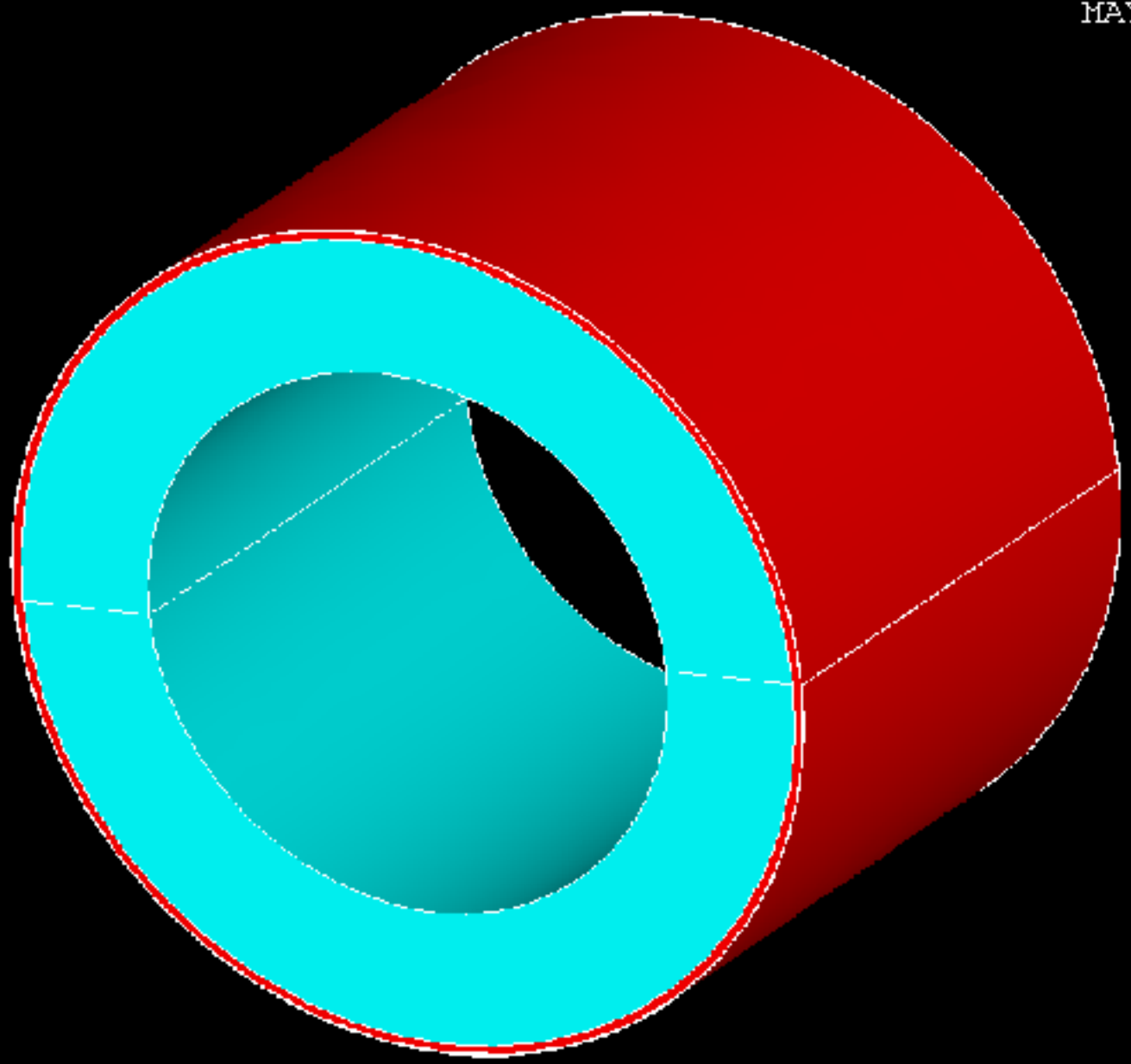


1

VOLUMES

TYPE NUM

MAY 24 2016
20:06:54



1

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =1
 IMK=1
EPELM (AVG)
DMX =.894E-10
SMN =.114E-09
SMX =.491E-08

MAY 24 2016
20:09:15

MX

.114E-09
.647E-09
.110E-08
.171E-08
.224E-08
.278E-08
.331E-08
.384E-08
.437E-08
.491E-08

Методики определения газопроницаемости полимерных пленок и мембран.

ИТ-СЕРВИС

Понятие газопроницаемости.

В связи с набирающей обороты тенденцией использования неметаллических трубопроводов (НМТ) на нефтяных месторождениях, важным вопросом является газопроницаемость полимерных материалов используемых в производстве гибких полимерных армированных трубопроводов (ГПАТ), в частности к таким газам как CO_2, H_2S, CH_4 входящим в состав транспортируемого флюида.

Проникающие в межтрубное пространство ГПАТ агрессивные газы могут провоцировать развитие коррозионных процессов в металлическом армирующем корде. А также, скопление газа в межтрубном пространстве многослойных ГПАТ может привести к декомпрессии (потери адгезии) связных слоев полимерных материалов.

Интенсивность газопроницаемости зависит в первую очередь от структуры полимера и природы диффундирующего вещества. В частности для полиэтилена существует линейная зависимость плотности от степени кристалличности, которая в свою очередь напрямую влияет на газопроницаемость (чем выше плотность тем ниже проницаемость)

Газопроницаемость следует рассматривать как процесс переноса вещества через мембрану, обусловленный наличием перепада давления, концентрации или температуры по обе стороны мембраны. В литературе описано множество методов определения коэффициента газопроницаемости или же объёма газа прошедшего через полимер при заданных условиях.



Разновидности методов.

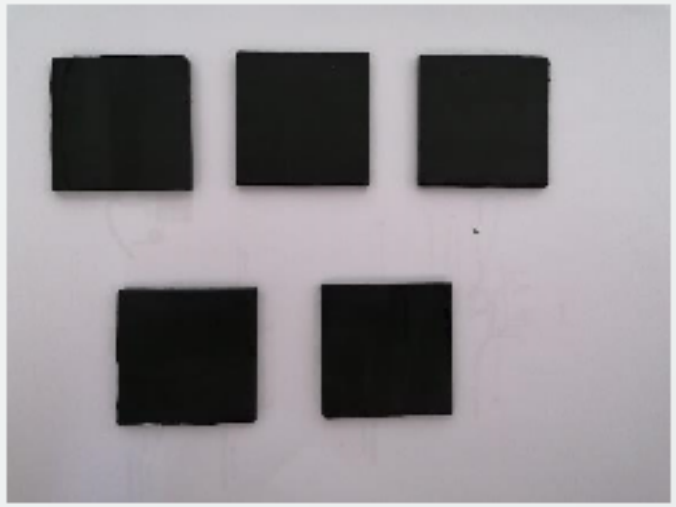
- Проницаемость можно определять прямыми и косвенными методами.
- Прямые, или мембранные, методы сводятся к непосредственному замеру количества газа или пара, прошедшего через полимерную мембрану при заданных условиях. При использовании косвенных, или сорбционных, методов коэффициент проницаемости вычисляют экспериментально по полученным значениям коэффициентов диффузии и сорбции газа или пара в полимерном материале.
- Прямые методы определения проницаемости в зависимости от измеряемого параметра газа или пара разделяют на' манометрические (давление газа в замкнутой камере), волюмометрические (объем прошедшего через мембрану газа), массовые (масса прошедшего газа или пара) и концентрационные (концентрация газа в замкнутой камере).
- Для определения концентрации газа или пара, прошедшего в замкнутую камеру через полимерную мембрану, применяют оптические методы, химический анализ, измерение теплопроводности, специфические методы (например, измерение радиоактивности), хроматографию и масс-спектроскопию.



Исследования проведенные в лаборатории ООО «ИТ-Сервис»

- В нашей лаборатории были опробованы три из перечисленных выше метода определения газопроницаемости: гравиметрический, манометрический и хромато графический.

Для исследований использовались пластины из HDPE и ленты ПЭТФ.





- Гравиметрическим методом определялась проницаемость пластины из HDPE по отношению к CO2. В нижнюю часть камеры помещался взвешенный бюкс с поглотителем (натронная известь, силикагель, БАУ, раствор Ba(OH)2), верхнюю и нижнюю часть камеры разделяли образцом из полимера, после чего верхнюю камеру поступал исследуемый газ под давлением в несколько атм. Спустя заданное время бюкс извлекали и взвешивали на аналитических весах, после чего по привесу поглотителя судили о количестве прошедшего газа.
- После многократных экспериментов, мы отказались от этого метода по причине неточности и невозможности определения массы с точностью выше 4 знака.

Манометрический метод

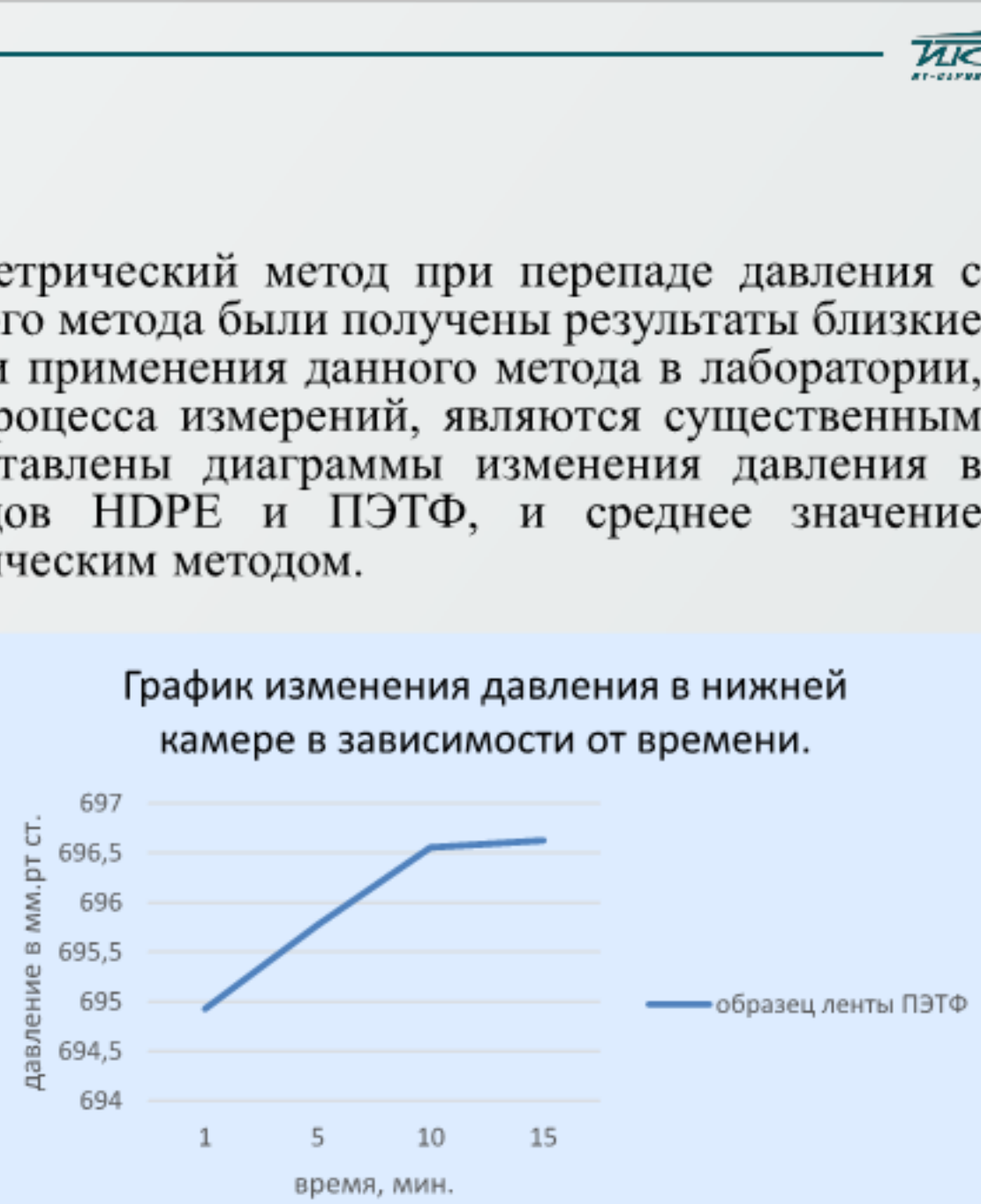
• В нашей лаборатории был опробован манометрический метод при перепаде давления с нескольких атм. до 10^{-1} атм. При использовании этого метода были получены результаты близкие к справочным данным, что говорит о возможности применения данного метода в лаборатории, однако сложность конструкции и трудоемкость процесса измерений, являются существенным недостатком данного метода. На рисунке представлены диаграммы изменения давления в нижней камере в процессе испытаний образцов HDPE и ПЭТФ, и среднее значение газопроницаемости к CO_2 определенное манометрическим методом.

График изменения давления в нижней камере в зависимости от времени.



Среднее значение газопроницаемости образца HDPE к CO_2: **$G = 1{,}6*10^{-13}$,Баррер**

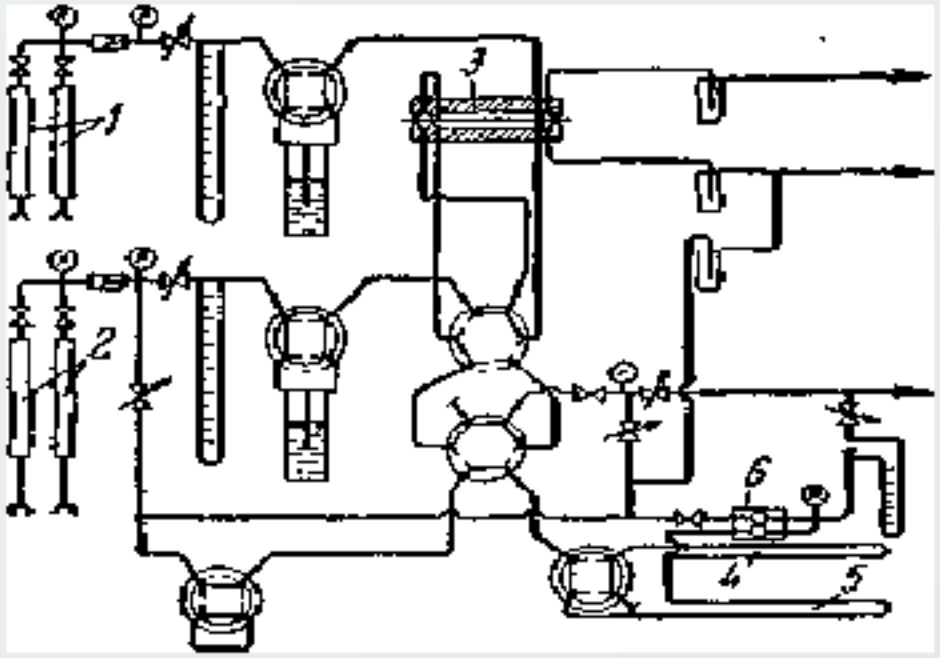
График изменения давления в нижней камере в зависимости от времени.



Среднее значение газопроницаемости образца ленты ПЭТФ к CO_2: **$G = 9{,}01*10^{-13}$,Баррер**

Перспективы развития методики

- Количество газа, прошедшее через пленку в измерительную камеру диффузионной ячейки, можно определить с помощью хроматографа двумя способами Сущность первого способа состоит в том, что пробы, прошедшие через пленку, отбирают шприцем из измерительной камеры диффузионной ячейки, а затем вводится в хроматограф для качественного и количественного анализа
- Количество прошедшего через пленку газа можно найти путем периодической промывки измерительной камеры диффузионной ячейки потоком газа-носителя через определенные промежутки времени Продолжительность промывания (отбора пробы) зависит от скорости газа-носителя, объема и формы измерительной камеры. Анализ смеси газов в этом случае записывается на хроматографе в виде дифференциальной кривой, каждый пик которой соответствует определенному газу.
- Газовая хроматография может быть использована для определения проницаемости одной пленки одновременно несколькими газами с последующим разделением газов на хроматографической колонке, а также при определении проницаемости пленок сухими и влажными газами в широком интервале температур и значений коэффициентов проницаемости. По сравнению с другими методами определения проницаемости полимерных материалов метод газовой хроматографии позволяет повысить точность и чувствительность измерения.





Выводы

1. Как мы видим существует огромное количество методов определения газопроницаемости, каждый из которых обладает своей спецификой в плане достоинств/недостатков и аппаратного оформления. На наш взгляд из всех перечисленных методов наиболее перспективными и применимыми в современных лабораториях являются манометрический (простота аппаратного оформления) и хроматографический (высокая точность и скорость определения).

2. Накопление статистических данных по газопроницаемости полимерных материалов используемых в качестве внутреннего слоя ГПАТ позволит определить оптимальный режим технологического процесса производства для достижения низкого значения газопроницаемости готового изделия. Что приведет к минимизации рисков и продлению сроков эксплуатации ГПАТ.

Спасибо за внимание!

Моделирование процесса выпадения асфальтосмолопарафиновых веществ на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб с покрытием и без на лабораторном циркуляционном стенде

Докладчик:
Директор по развитию, к.х.н.
Веревкин А.Г.

Применение покрытий для защиты от отложений АСПО

Образование АСПО на стенках труб НКТ является актуальной проблемой .
Это одно из основных осложнений при добыче нефти

Использование внутренних покрытий труб НКТ позволяют реализовать:
•Защита от отложения АСПО
•Защита труб от коррозии

Проведенные ОПИ показали, что не все покрытия одинаково эффективно проявляют себя на различных объектах добычи нефти.

ТРЕБУЕТСЯ МЕТОДИКА ДЛЯ ПОДБОРА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КАЖДОГО КОНКРЕТНОГО ОБЪЕКТА НЕФТЕДОБЫЧИ

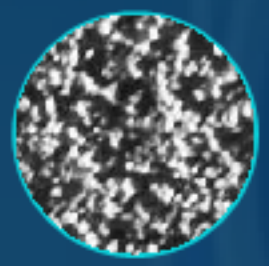
Данные ОПИ

Предприятие	Покрытие	Эффективность
ЛУКОЙЛ-Коми	ЭСБТ-9 (эмалевое)	После эксплуатации НКТ на сложных месторождениях ООО "ЛУКОЙЛ - Коми" в течение 400 суток и более, удовлетворительная средняя наработка НКТ с покрытием ЭСБТ-9 составила 416-750 суток, НКТ без покрытия 91-187 суток
ОАО «Варьеганнефтегаз»	Алмаз	Средняя наработка составила 1021 суток, отмечено снижение влияния агрессивных компонентов пластовой жидкости на НКТ, снижение влияния механических примесей пластовой жидкости на НКТ, отсутствие признаков отслоения покрытия от поверхности НКТ «чулком», сохранение проходного сечения труб НКТ при длительной эксплуатации – стойкость к отложениям АСПО
ОАО «Варьеганнефтегаз»	PolyPlex-P (полиуретан)	Покрытие имеет слабую адгезионную прочность, при эксплуатации внутреннее покрытие отслаивается
«Газпромнефть-Восток»	Major pack MPAG96	Наработка НКТ с защитным покрытием составила 205 суток. На рабочей поверхности труб с покрытием никаких механических повреждений выявлено не было. Покрытие не утратило блеска и гладкости, следов коррозии, отложений АСПО или разрушения покрытия не обнаружено. Результат ОПИ признан положительным
«Лукойл-Западная Сибирь»	Major pack MPAG96	До применения защитного покрытия средняя наработка оборудования на отказ (СНО) не превышала 118-280 суток, после нанесения покрытия средний МРП увеличился до 1350-1400 суток.

Свойства защитных покрытий



Адгезия / Напряжение сдвига



Гладкостность/Шероховатость



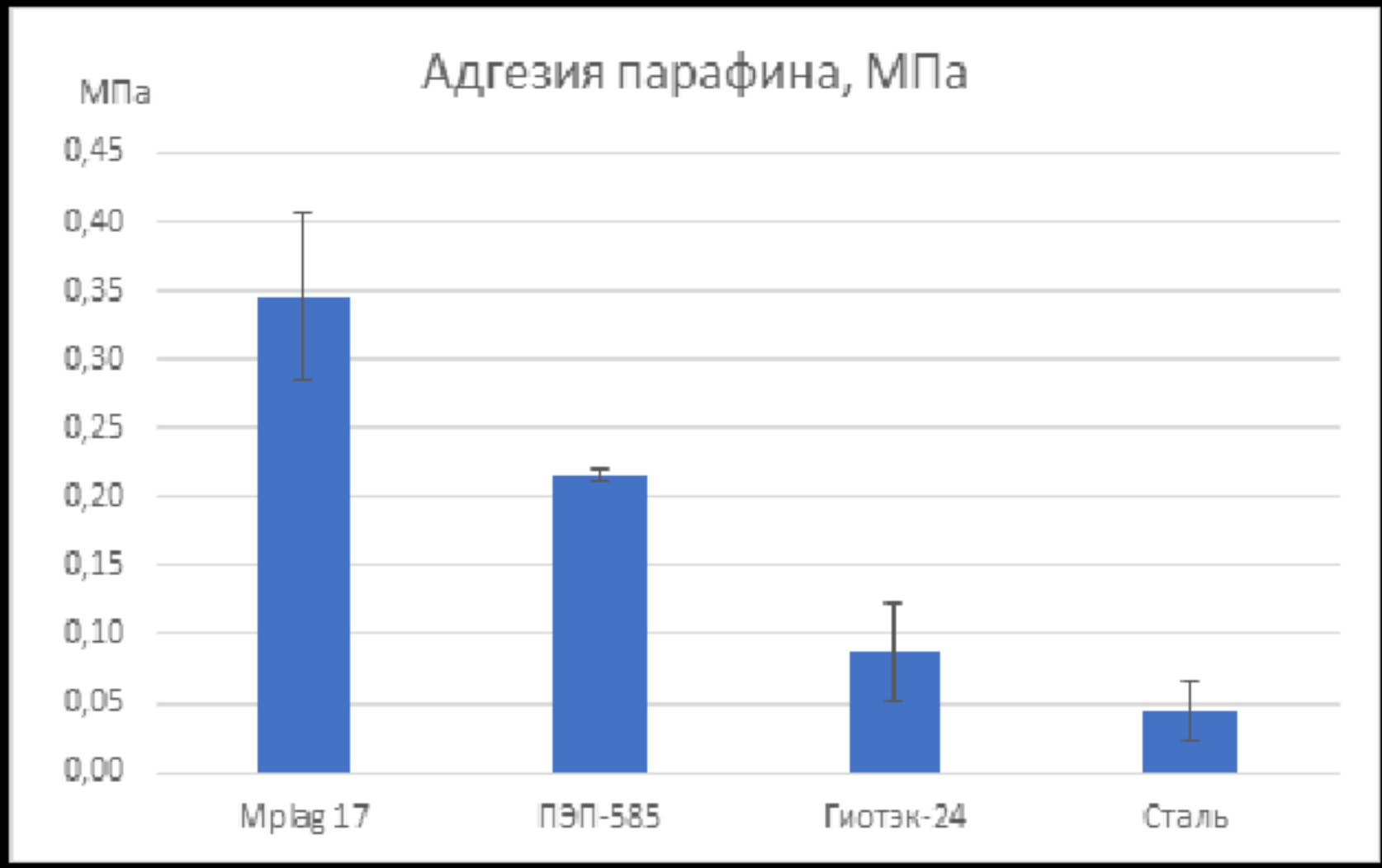
Гидрофильность/Гидрофобность



Теплоизоляционные свойства

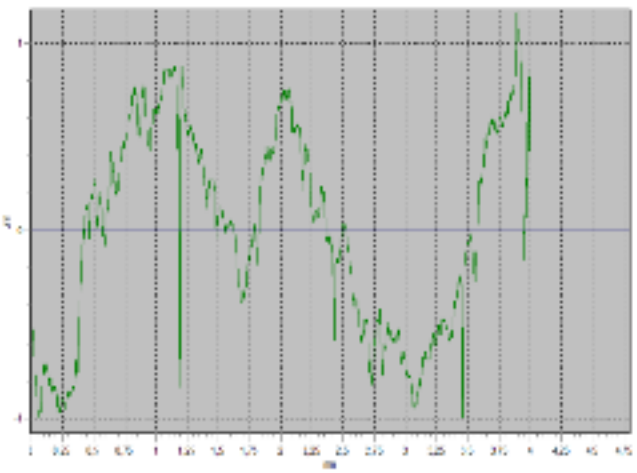
Адгезия / Напряжение сдвига

Результаты, полученные на «Разрывной машине»

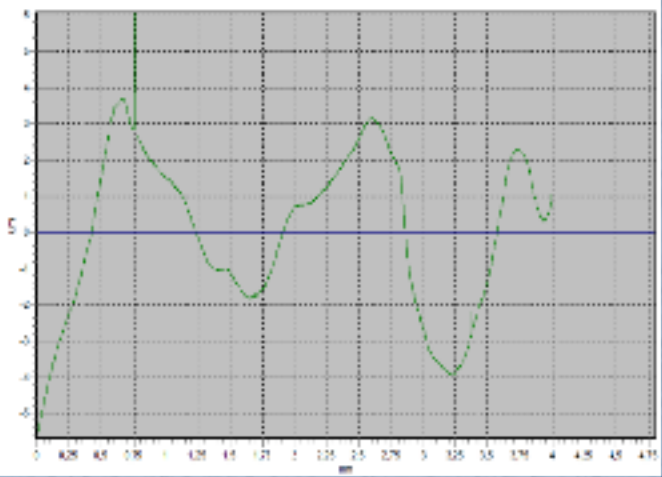


Гладкость / Шероховатость

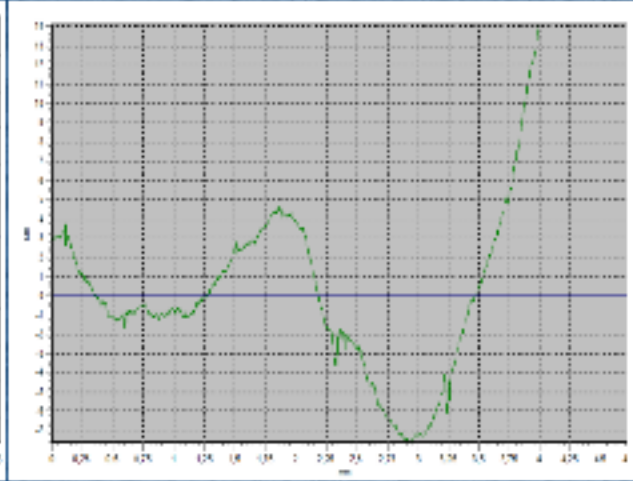
Тип образца	ПЭП-585	Mplag-17	Гиотэк-24	Сталь
Ra, мкм	0,26	0,20	0,05	2,28



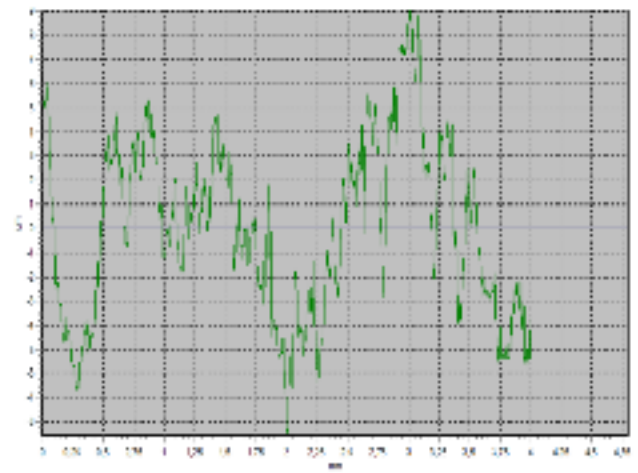
ПЭП-585



ГИОТЭК

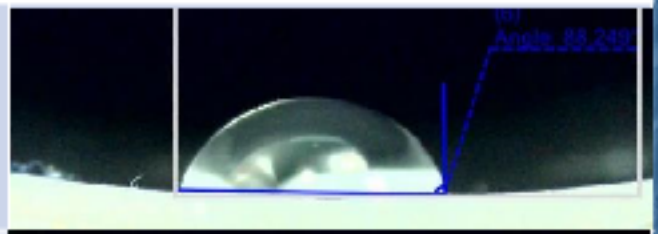
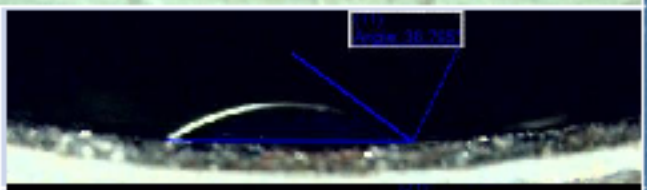
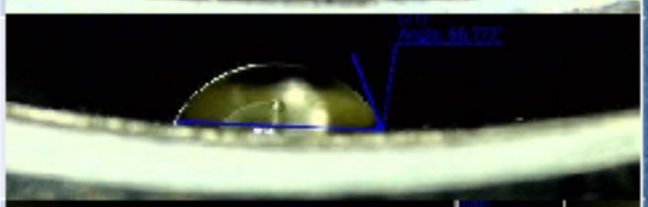
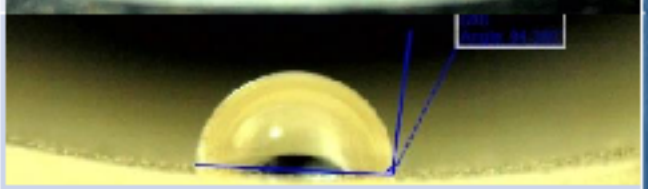
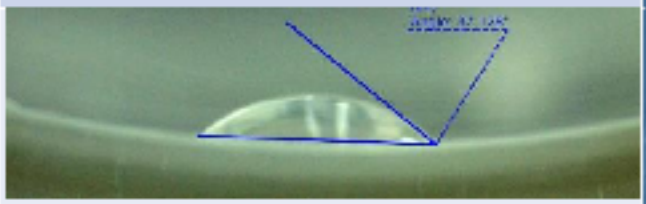
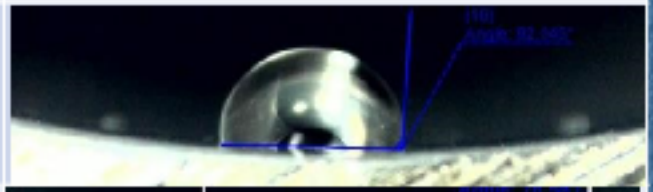


MPLAG17



Сталь

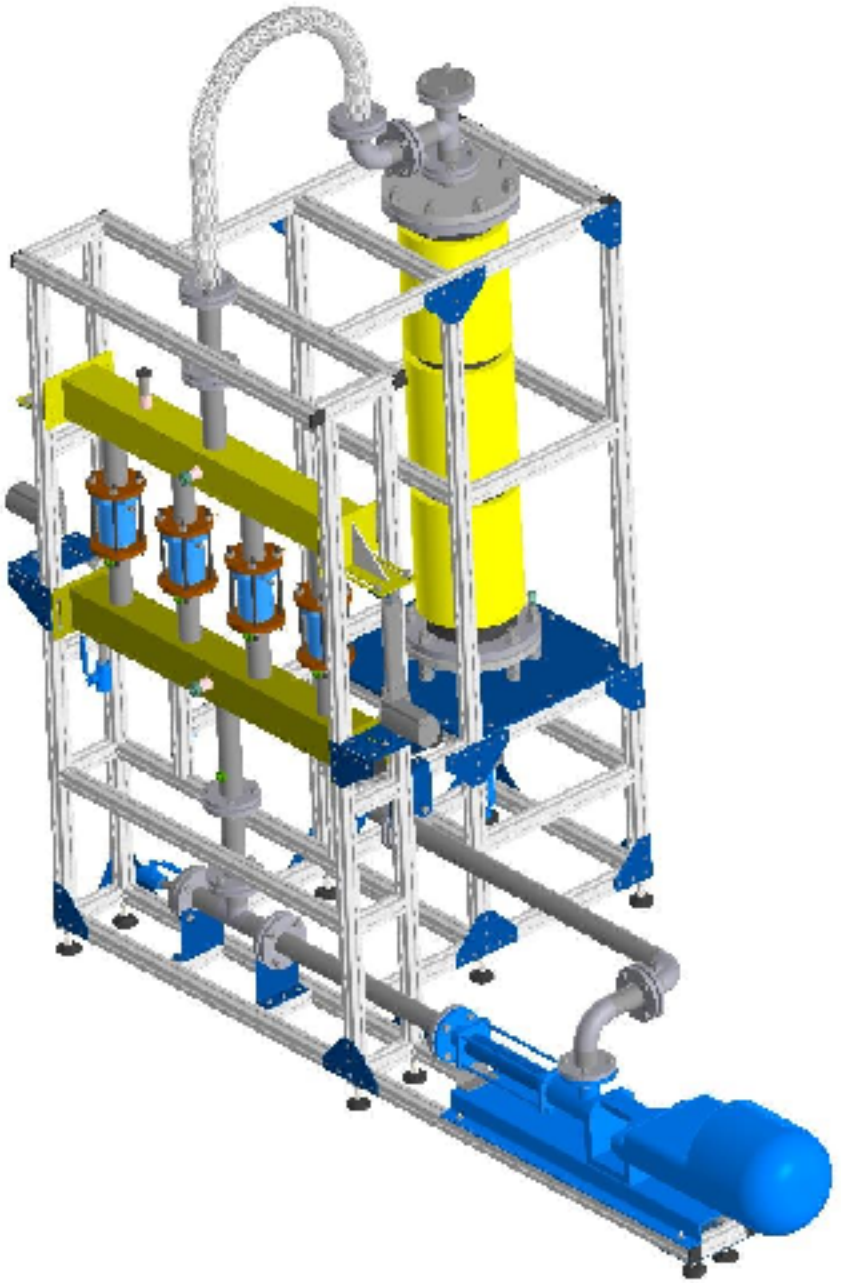
Гидрофильность/Гидрофобность

Покрытие	Краевой угол смачивания	Фотография
ПЭП-585	88,249°	
MPLAG	62,914°	
ГИОТЭК	36,795°	
ТС-3000	66,777°	
Полиамид	94,380°	
Стекло	37,128°	
Сталь (гладкая)	92,045°	
Сталь (шероховатая)	76,587°	

Теплоизоляционные свойства



Испытательный циркуляционный стенд

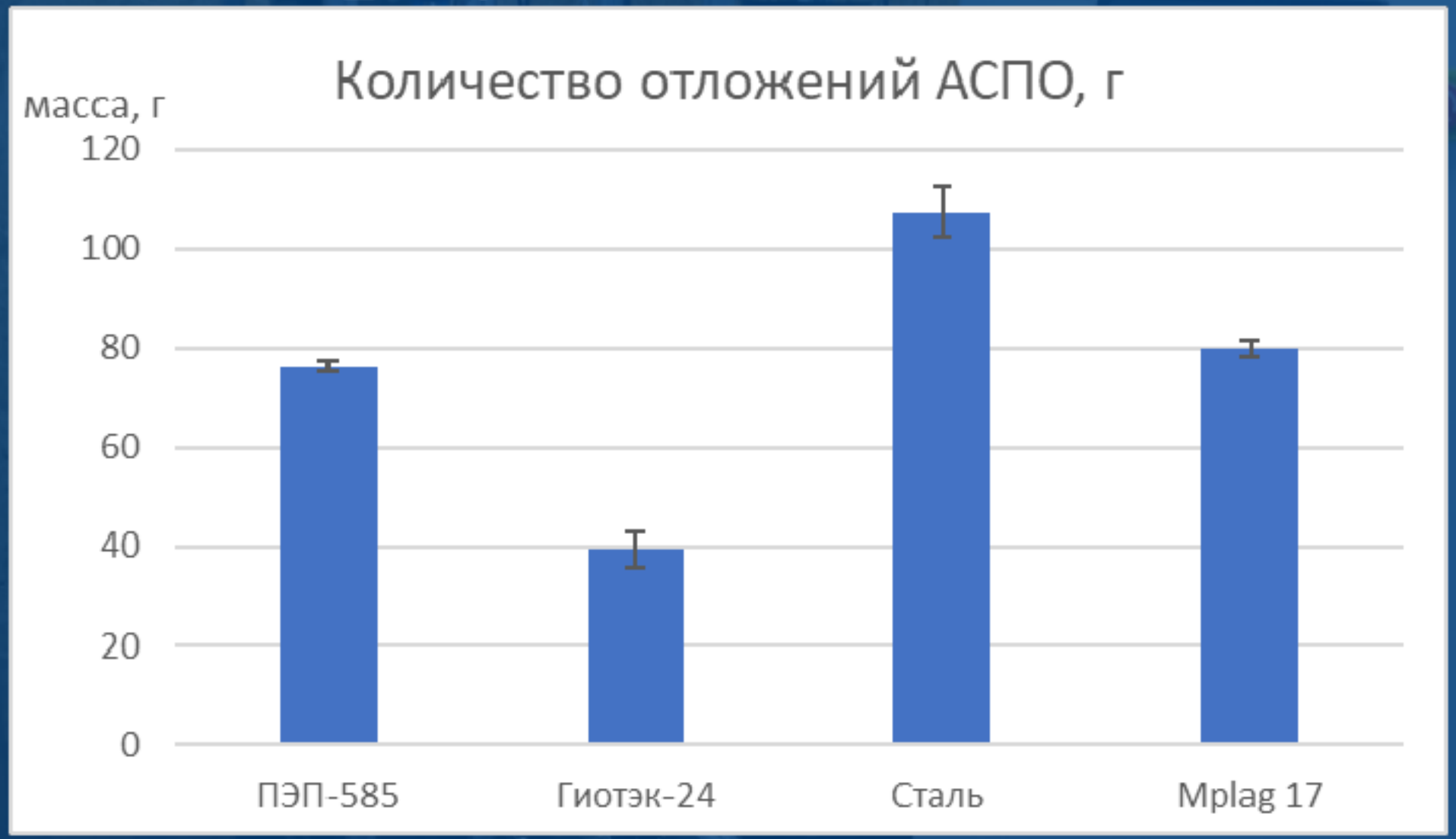




Испытательный циркуляционный стенд



Полученные результаты на испытательном циркуляционном стенде





НПЦ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ