СТИМ

IX НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Трубки витые для теплообменных аппаратов из углеродистых и жаропрочных сталей.

ПОТЫЛИЦЫН МАКСИМ – ДИРЕКТОР ООО «СТИМ»

Г. САМАРА, 3-4 СЕНТЯБРЯ 2025 Г.



СТИМ

ООО «СТИМ» образована в 2019 году с целью создания на территории России производства технологии витых трубок для кожухотрубных теплообменных аппаратов.

ООО «СТИМ» - клиентоориентированная компания, внимательно относящаяся к потребностям Заказчиков на любом из этапов работы.

- Команда СТИМ обладает высокими компетенциями и большим опытом в области расчета и проектирования теплообменного оборудования
- Собственные технологии и собственное производство витых трубок и проволочных интенсификаторов в г. Новосибирске
- Исследовательская деятельность ведется в области: теплогидравлики / свойств материалов / освоение новых продуктов / разработка ПО

Наши цели:

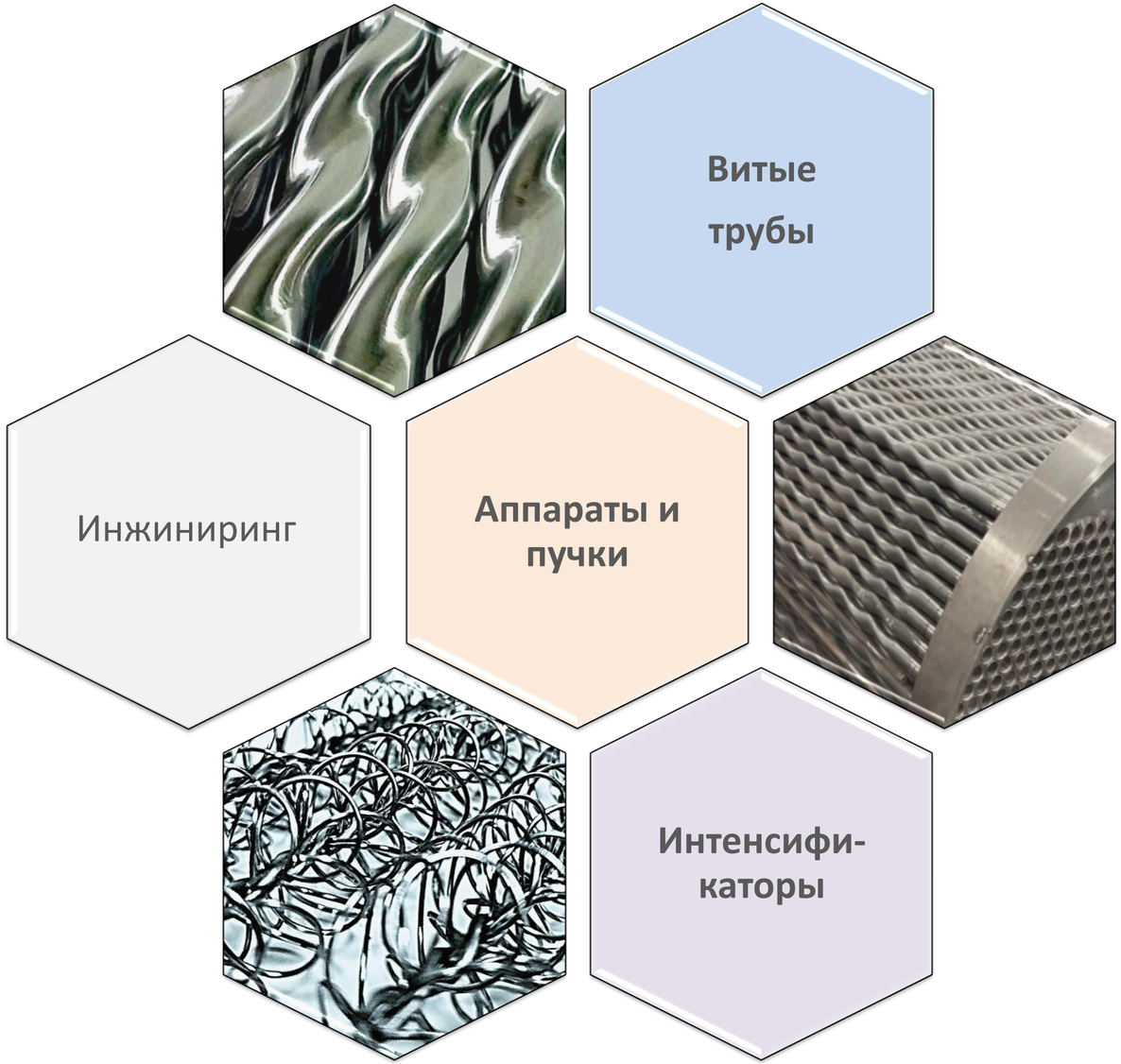
- ❖ Развитие и масштабирование технологии;
- ❖ Создание технологичного и эффективного производства;
- ❖ Разработка новых перспективных технологий и продуктов;
- ❖ Совершенствование внутренних процессов с целью повышения их эффективности;
- ❖ Сплоченная и высокомотивированная команда.

Наши ценности:

I. Доверие
II. Ответственность
III. Экспертность
IV. Развитие
V. Созидание
VI. Идти на встречу друг другу



Технологии СТИМ



Наша миссия:

- ✓ Сохранение ресурсов
- ✓ Возврат инвестиций
- ✓ Шаг к декарбонизации

СТИМ

Преимущества технологий СТИМ

Эффективность:

i. Высокая теплопередача.
ii. Компактность
iii. Низкий перепад давления.
iv. Стойкость к отложениям.
v. Увеличенный цикл непрерывной работы.
vi. Широкий спектр применений.



Экономия:

1) Снижение CAPEX – для новых аппаратов.
2) Доп. маржа (за счет эффективности и доп. выработки).
3) Эффект от модернизации аппаратов
4) Снижение затрат на обслуживание
5) Доп. маржа от увеличения времени устойчивой работы

Надежность:

a. Исключены вибрации.
b. Снижена коррозия в следствии отложений.
c. Сокращение периодичности обслуживания
d. Классическое обслуживание и диагностика

Потребители:

ЛУКОЙЛ НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ

РОСНЕФТЬ

ГАЗПРОМ НЕФТЬ

TANECO

BLACK SEA PETROLEUM

ИНК ИРКУТСКАЯ НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ

СЛАВЯНСК ЭКО

КНГК-ИНПЗ нефтепереработка нефтехимия

СТИМ

Загрузка сегодня

Отгрузки пучков	Трубы витые для 8 пучков и 4-х теплообменников) – 50 тонн	Ввод в эксплуатацию трубных пучков (36 шт. до конца года)









СТИМ

Примеры внедрения технологии



Результат работы в рамках одного реального НПЗ
(5 позиций / 14 единиц)

Снижение потребление топлива в печи (мазута):

на **16 047** тонн в год

или

Снижение эмиссии CO_2 :

на **34 955** тонн в год





СТИМ

Коррозионные исследования витой трубы из углеродистой и жаропрочных сталей



Исследования витой трубы

Цели исследования	Причины исследования	Методы исследования
1. Оценка влияния профилирования на стойкость к общей химической коррозии для стали Ст20	- Повышение твердости (+10…15%) к исходной заготовке	Проверка на стойкость к СКРН, метод С
2. Оценка влияния профилирования на стойкость к общей химической коррозии для стали 15Х5М	- Повышение твердости (+5…10%) к исходной заготовке	Проверка на стойкость к СКРН, метод С
3. Оценка влияния профилирования на стойкость к высокотемпературной водородной коррозии (ВТВК) для стали 15Х5М	- Повышение твердости	Измерение релаксации упругих деформаций методом рентгенодифракционного анализа

Примечания:

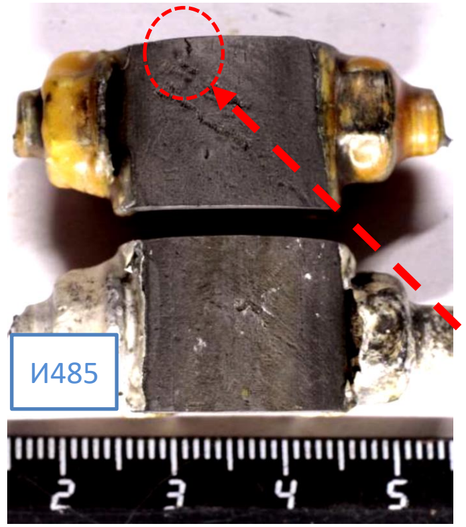
1. Нет методики проверки витых труб на СКРН – делалась проверка по NACE TM0177
2. Международные стандарты не регламентируют подходы к работе с витой трубы.

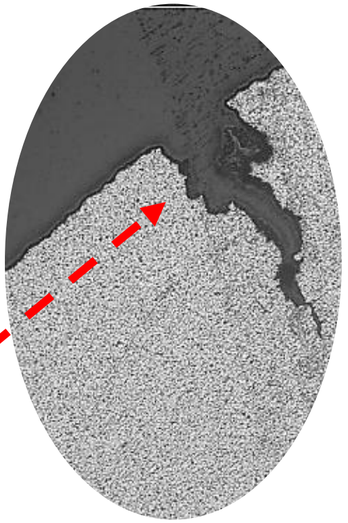
1. Результаты исследования: Ст20 на стойкость к СКРН

Сталь Ст20, заготовка 20х2 мм по ГОСТ 550 - 2020			
Образец	Объект испытаний	Микротвердость HV	Наличие трещин СКРН
Пр483	ТВТ до ТО	168-189	Нет
Пр484	ТВТ после ТО (высокий отпуск)	140-161	Нет
Пр485	Исходная заготовка (круглая труба)	143-166	Есть на одном образце из двух Длина 1 мм Глубина – 0,9 мм
Пороговое напряжение от предела текучести		72%	
Выдержка:		720 часов	
ВЫВОД: 1. Стойкость к СКРН подтверждена			





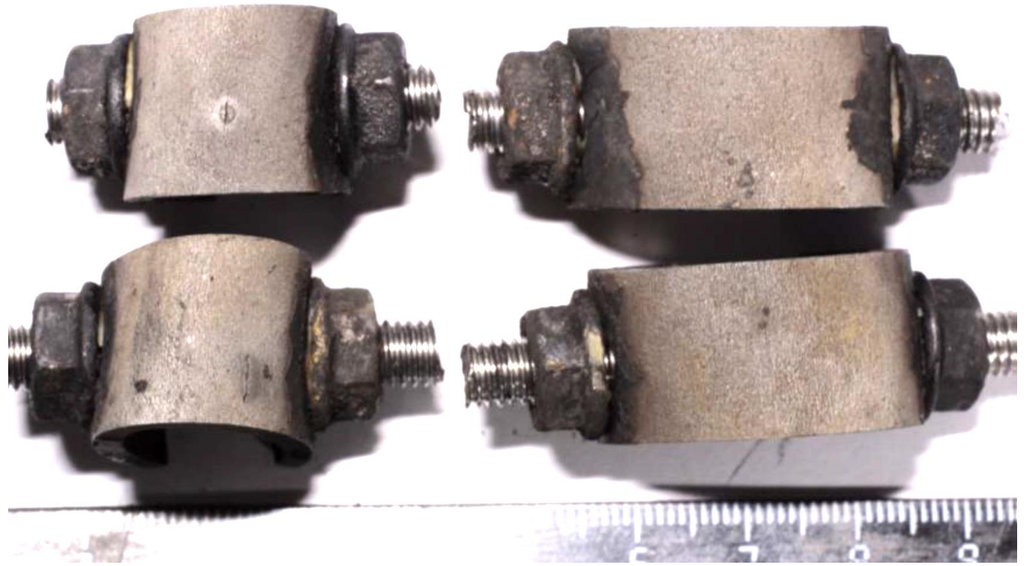


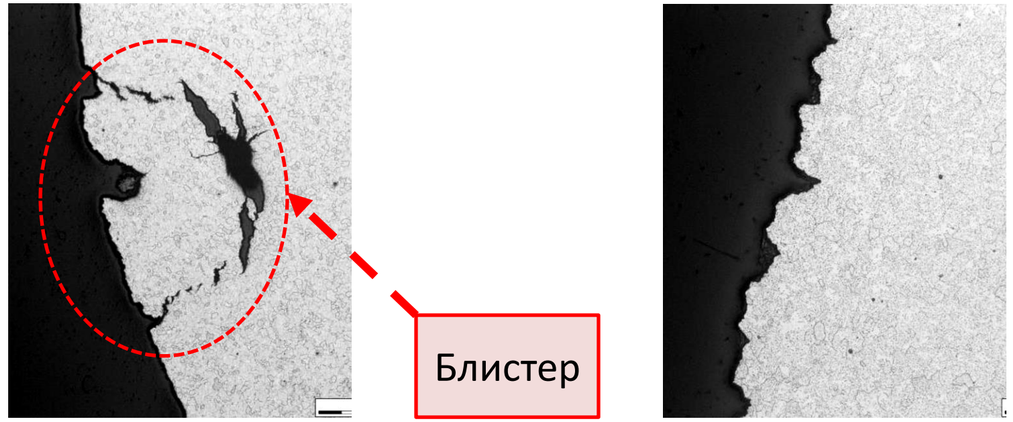


Трещина СКРН

2. Результаты исследования: 15Х5М на стойкость к СКРН

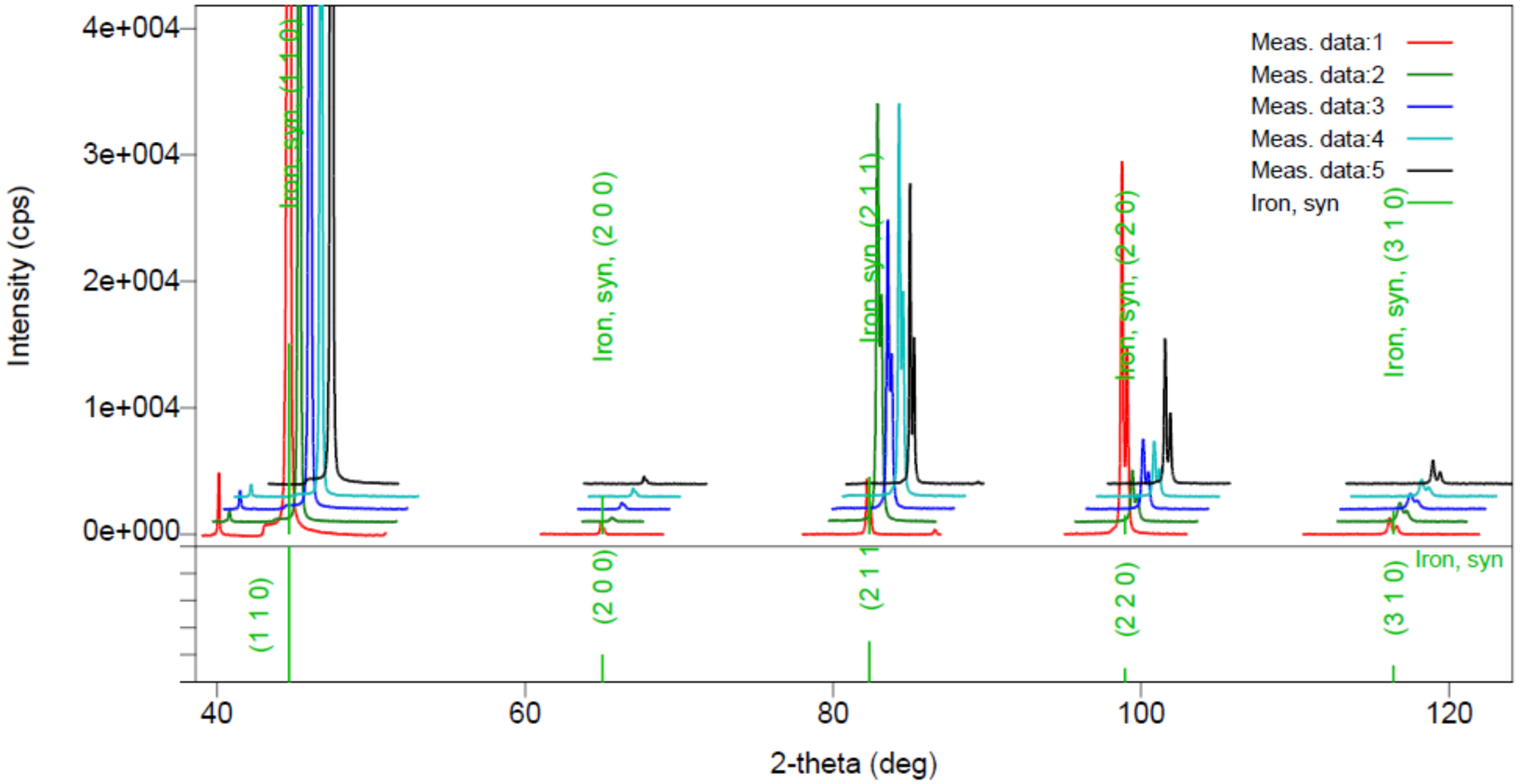
Сталь 15Х5М, заготовка 25х2,5 мм по ГОСТ 550 - 2020		
Образец	Объект испытаний	Наличие трещин СКРН
1	ТВТ после ТО (высокий отпуск)	Нет (обнаружены единичные блистеринги)
2		Нет (обнаружены единичные блистеринги)
3		Нет
4		Нет
Пороговое напряжение от предела текучести		80%
Выдержка:		720 часов
ВЫВОД: 1. Стойкость к СКРН подтверждена		





3. Результаты исследования: 15Х5М на стойкость к ВТВК

Микроискажения кристаллической решетки



Образец		ε, %
1	Круглый	0.06
2	Овальный	0.10
3	2ч 380 °С	0.10
4	2ч 530 °С	0.08
5	2ч 760 °С	0.03

ВЫВОД: Наибольшие микроискажения наблюдаются в образце №2, после холодной деформации. Отпуск при 760 оС приводит к уменьшению значений микроискажений до меньших, чем в исходном (круглом) состоянии.

СТИМ

Дополнительные исследования

Проверка возможности применения ТВТ в основных процессах без проведения термической обработки

№	Среды:	Марка стали	Возможность применения в средах витых труб без термической обработки
1	Конденсация углеводородов / вода	Ст20	Возможно
2	Бензин (прямогонный) / бензин очищенный	Ст20	Возможно
3	Нефть до ЭЛОУ / тяжелый газойль	Ст20	Возможно
4	Топливный газ	Ст20	Возможно
5	Нефть обессоленая /мазут (гудрон)	15Х5М	Возможно
6	Стабильный гидрогенизат / Нестабильный гидрогенизат	15Х5М	Возможно

ВЫВОДЫ:

1. Для указанных сред термическая обработка труб не требуется;

Сравнительный анализ материала производства РФ и КНР

Материал РФ (сталь 15Х5М)

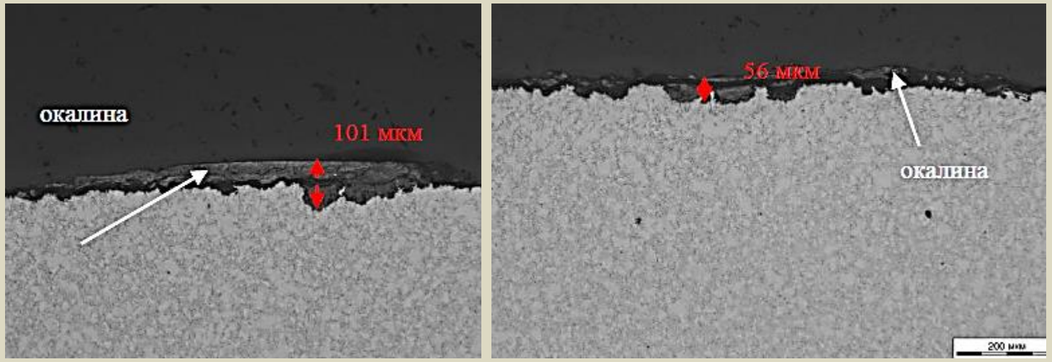
Показатель	Соответствует (да \ нет)
Химический состав	Да
Механические свойства	Да
Качество поверхности	Да
ВЫВОДЫ: 1. Труба соответствует требования ГОСТ 550-2020	

Материал КНР (сталь 15Х5М)

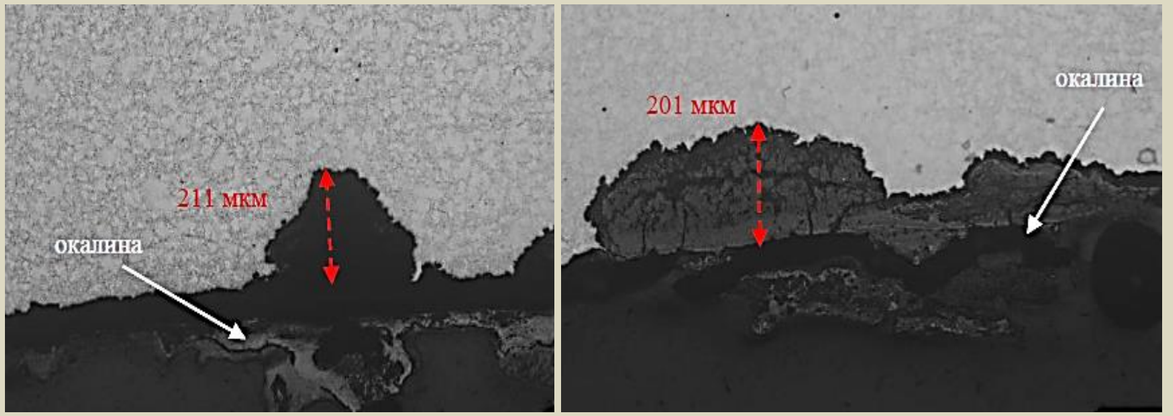
Показатель	Соответствует (да \ нет)
Химический состав	Да
Механические свойства	Да
Качество поверхности	**НЕТ**
ВЫВОДЫ: 1. Труба не соответствует требования ГОСТ 550-2020, глубина дефектов более 8% толщины. Дефекты: раковины, окалина, трещины, повышенные загрязнения	

Фото трубы КНР (сталь 15Х5М)

Наружная поверхность (окалина, глубина – до 101 мкм)



Внутренняя поверхность (окалина, глубина – до 215 мкм)



Выводы по результатам исследований

1. Профилирование труб в витой профиль из стали Ст20 и 15Х5М не влияет на коррозионную стойкость, что подтверждено испытаниями на стойкость к СКРН.
2. Механические свойства при профилировании изменяются, прежде всего повышается твердость. Если твердость исходной заготовки близка к предельному значению, твердость витой трубы будет выше допустимой.
3. Для снижения твердости применяется термическая обработка труб, которая возвращает твердость в нормативные значения.
4. Изучена стойкость витой трубы из стали 15Х5М в условиях ВТВК. Для снижения рисков образования ВТВК применяется термическая обработка, которая приводит уменьшению значений микроискажений.

СТИМ

- **Применение витых трубок** — это **СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ И ИНВЕСТИЦИЯ В БЕСПЕРЕБОЙНОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА**, которая окупается за счет снижения эксплуатационных расходов и увеличение выработки продукции.



Всегда с вами!!!

e-mail: office@stim-he.ru

сайт: https://stim-he.ru/

ООО НАУЧНО-КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА « СБК »
РФ, 152912, г. Рыбинск, Ярославской обл., ул. Зои Космодемьянской, 33-33
тел./факс: (4855) 216-504, +7 9108137542, E-mail: bukaty_sa@mail.ru

Автоматизированная система определения остаточных напряжений АСБ-1 в ответственных деталях нефтегазодобывающей промышленности

Научный руководитель
д-р техн. наук, профессор Букатый С.А.

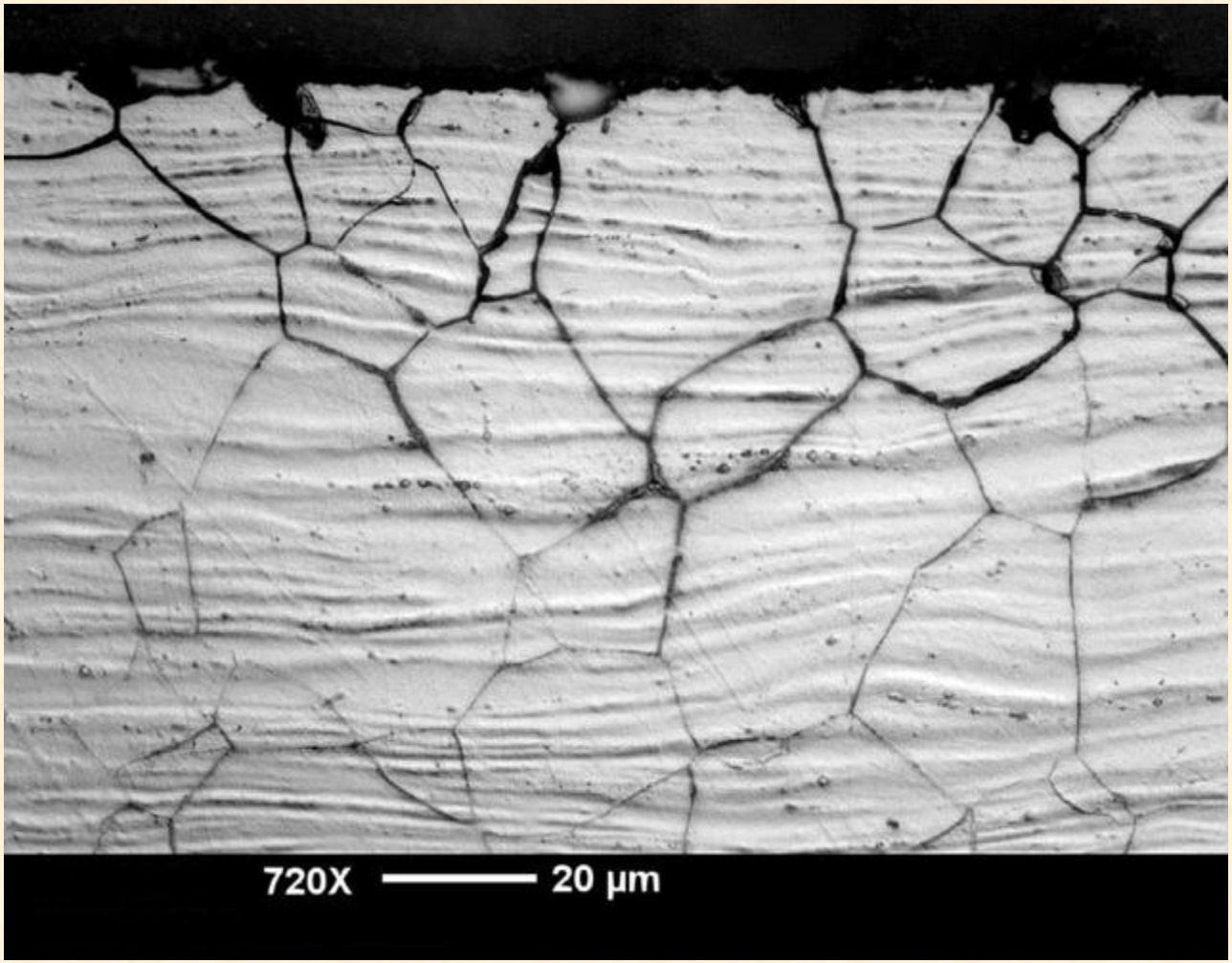
Факторы, влияющие на знак и величину остаточных напряжений

- Режимы резания
- Режимы шлифования
- Режимы поверхностной обработки (пескоструйная, упрочняющая)
- Термическая обработка
- Интенсивность нанесения покрытий

Остаточные напряжения перед операцией «Хромирование»



Трещины в гальваническом покрытии вследствие действия растягивающих остаточных напряжений



Разрушение покрытия вследствие действия растягивающих остаточных напряжений в покрытии



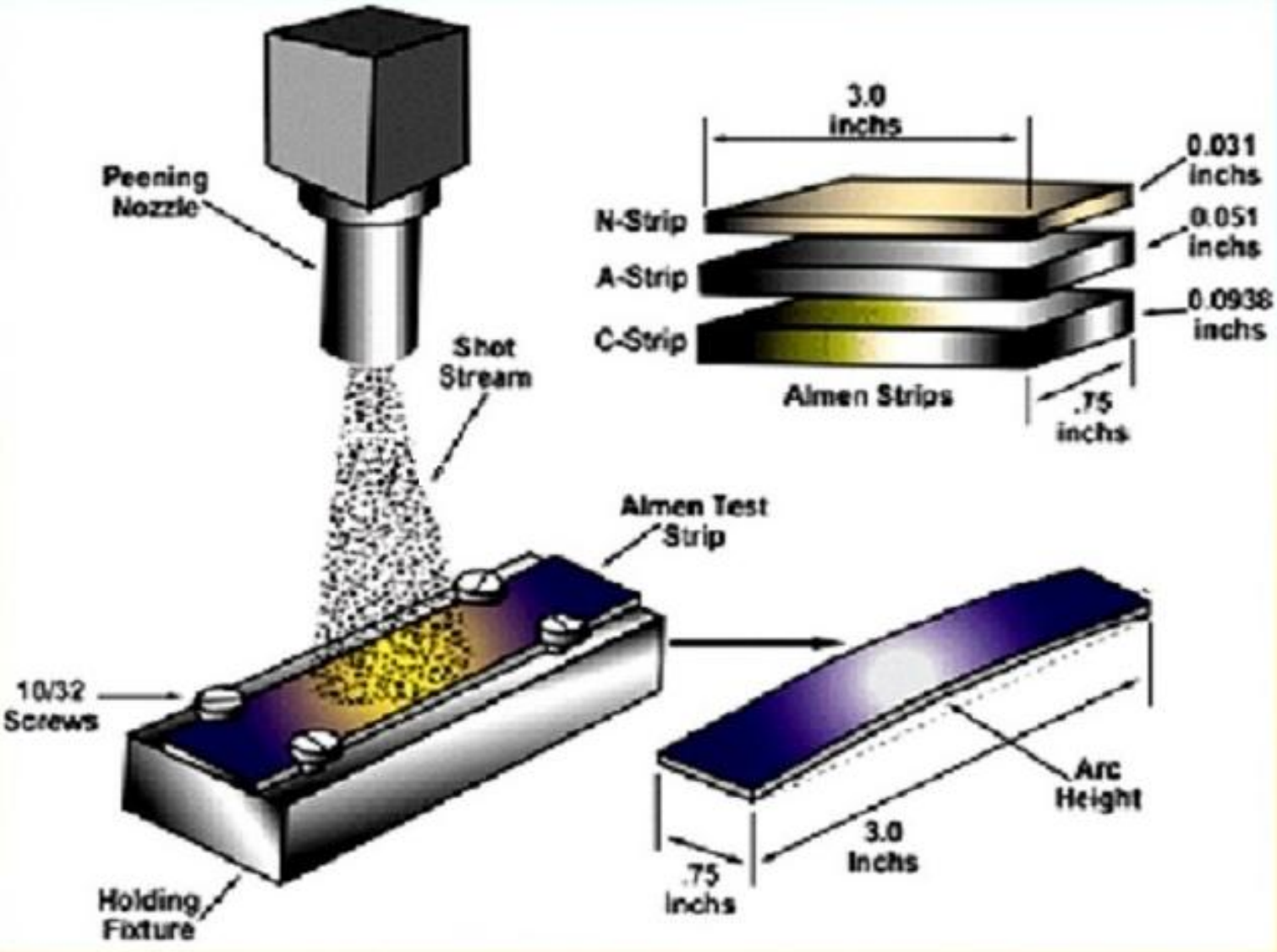
Деталь №2 (изготовлена по базовому ТП)

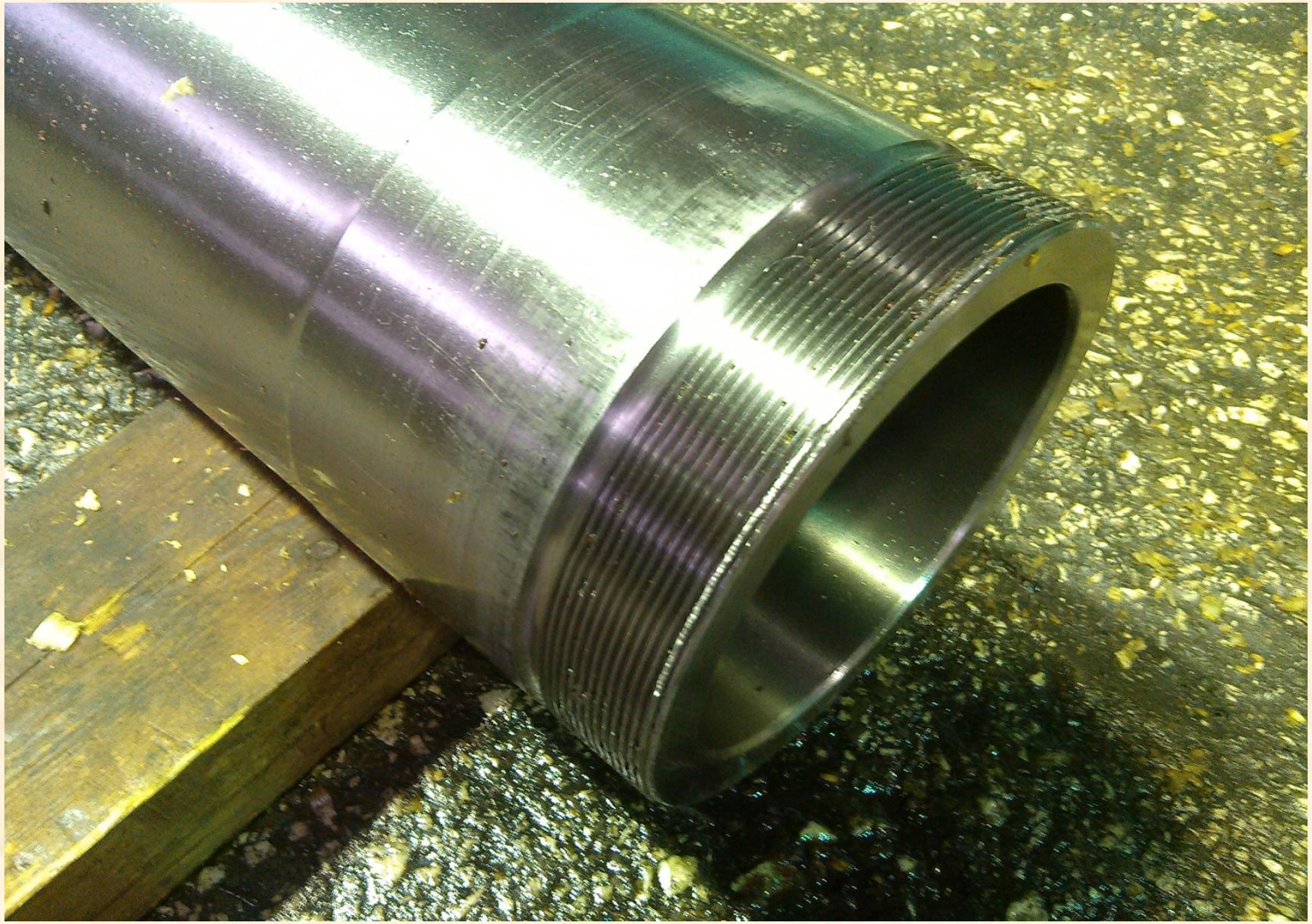
Негерметичность хромового покрытия



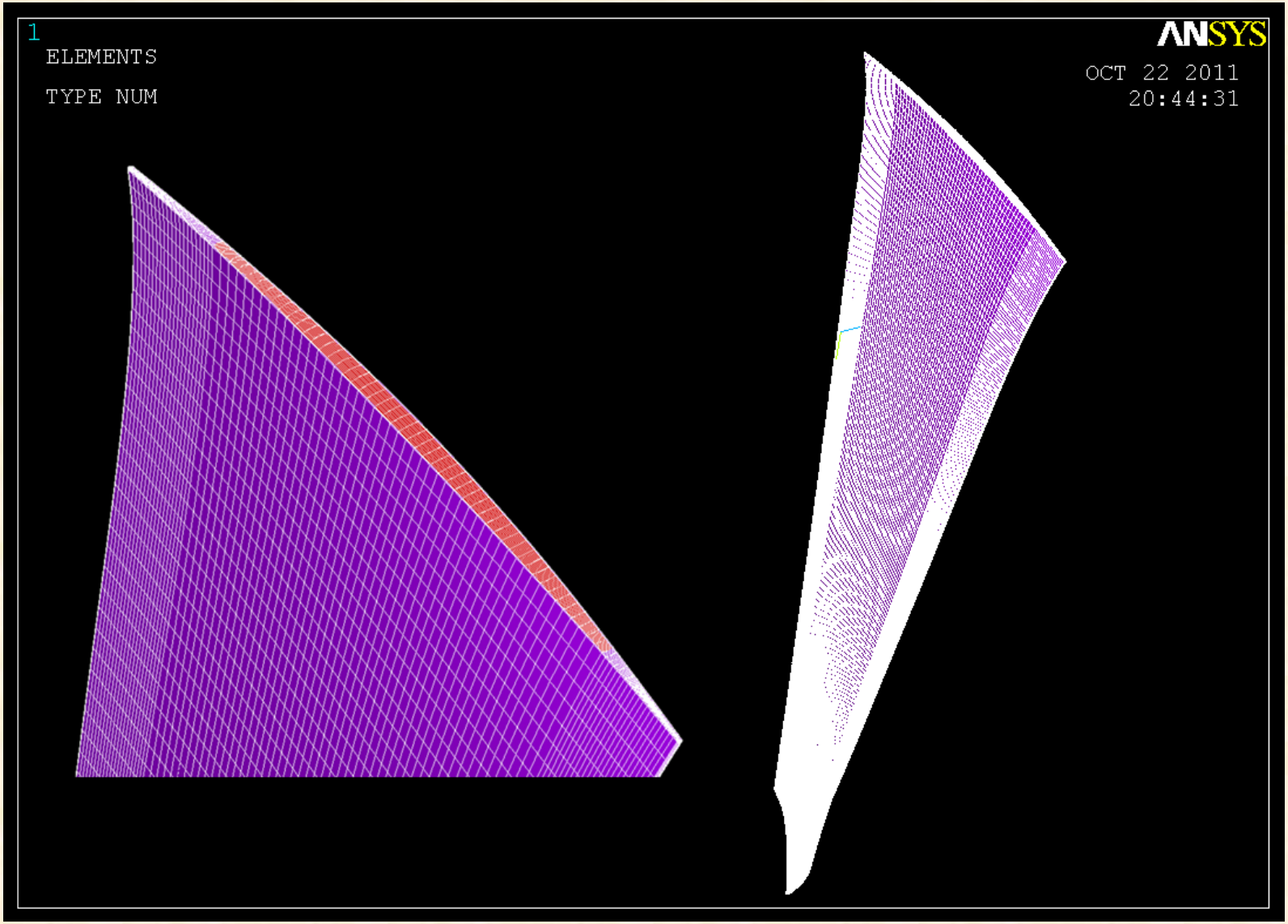
Утечки азота через пористую структуру хрома из полости оправки с давлением азота 150 Ат.

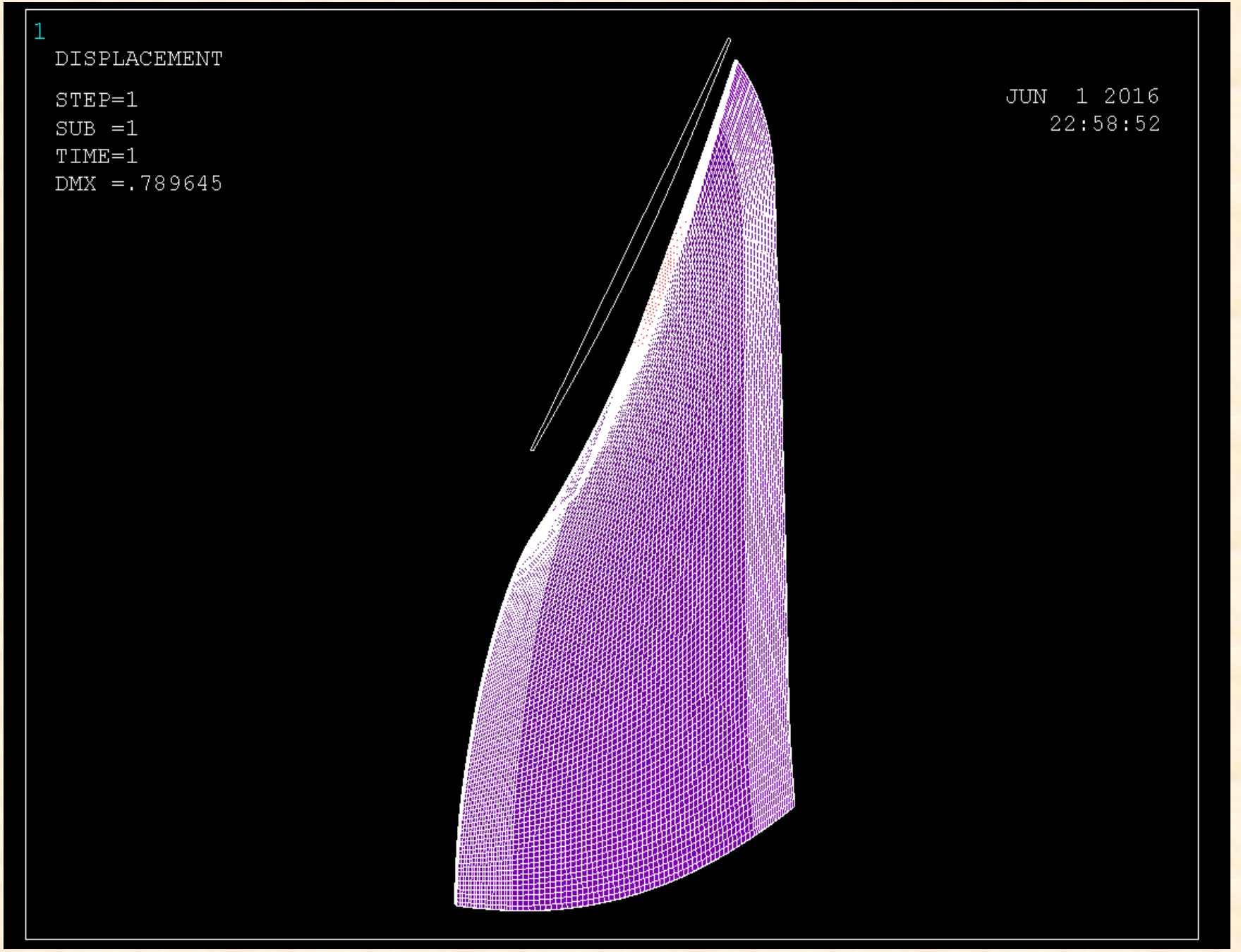
Упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (микрошариками)





Увеличение диаметра


1
ELEMENTS
TYPE NUM
ANSYS
OCT 22 2011
20:44:31


1
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
TIME=1
DMX =.789645
JUN 1 2016
22:58:52

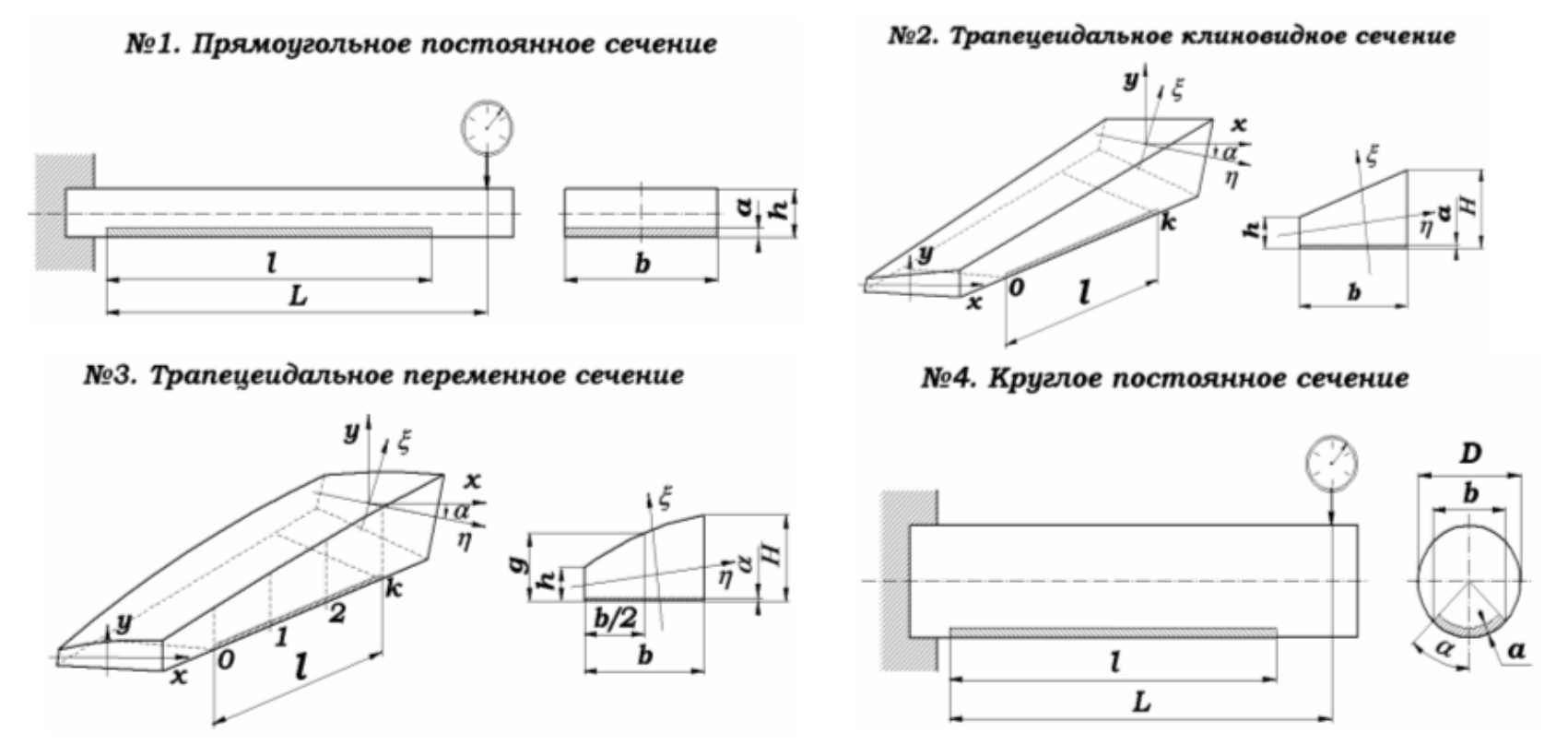
Расчёты на прочность с учётом остаточных напряжений

Цель работы: учёт остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое труб, штанг и прочих деталей, в процессе их изготовления и эксплуатации.

Автоматизированная система определения остаточных напряжений АСБ-1



Типы образцов для определения остаточных напряжений



Определение остаточных напряжений на установке АСБ-1

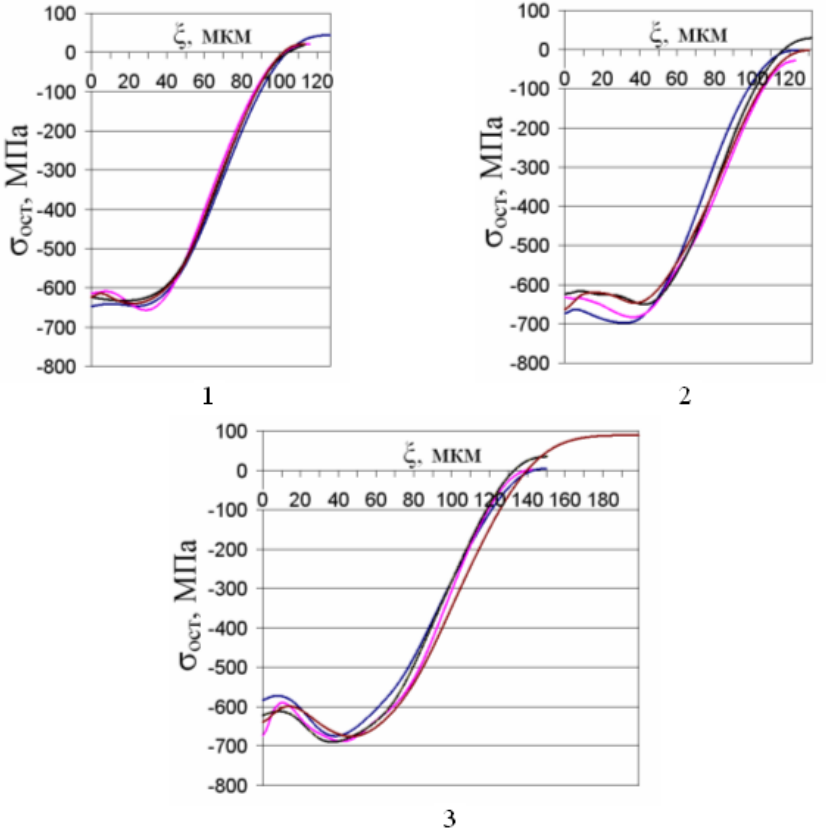




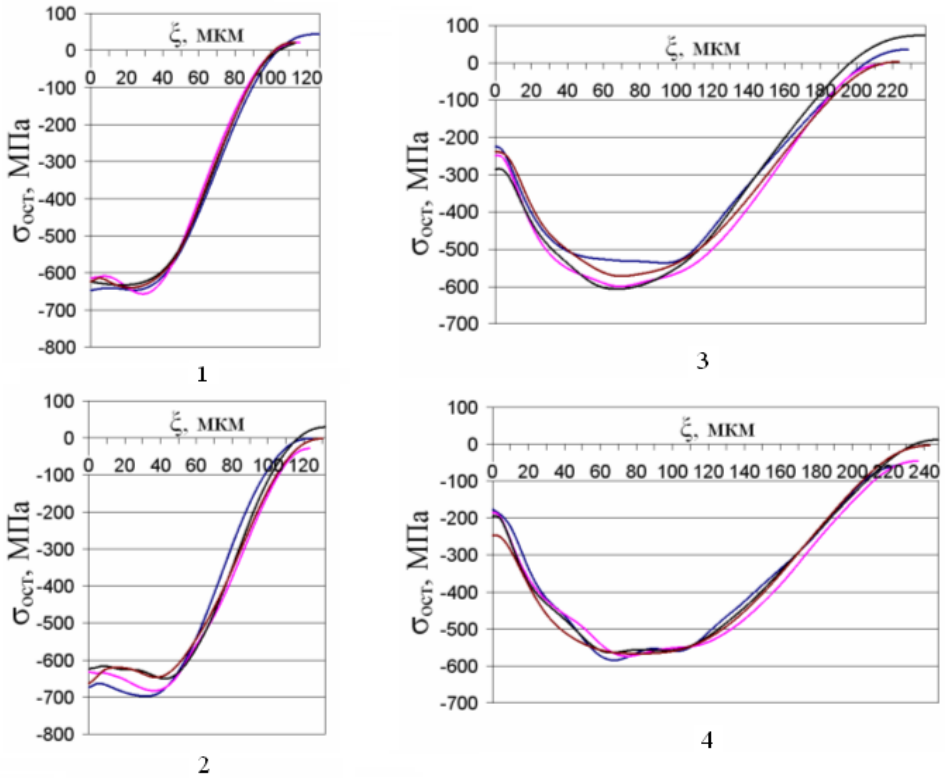
Образцы секторного сечения

для определения остаточных напряжений

Определение Остаточных Напряжений системой АСБ-1

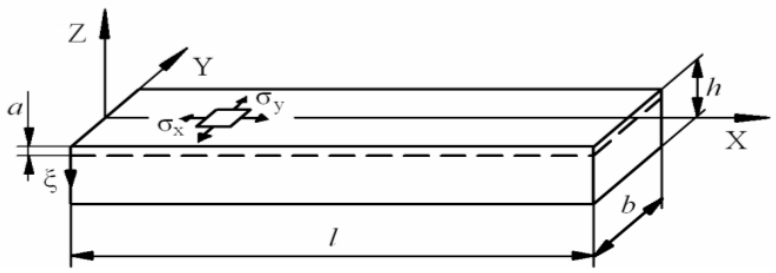


Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стеклянными микрошариками Ø250 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении $p = 0.2$ МПа; 2 – при давлении $p = 0.3$ МПа;
3 – при давлении $p = 0.4$ МПа.



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.

Энергетический метод моделирования технологических остаточных напряжений и деформаций в поверхностном слое деталей



Ориентация системы координат и направления остаточных напряжений

$$U_{д} = \Delta U_{a} = f(U_{a})$$

Uд – энергия упругой деформации деталей

ΔUa – изменение энергии поверхностного слоя a

В общем случае:

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

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

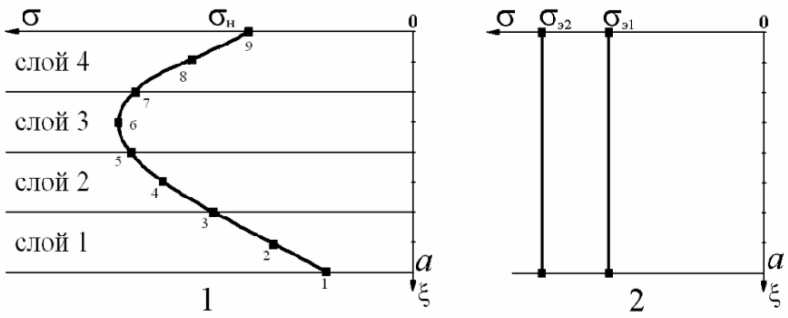
В случае плоского напряженного состояния:

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

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

Моделирование технологических остаточных напряжений и деформаций на основе метода конечных элементов в системе ANSYS

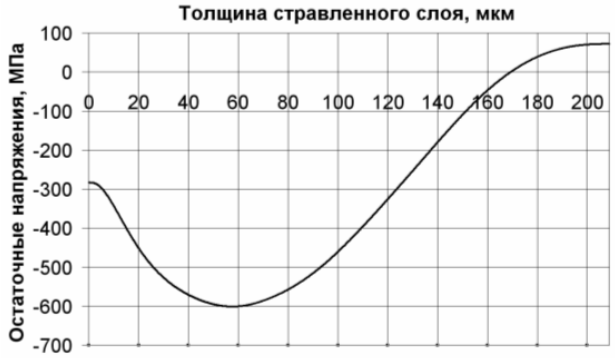
Моделирование упрочненного поверхностного слоя



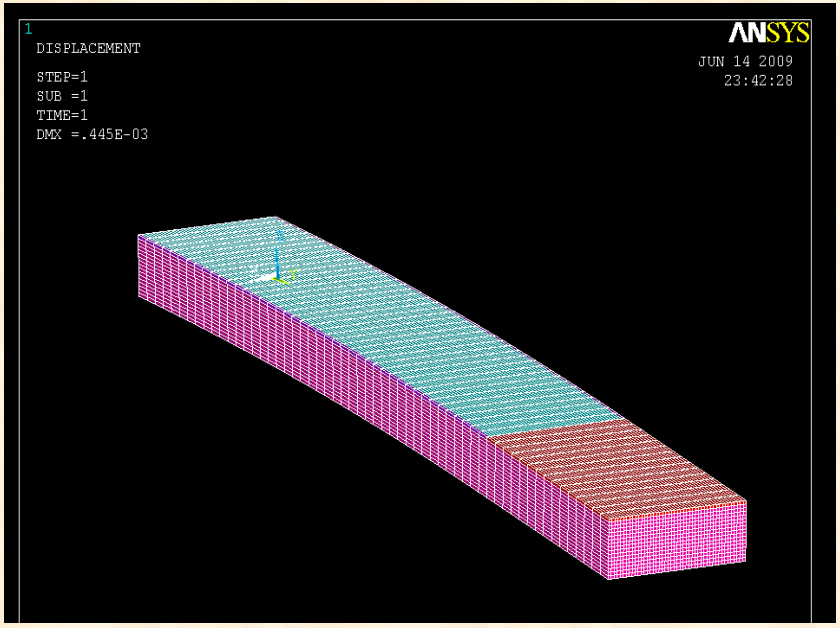
Структура упрочненного поверхностного слоя

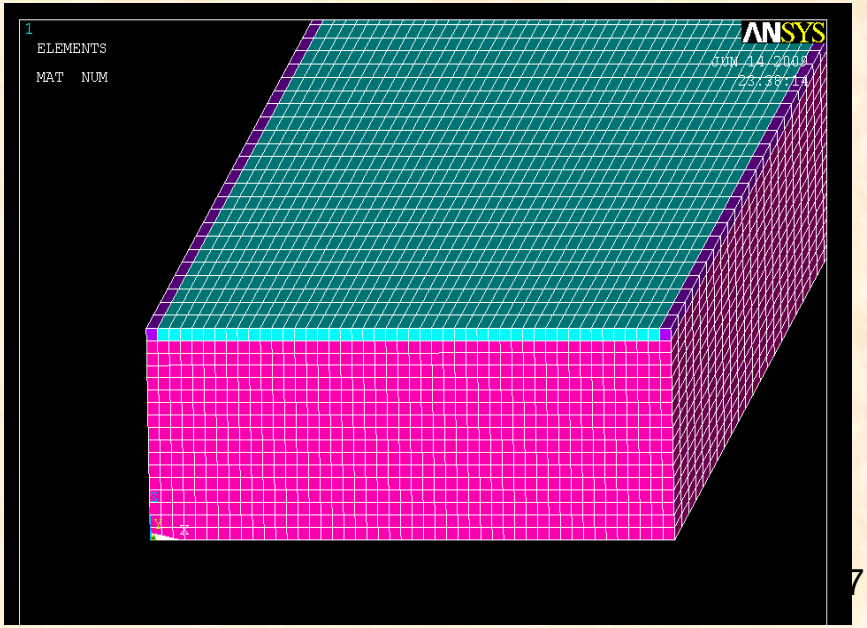
Деформации деталей типа “Стержень”

P **возд = 0,3 МПа, *d*ш = 315мкм,*V*с = 30 мм/мин.**

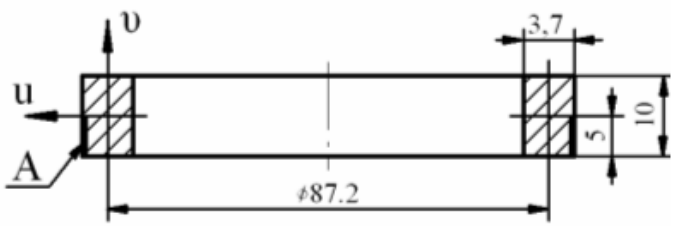


Распределение ОН после упрочнения на выбранном режиме

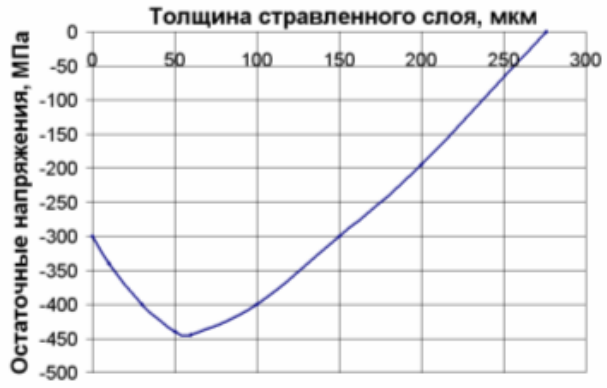




Моделирование остаточных напряжений в деталях типа “Кольцо”

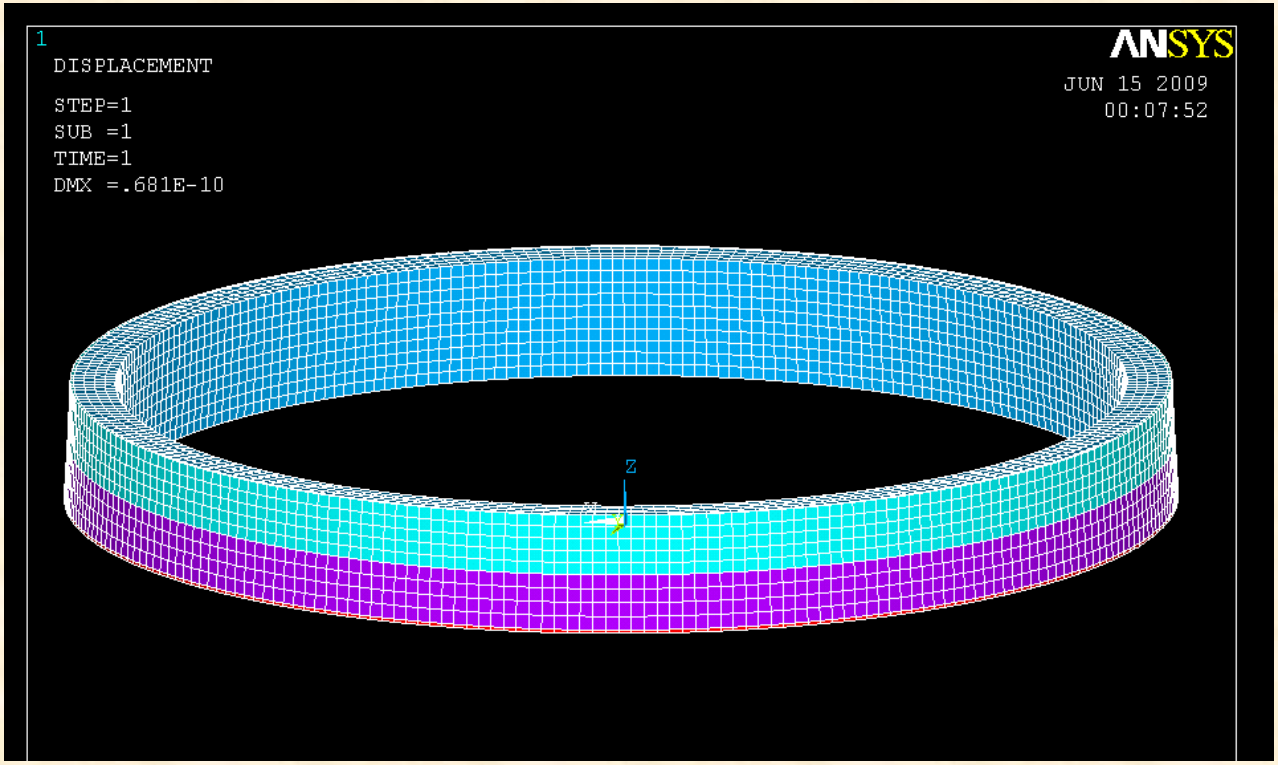


Кольцевой образец
А – обработанная поверхность

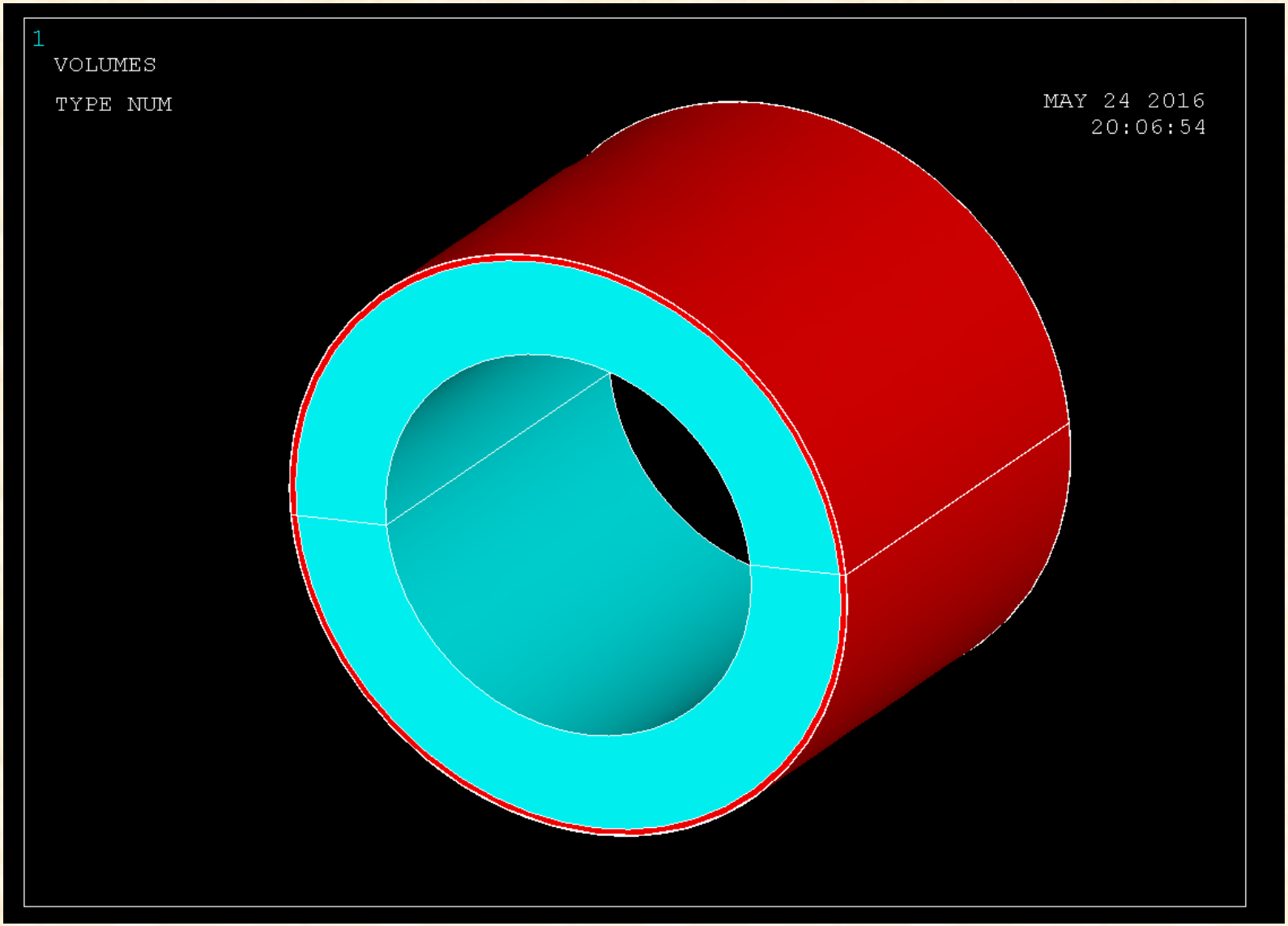


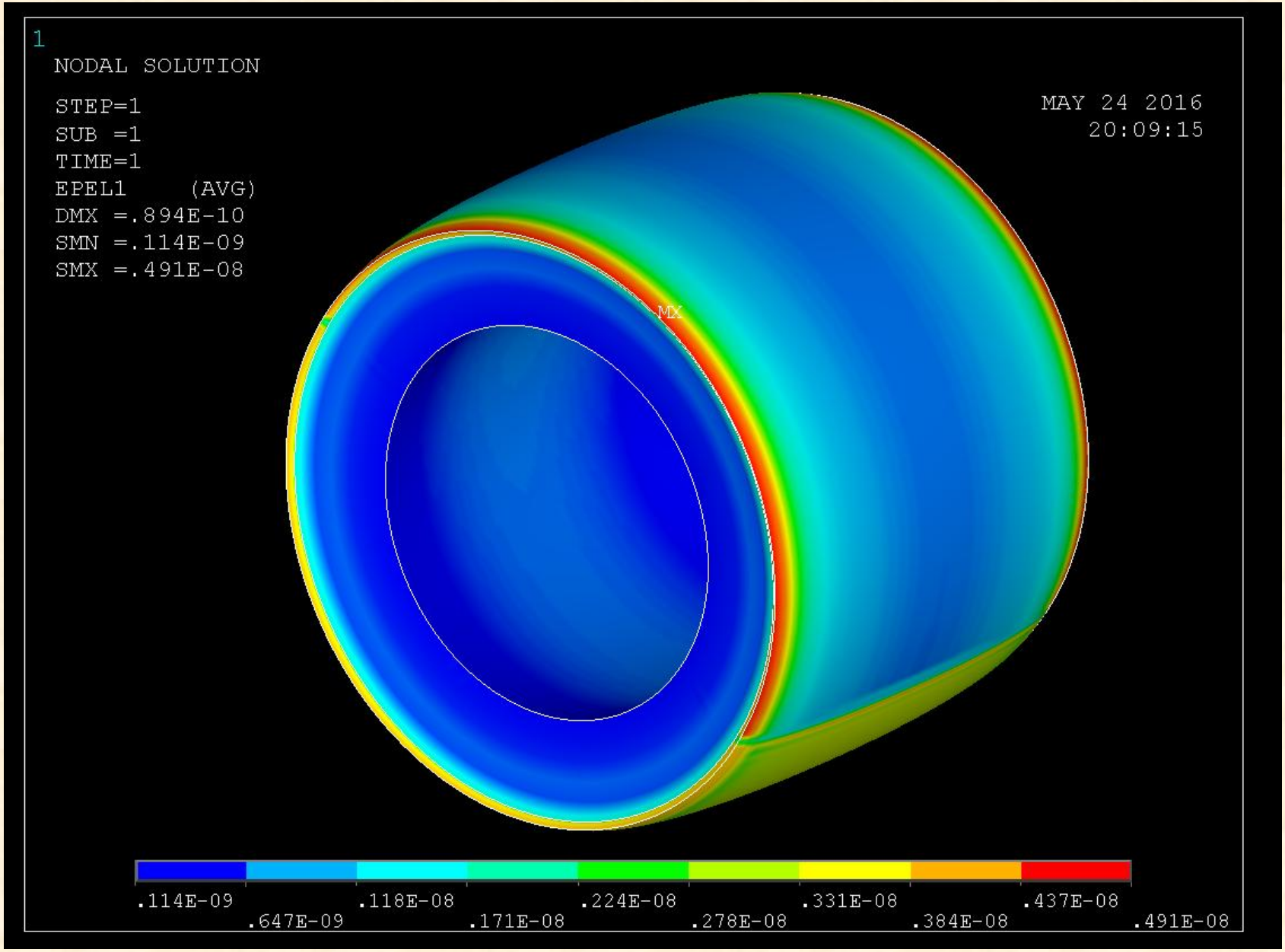
Распределение ОН после дробеструйной обработки

***p*возд = 0,35 МПа**
Øш= 1,4 – 1,8 мм,
***t* = 8 мин.**



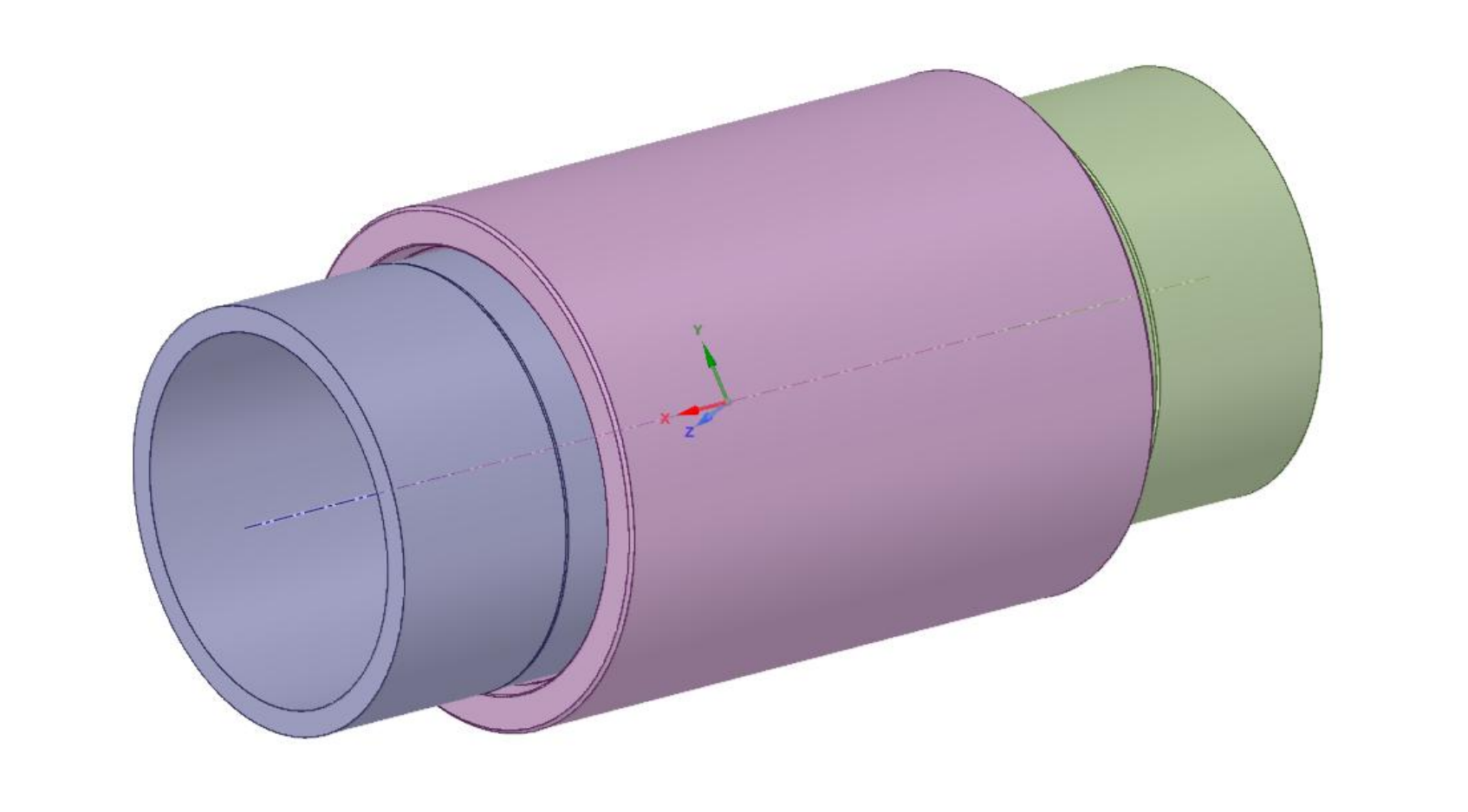
Расчёт на прочность трубопроводов с учётом остаточных напряжений в поверхностном слое



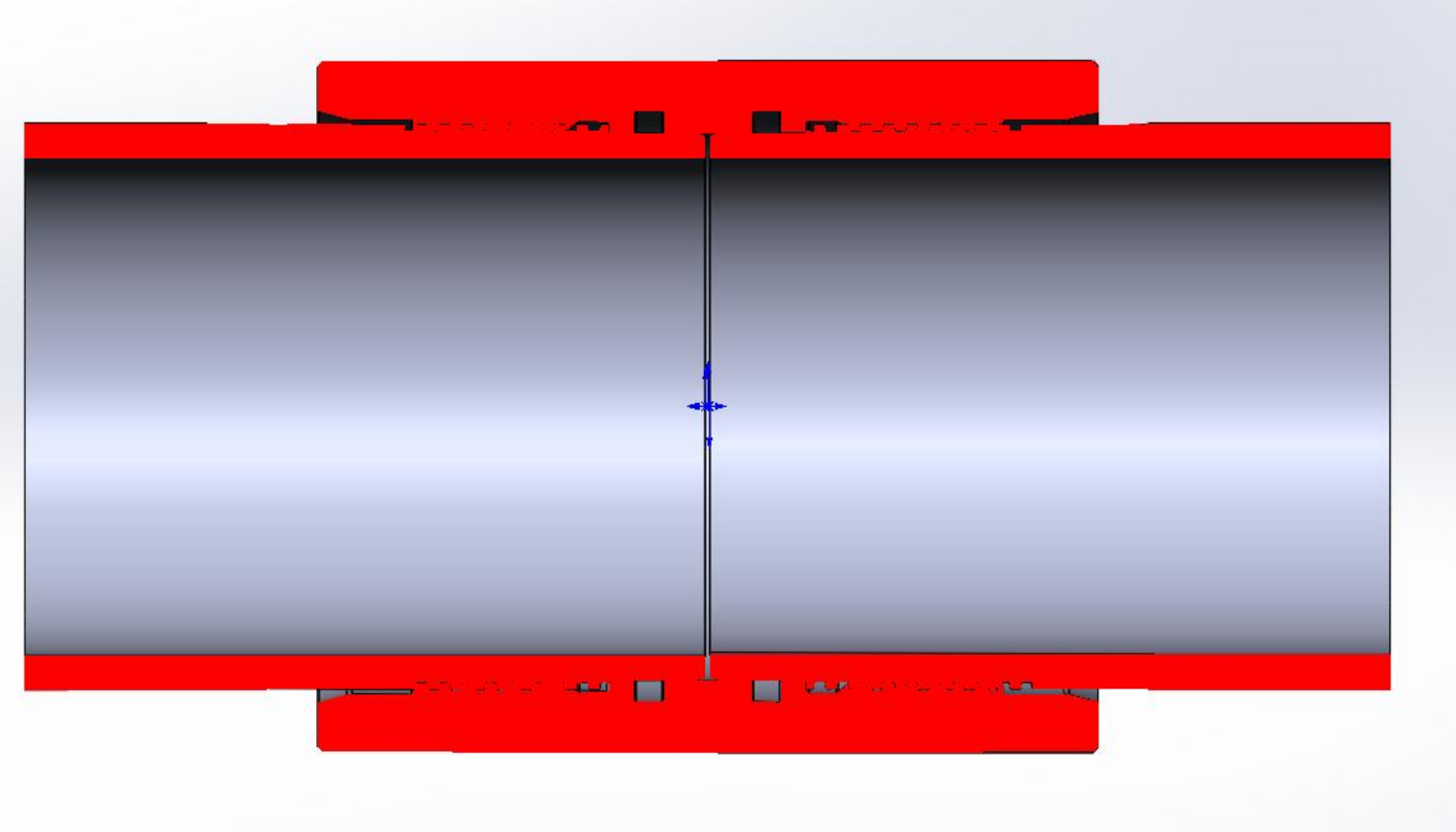

1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPEL1 (AVG)
DMX =.894E-10
SMN =.114E-09
SMX =.491E-08
MAY 24 2016
20:09:15
MX
.114E-09
.647E-09
.118E-08
.171E-08
.224E-08
.278E-08
.331E-08
.384E-08
.437E-08
.491E-08

Моделирование и расчёты на прочность трубопроводов и их соединений с учётом остаточных напряжений, коррозии и прочих факторов снижающих надёжность и долговечность трубопроводов

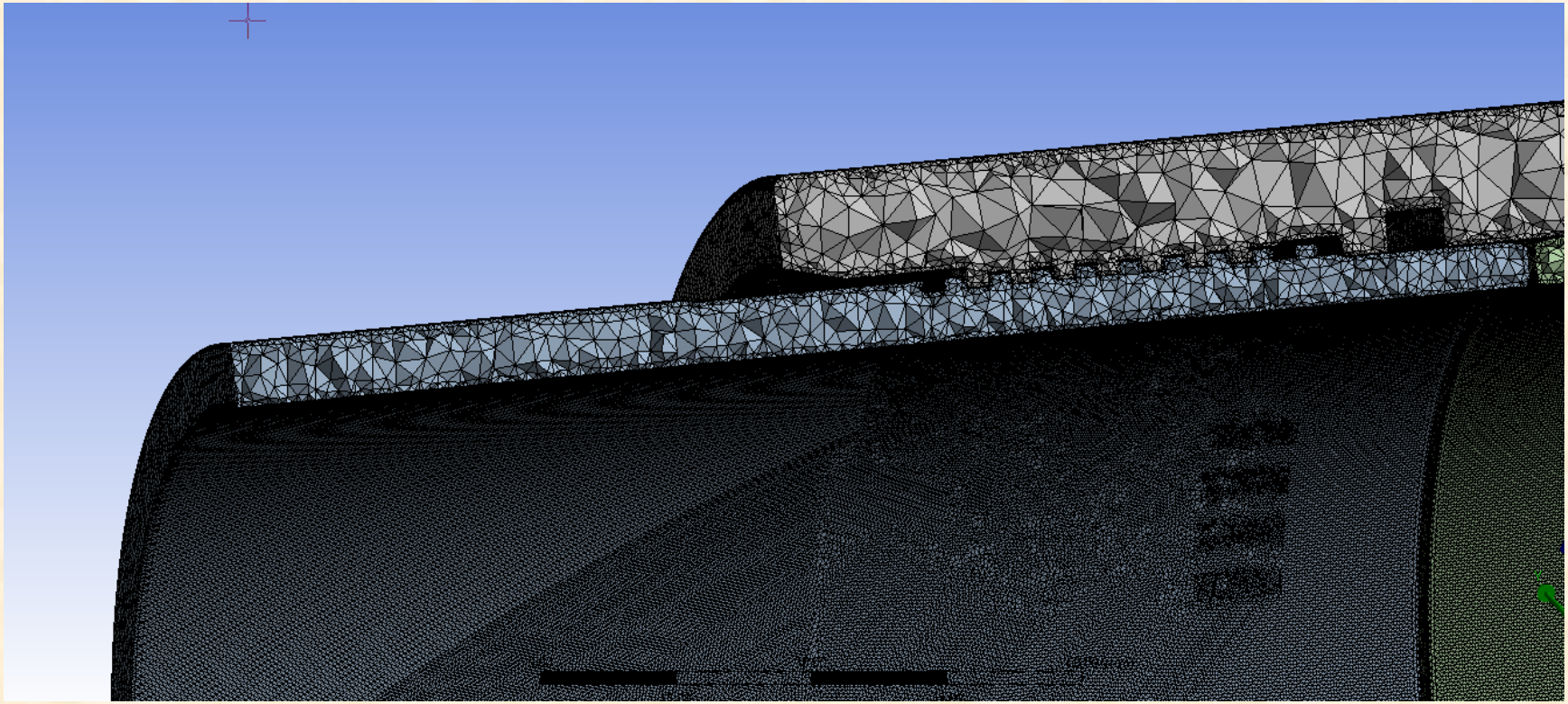
Конечно-элементные расчёты на прочность трубных соединений



Виртуальная модель соединения в разрезе

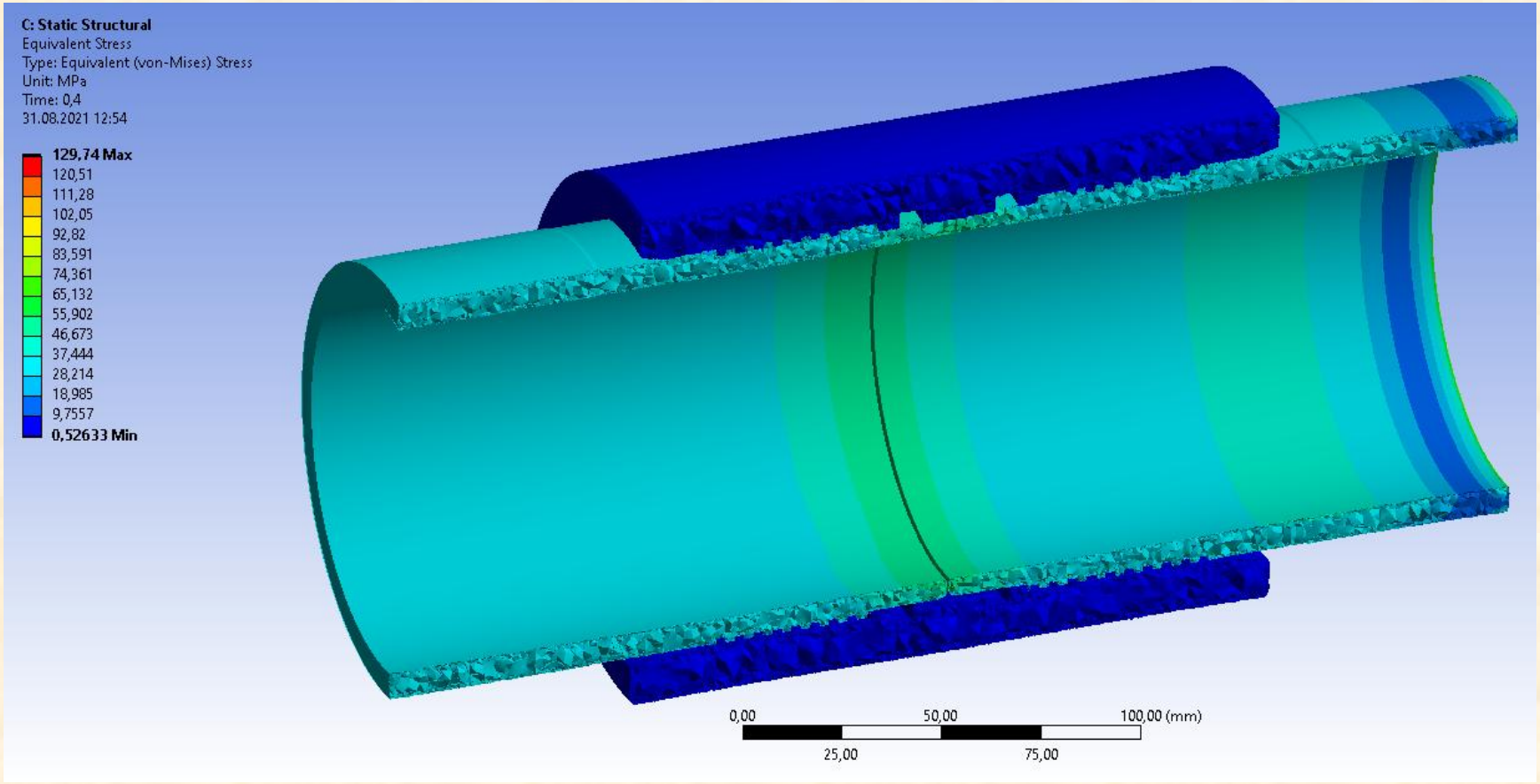


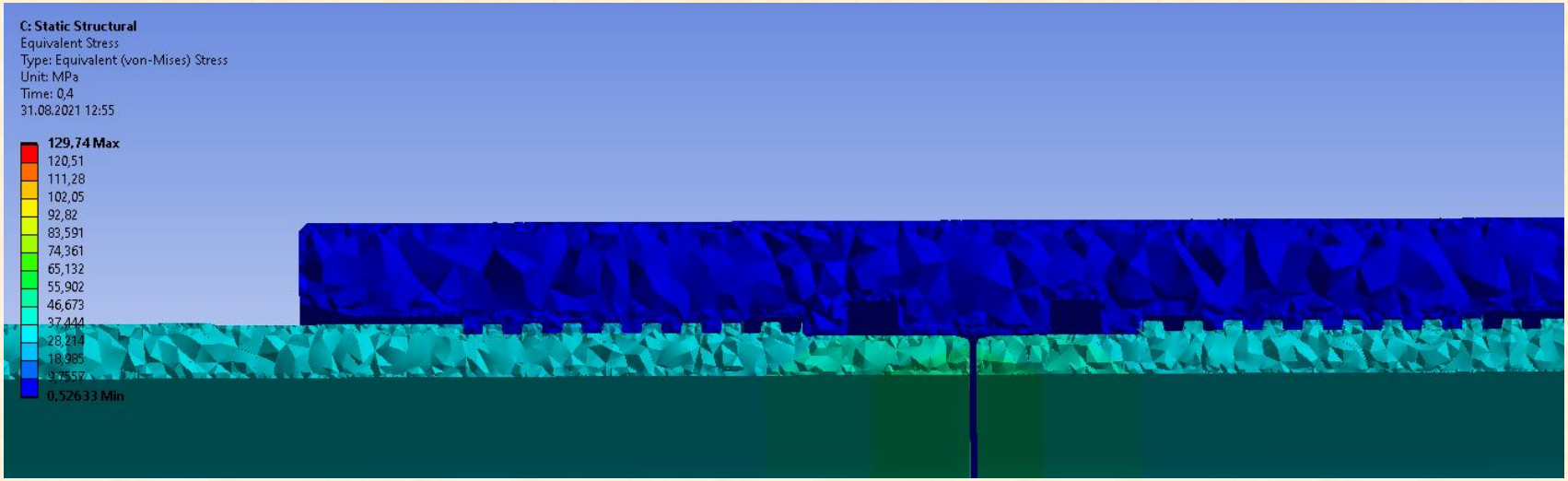
Конечно-элементная модель соединения



Материал труб 09Г2С
Материал муфты 32Г2
К модели было приложено рабочее давление 11МПа

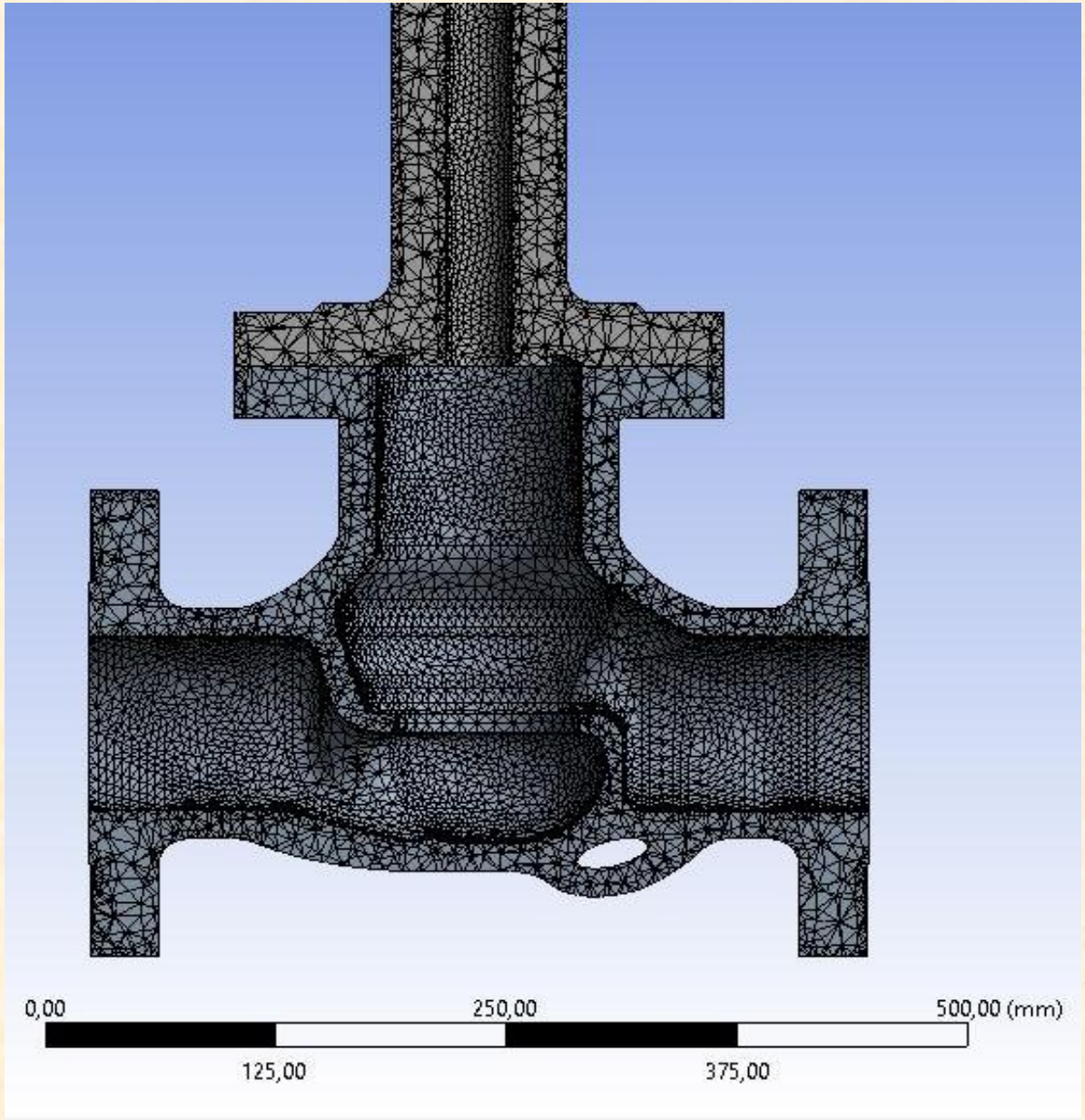
Результаты расчётов методом конечных элементов



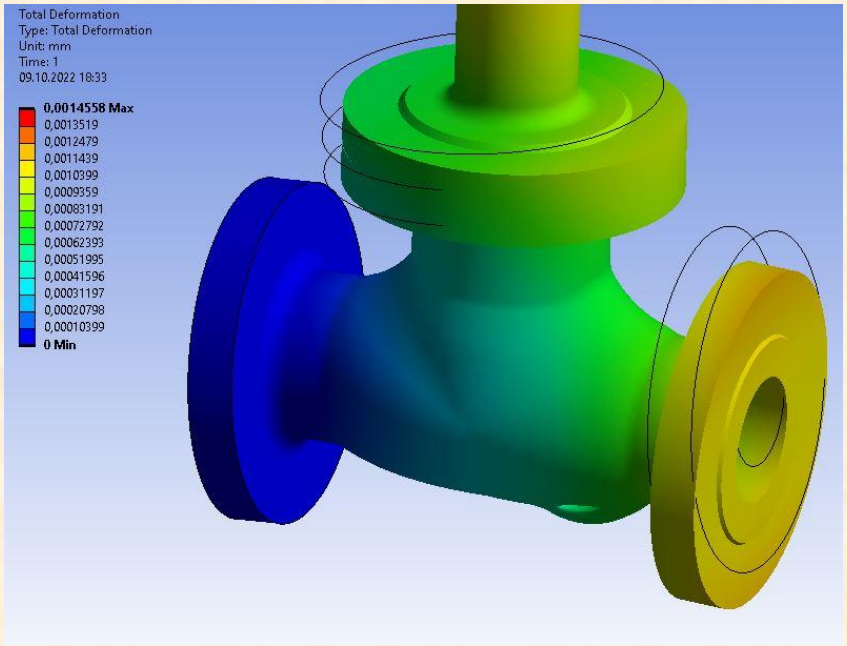


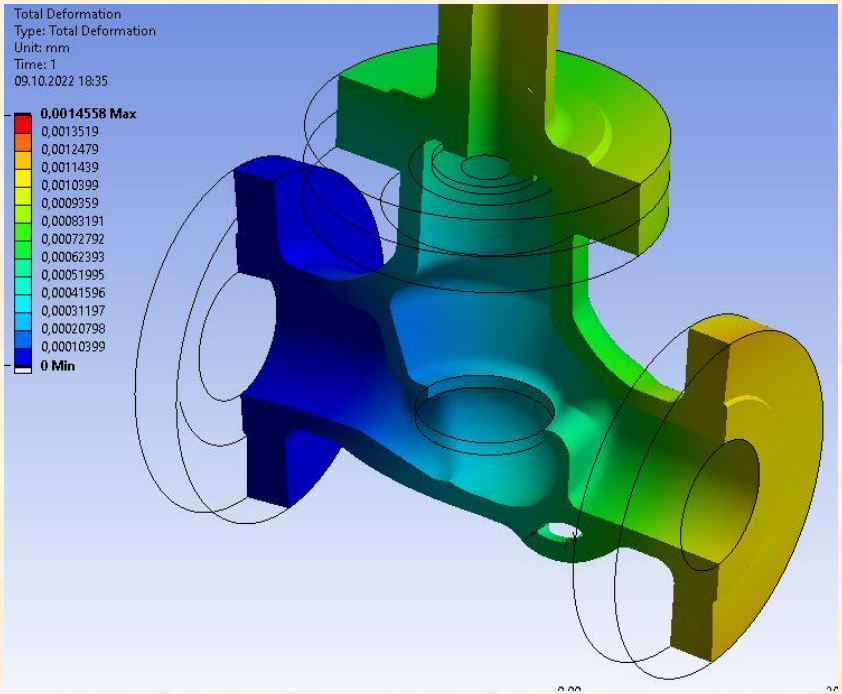
Результаты расчётов позволили получить распределение напряжений и определить наиболее нагруженную зону в соединении.

Анализ деформаций запорной арматуры DN100 PN100

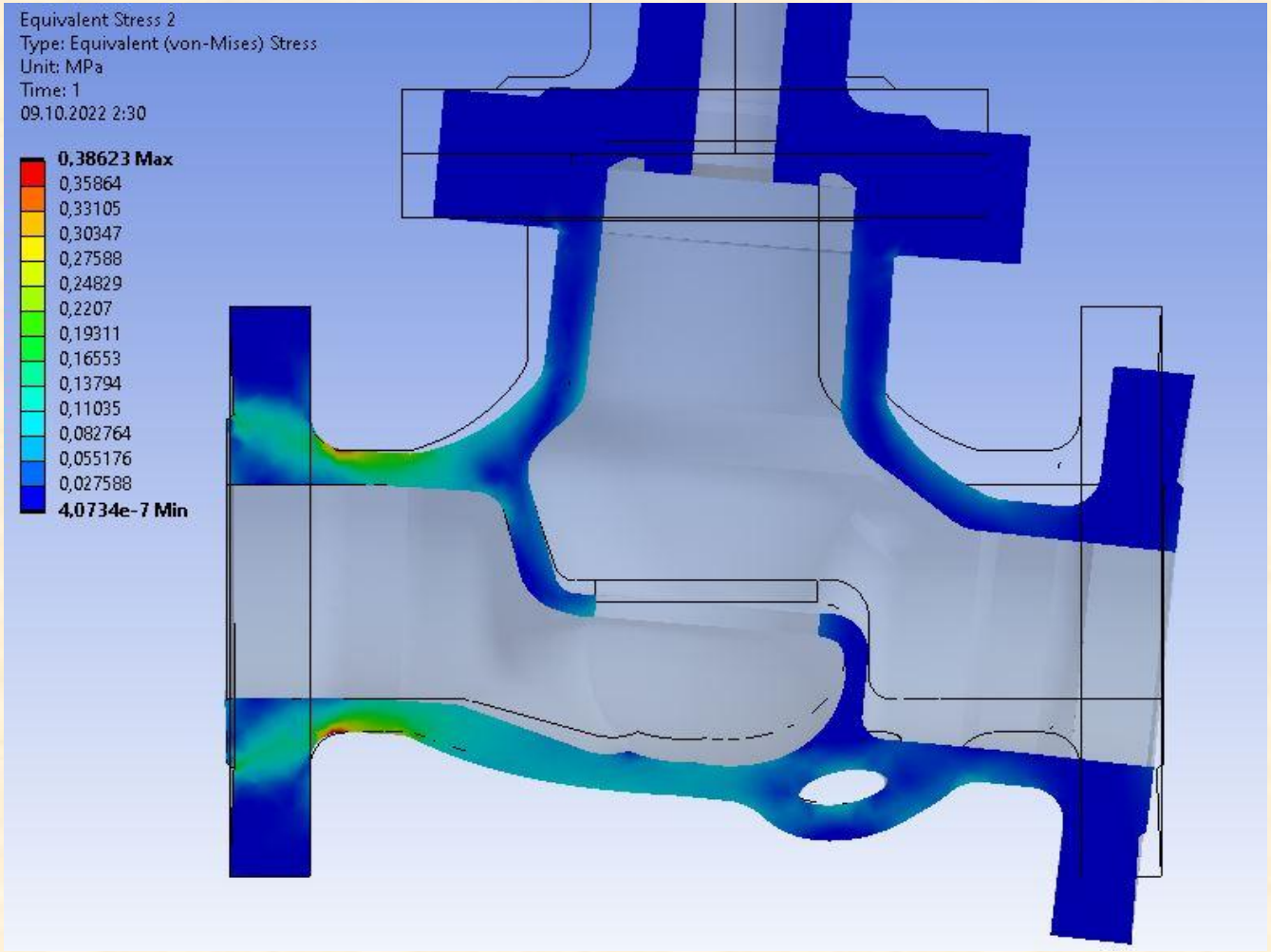

0,00
250,00
500,00 (mm)
125,00
375,00

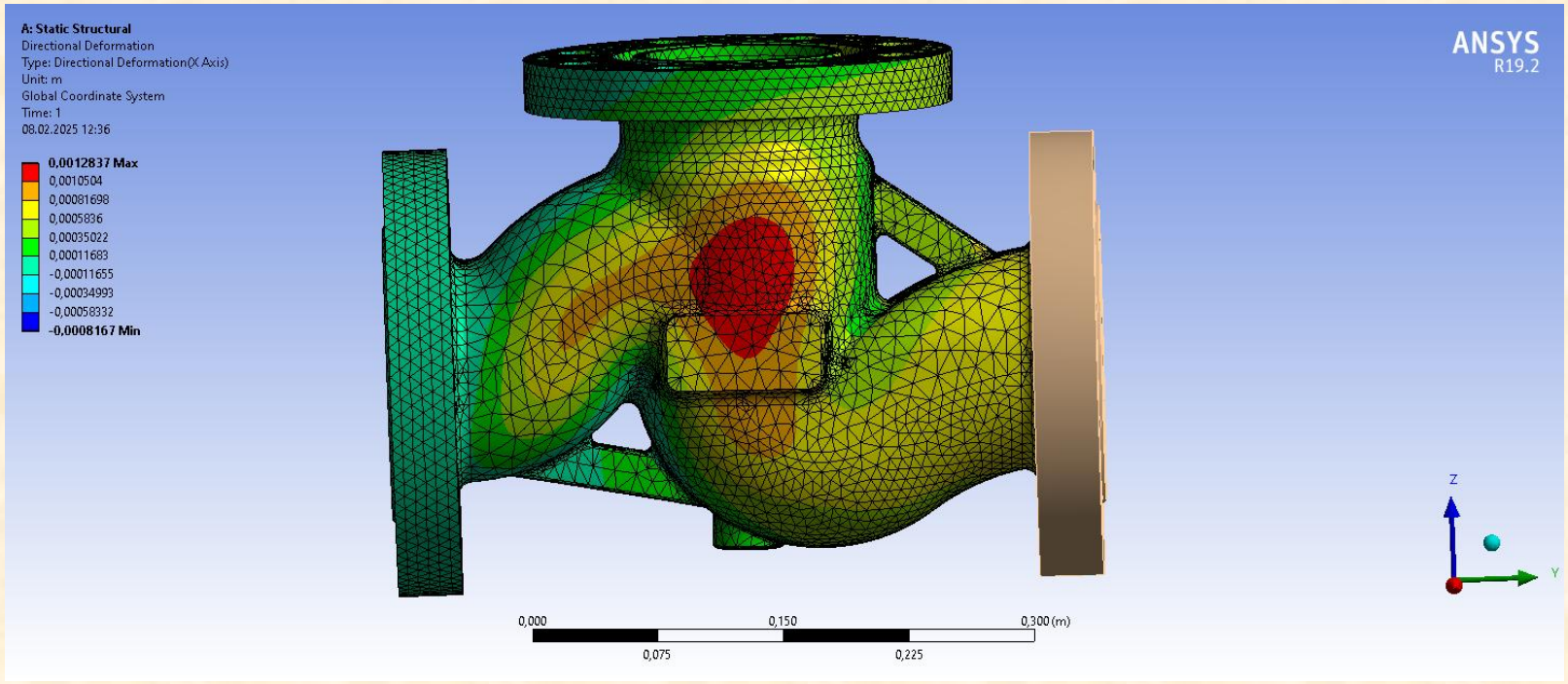
Деформации запорной арматуры

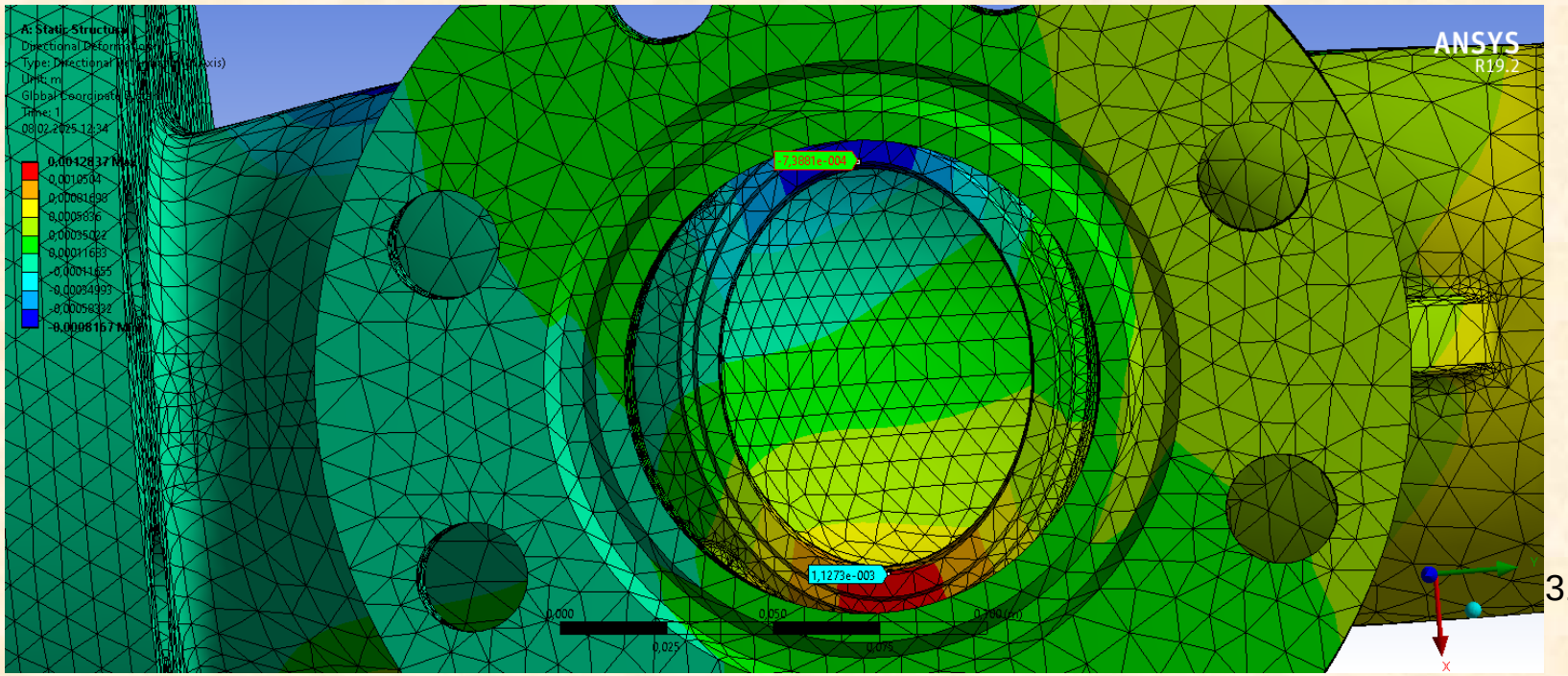




Распределение эквивалентных напряжений, в зоне плоскости изгиба узла




A: Static Structural
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(X Axis)
Unit: m
Global Coordinate System
Time: 1
08.02.2025 12:36
0,0012837 Max
0,0010504
0,00081698
0,0005836
0,00035022
0,00011683
-0,00011655
-0,00034993
-0,00058332
-0,0008167 Min
ANSYS
R19.2
Z
Y
0,000
0,150
0,300 (m)
0,075
0,225


A: Static Structural
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(X Axis)
Unit: m
Global Coordinate System
Time: 1
08.02.2025 12:34
0,0012837 Max
0,0010504
0,00081698
0,0005836
0,00035022
0,00011683
-0,00011655
-0,00034993
-0,00058332
-0,0008167 Min
ANSYS
R19.2
1,1273e-003
0,000
0,050
0,100 (m)
0,025
0,075
X

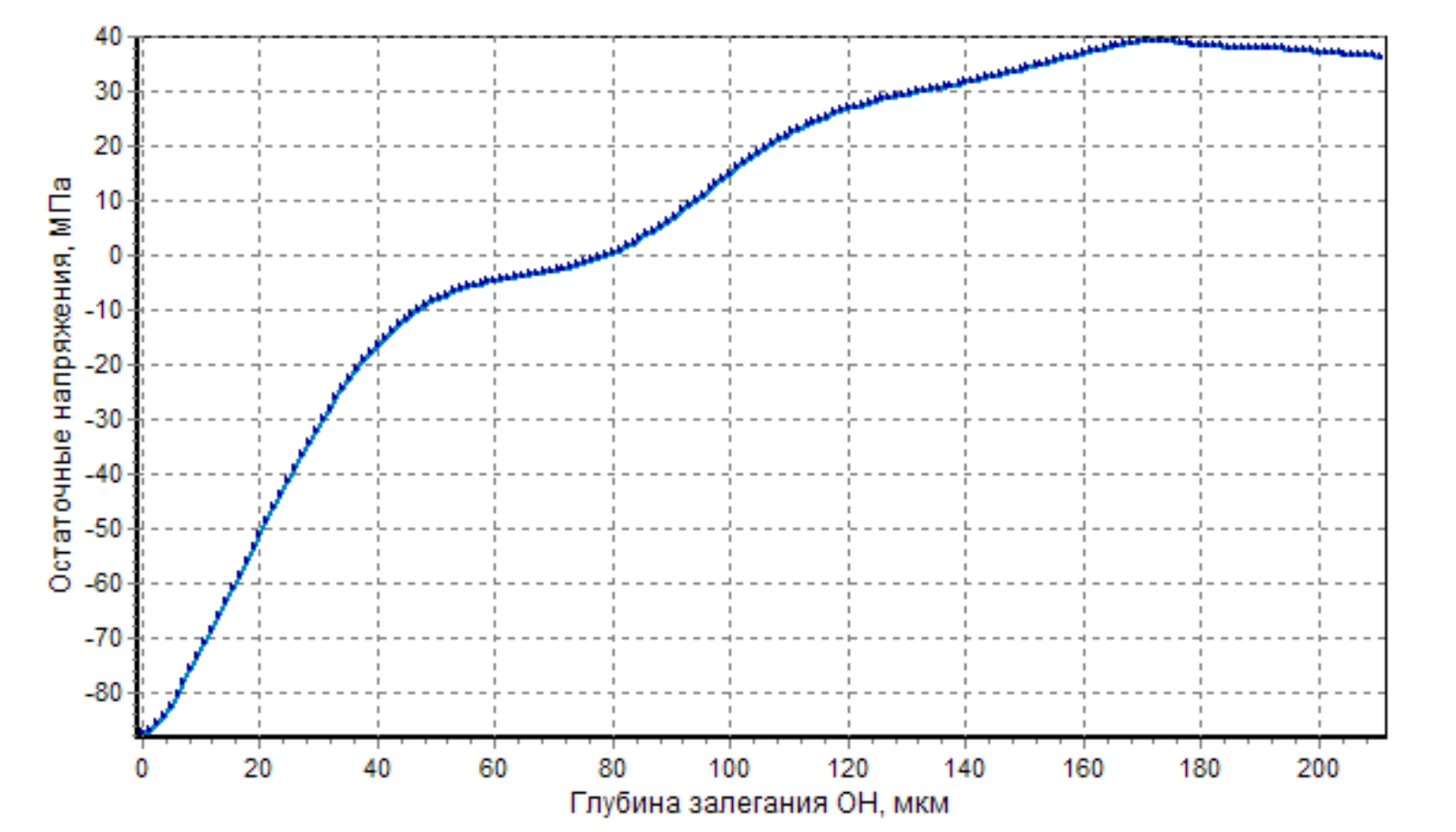
Учёт коррозии в расчётах на прочность на примере штанг насосных ШН-19

Цель работы: повышение выносливости штанг насосных ШН19 на основе исследования их напряжённо-деформированного состояния

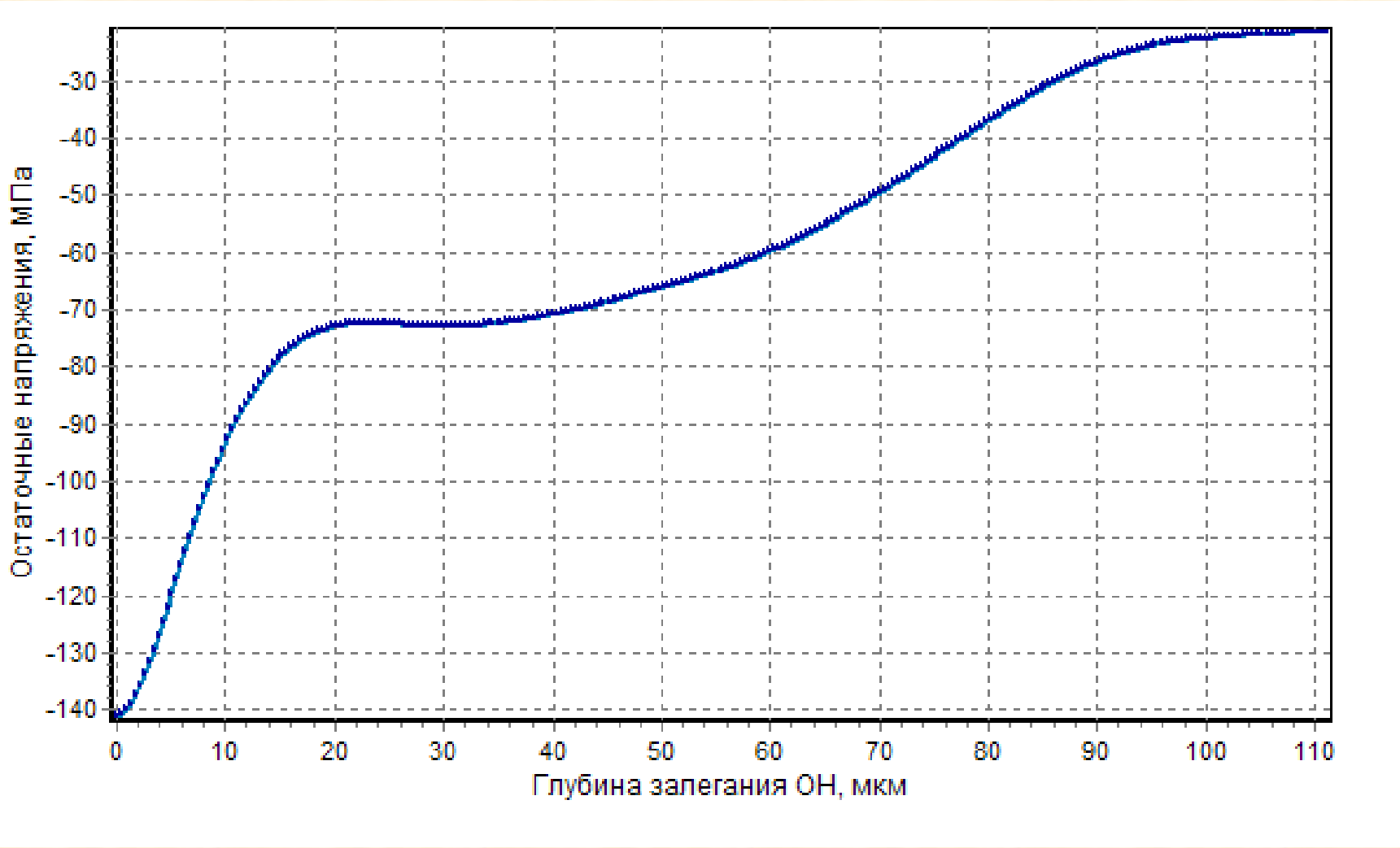
Задачи:

1) Выявление причин преждевременного разрушения штанг ШН19 на основе анализа их напряжённо-деформированного состояния
2) Исследование остаточных напряжений в поверхностном слое штанг без наработки и с наработкой
3) Составление рекомендаций по повышению выносливости штанг насосных

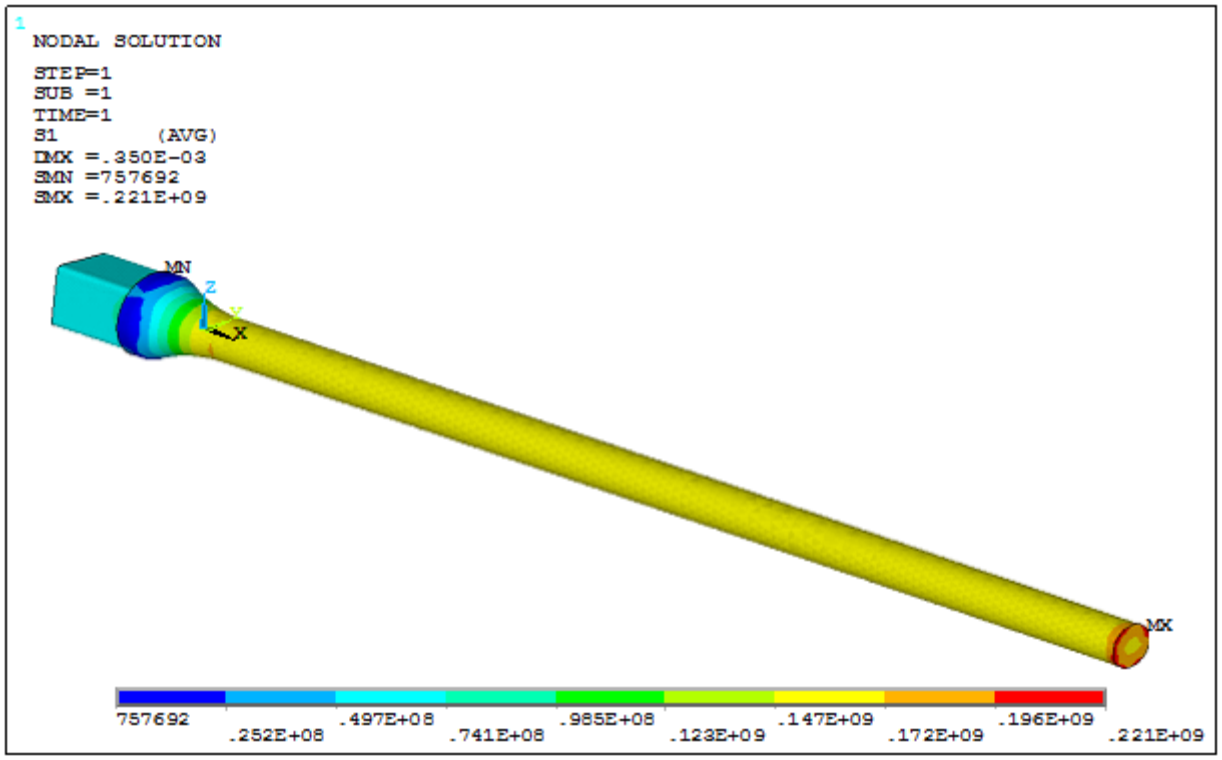
Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое штанг без наработки



Повышение сжимающих остаточных напряжений вследствие наводораживания поверхностного слоя, а также влияния коррозии составило ~ 60 МПа

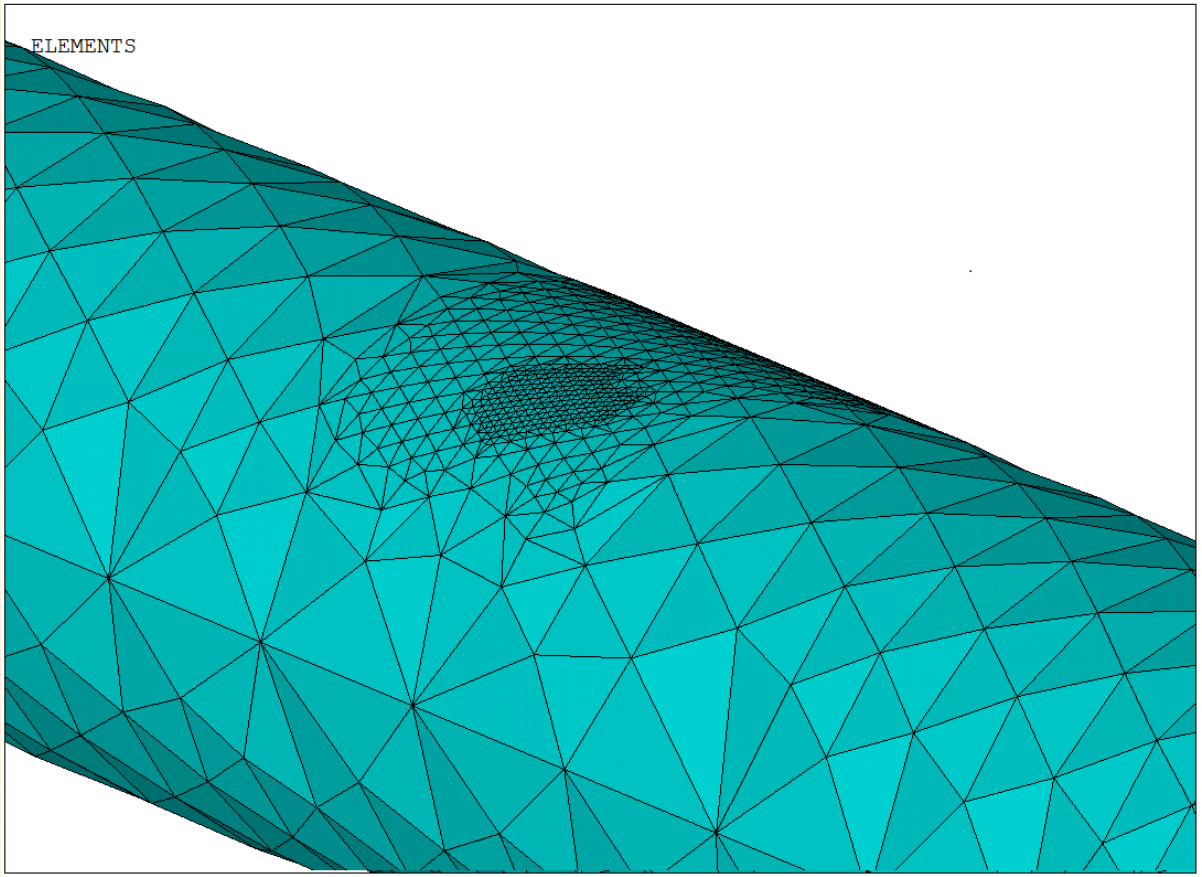


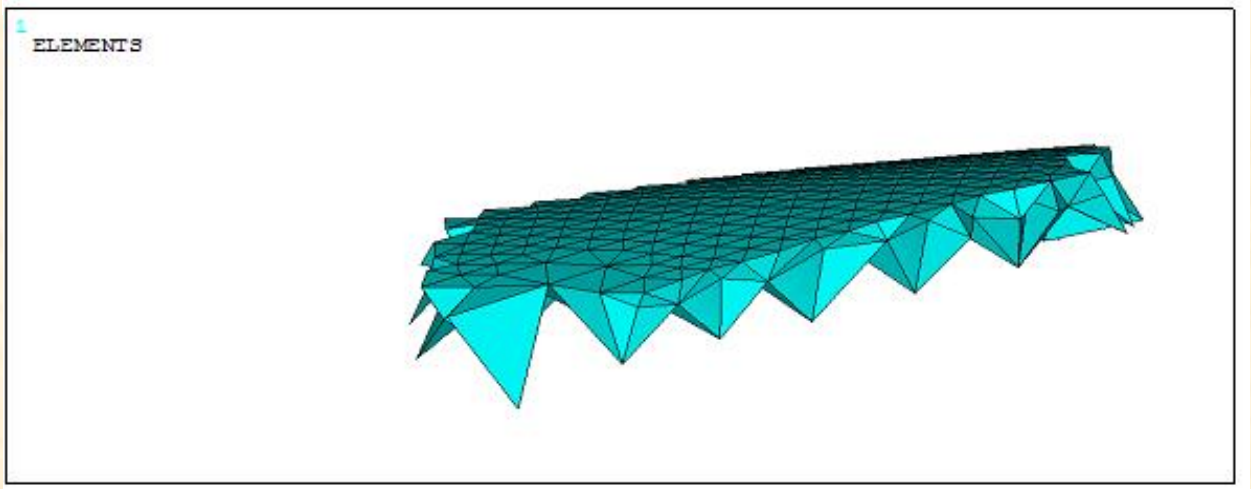
Расчёт напряжённо-деформированного состояния штанг на основе конечно-элементного моделирования повреждения поверхности штанг коррозией



Распределение главных напряжений и деформаций в штанге при отсутствии коррозии

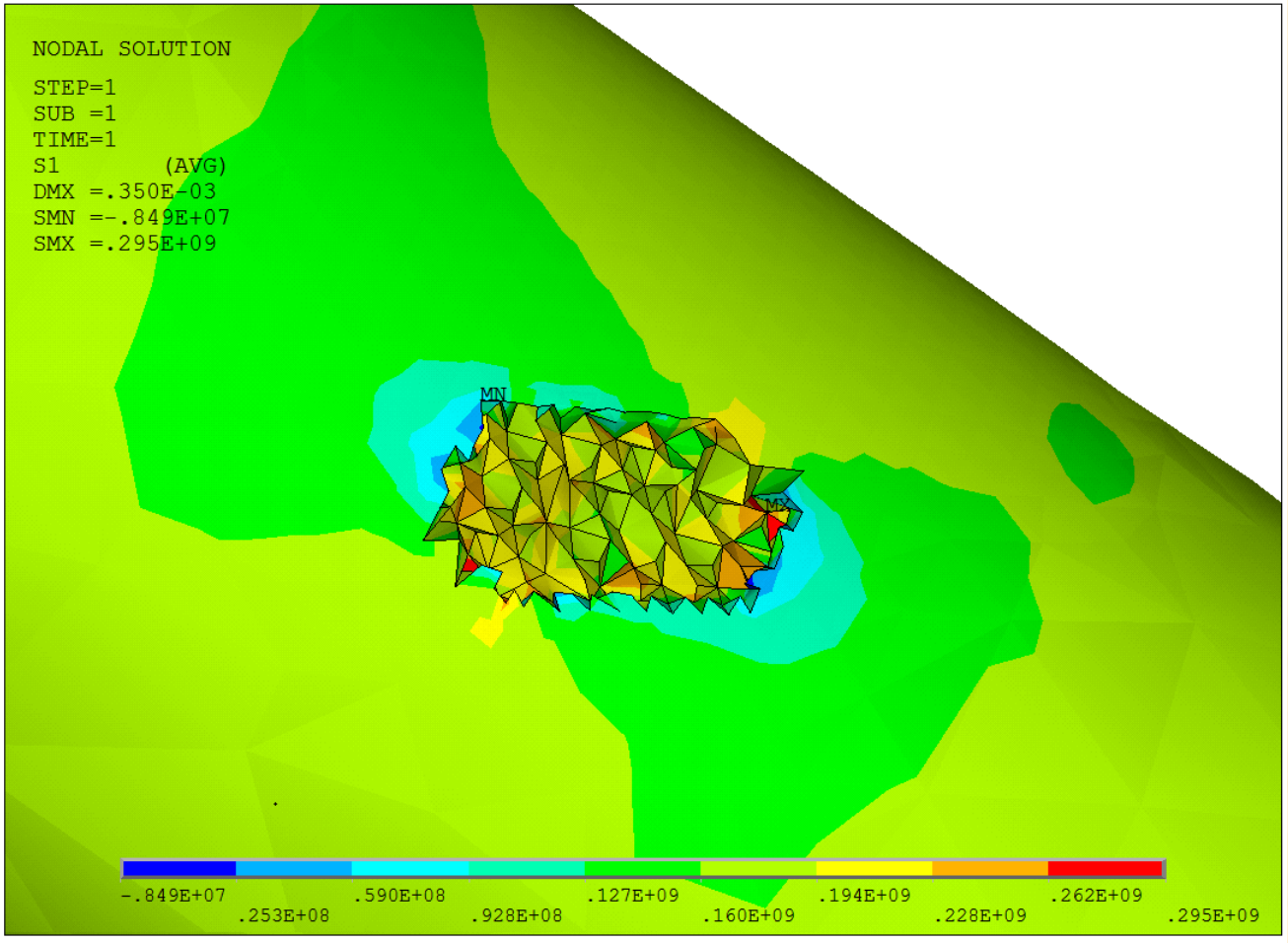
Главные напряжения, МПа			Главные деформации		
σ_1	σ_2	σ_3	ε_1	ε_2	ε_3
170,13	0,90	0,54	0,00084849	– 0,00025152	– 0,00025382





примерные размеры очага разрушения и язвы: длина×ширина ×глубина ≈ 5,87 ×3,31×0,88 мм

Распределение первых главных напряжений в коррозионном повреждении штанги



Распределение главных напряжений и деформаций в штанге с коррозией

Главные напряжения, МПа			Главные деформации		
σ_1	σ_2	σ_3	ε_1	ε_2	ε_3
292,11	38,43	14,36	0,0013814	– 0,00026755	– 0,00042402

Результаты расчётов долговечности штанг без учёта и с учётом коррозионного повреждения

коэффициент запаса по долговечности $n = 3$

длительность наработки штанг T в сутках (при $N_{\text{базовой}}$ 5×10^6 циклов или 926 сут.)

частота $f = 4{,}5$ цикл/мин.

Результаты расчёта малоцикловой долговечности штанг

Варианты расчёта	$N_{\text{расчётная}}$, циклы	$N_{\text{допускаемая}}$, циклы	T, сутки	
			расчётная	допускаемая
Без учёта коррозии	128487200	42829067	19827	6609
С учётом коррозии	1368174	456058	210	70

Исследование технологического процесса производства листового проката из электротехнической стали

Базовый технологический процесс

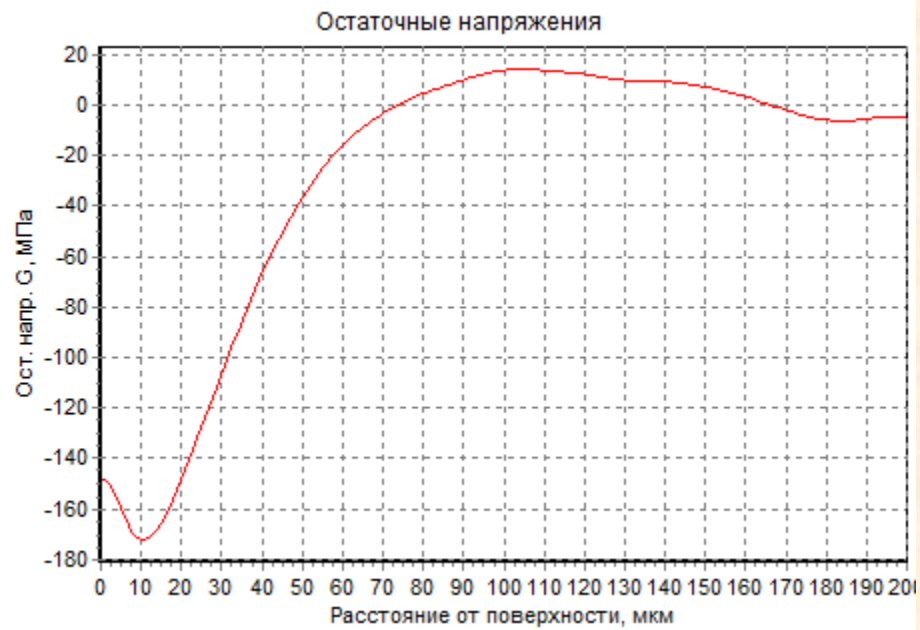








Неравномерности протяжки листа



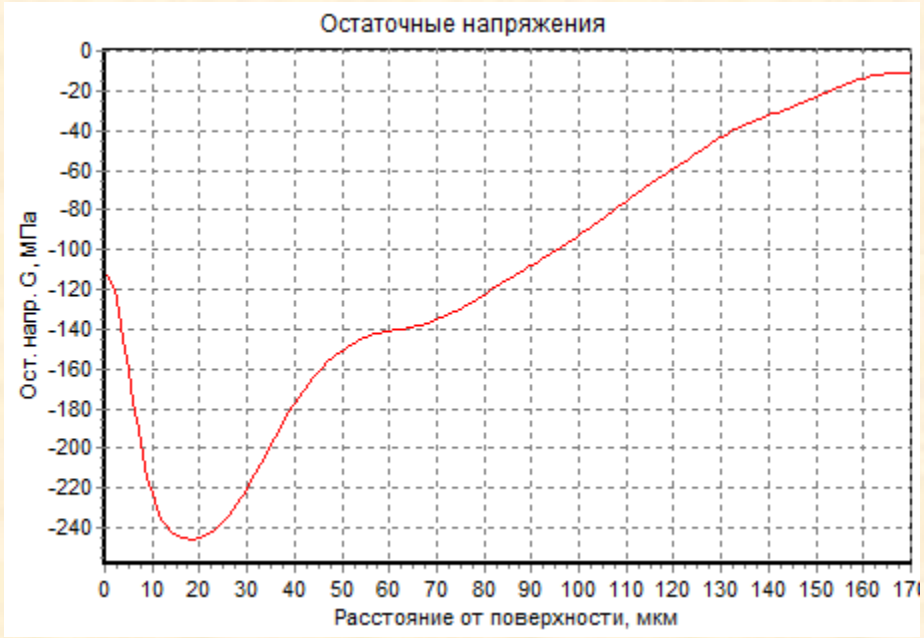


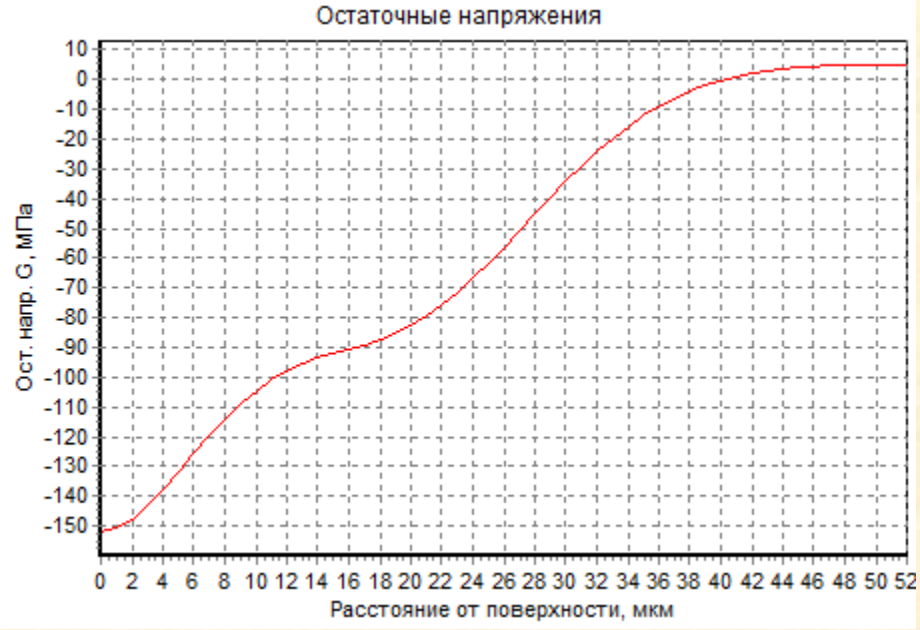


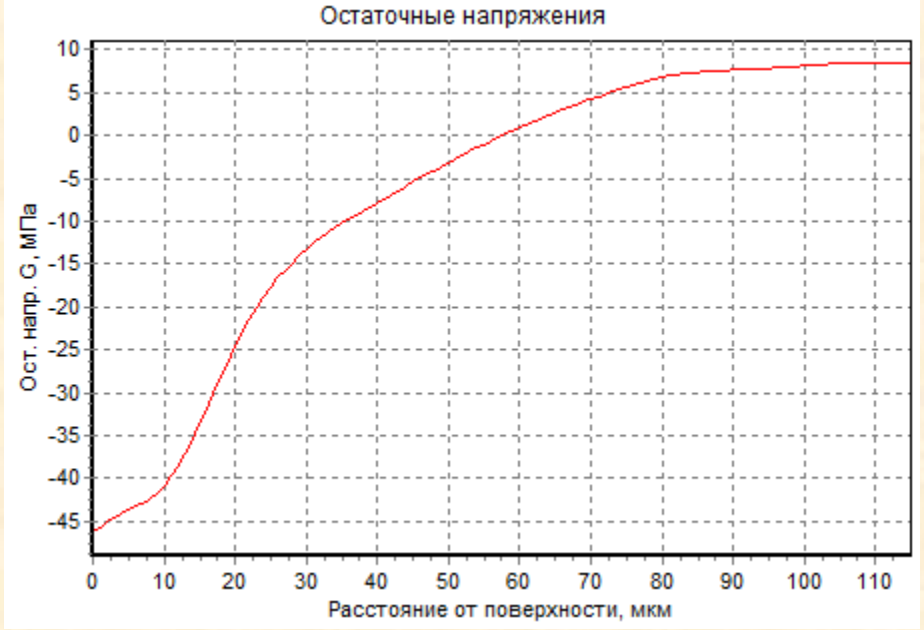


Неравномерности дробеструйной обработки



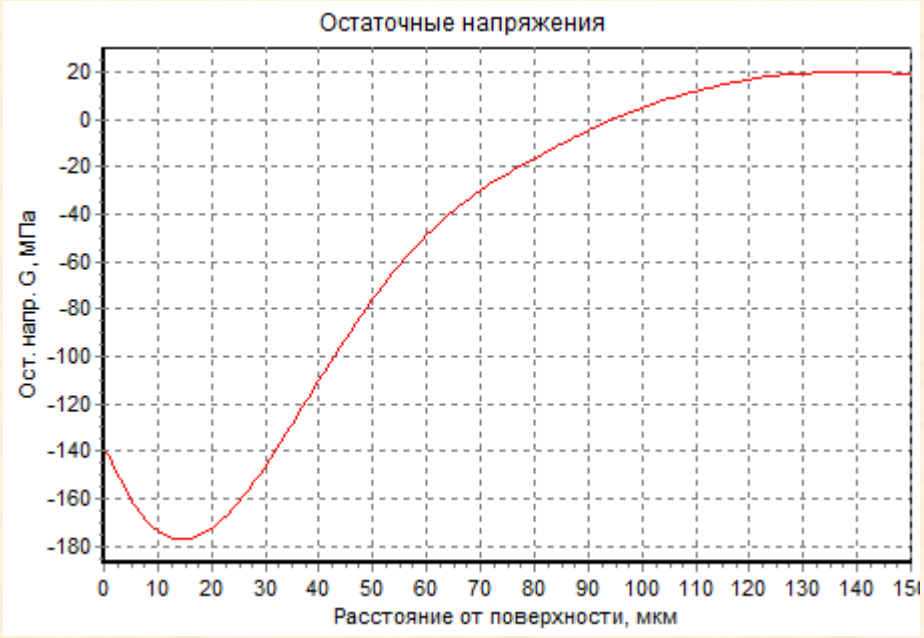


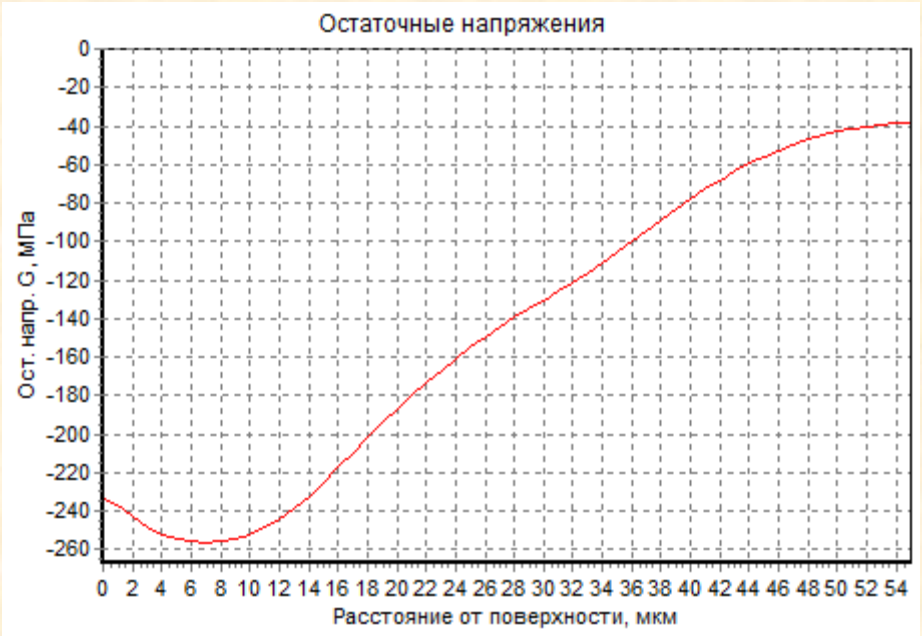




Отладка режимов термической обработки









Заключение

- Разработка специализированного исследовательского оборудования;
- Разработка новых методов исследования и моделирования остаточных напряжений, явлений коррозии и прочих эффектов;
- Разработка совершенных методик проведения модельного эксперимента;

позволяют проводить исследования напряжённо-деформированного состояния объектов добычи нефти и газа, натурные испытания которых затруднены или не возможны.

Спасибо за внимание

Букатый А.С.

bukaty@inbox.ru

+79170111771



ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический ниверситет Петра Великого

IX Научно-техническая конференция «КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Применение аппаратно-программных комплексов для прогноза развития скорости коррозии на промысловых трубопроводах

Докладчик: Руководитель проектов
НТК «Новые технологии и материалы», СПбПУ,
Крук Павел Евгеньевич

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА СЕЙЧАС. ОБЩАЯ ПРОБЛЕМАТИКА

01 ВТД охватывает низкий процент сети промысловых трубопроводов

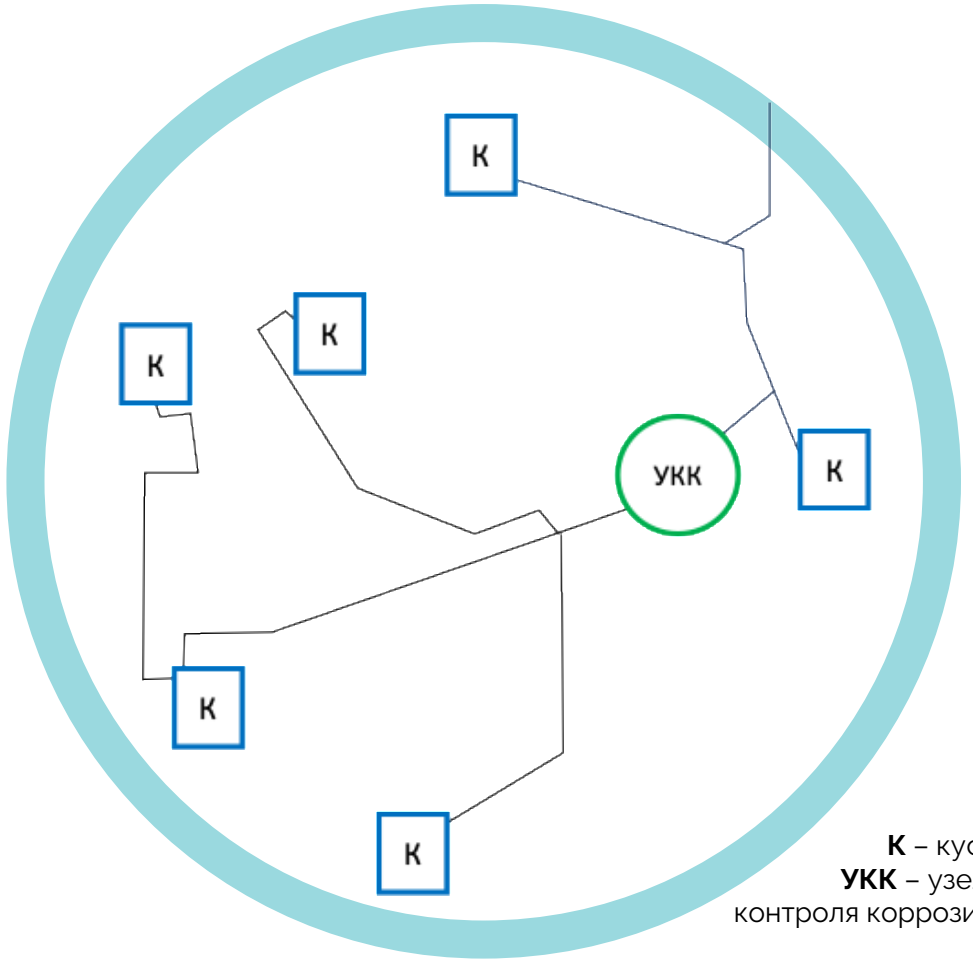
02 УКК не позволяют получить достоверную информацию по скорости коррозии

03 Для участков без ВТД и УКК интенсивность коррозионного износа оценивается экспертно или при помощи ИИ

04 Отсутствующие данные по скорости коррозии на участках без систем мониторинга прогнозируют простой интерполяцией от участков, где такие данные имеются

05 Прогнозные модели на основе ИИ имеют зачастую низкий прогнозный период и плохое качество прогноза при «глобальном» изменении технологических параметров

06 Подходы к прогнозу скоростей коррозии на основе ИИ не позволят оценить влияние различных факторов на скорость коррозии



К – куст
УКК – узел контроля коррозии

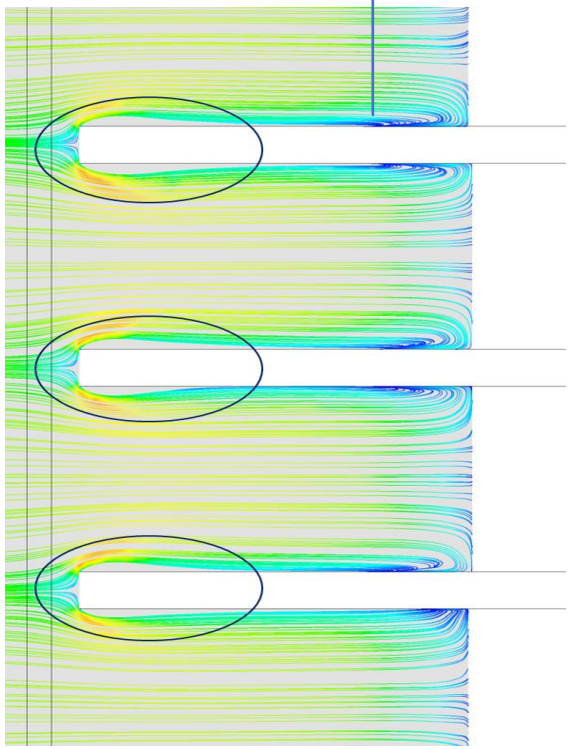
ПРОБЛЕМА НЕАДЕКВАТНОСТИ ДАННЫХ С СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА. УКК

Основная проблематика использования образцов-свидетелей

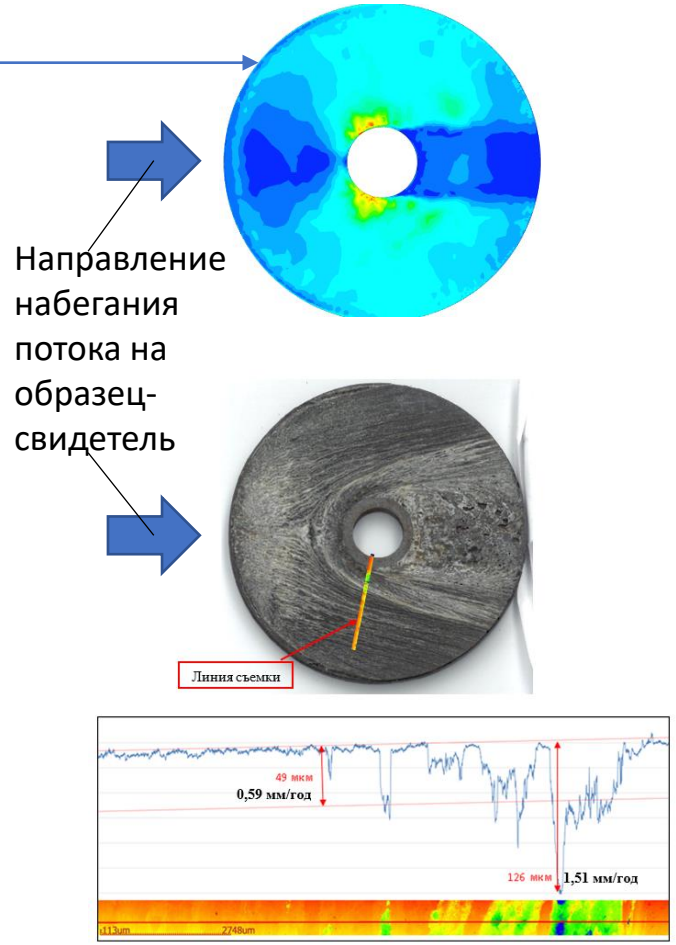
01 Не отражают реальной картины происходящего на стенке трубопровода, так как стоят в центре потока

02 Установленные заподлицо со стенкой трубопровода оценивают коррозию только в месте установки (по верхней образующей, по нижней образующей, сбоку)

03 Своим наличием в основном потоке изменяют его гидродинамику и уровни возникающих КННС



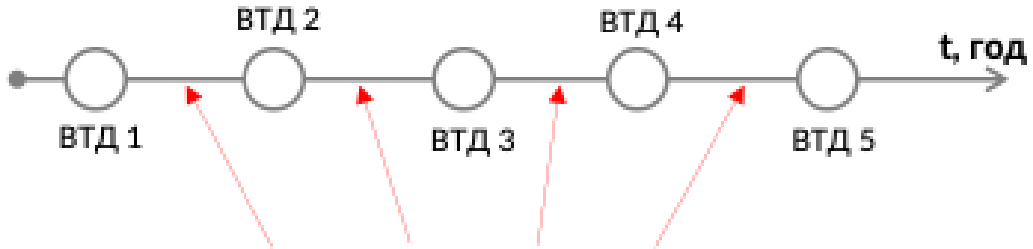
Линии тока флюида, обтекающего образцы-свидетели (вид сбоку)



Картина распределения КННС при моделирование (сверху) и данные профилометрии образца-свидетеля после экспозиции (снизу)

ПРОБЛЕМА НЕАДЕКВАТНОСТИ ДАННЫХ С СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА. ВТД, УЗК И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

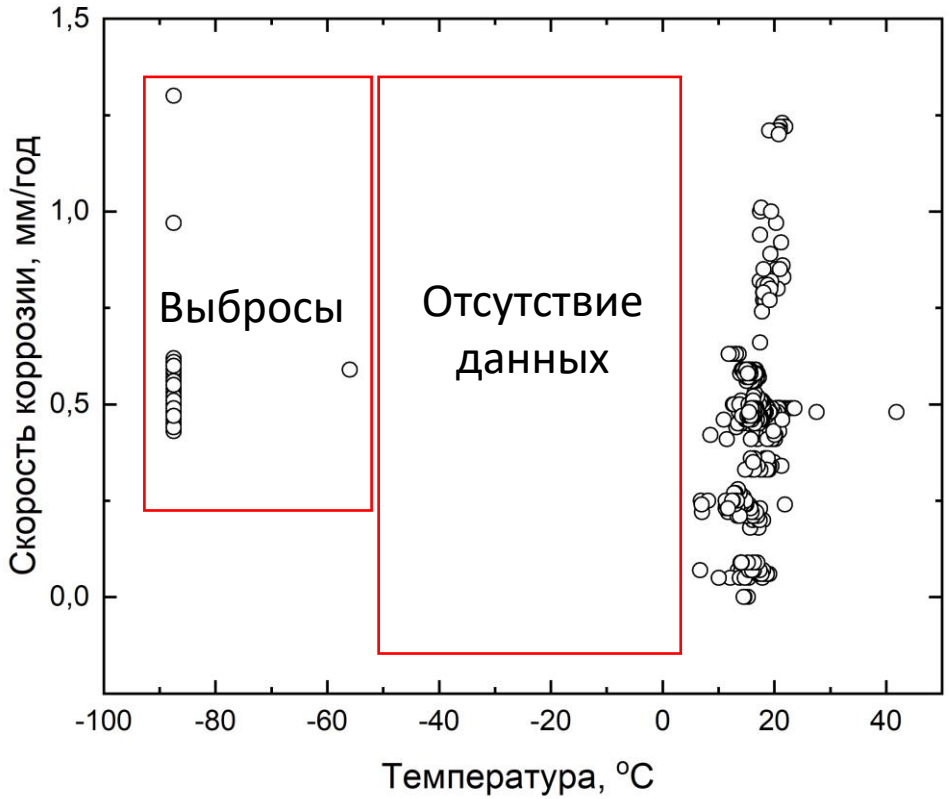
Данные ВТД и УЗК



Нет данный о фактическом состоянии трубы

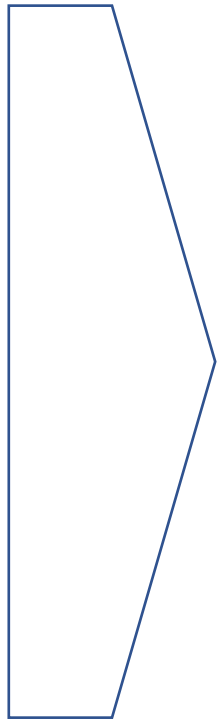
V корр. - ?

Данные с датчика температуры



Актуальные задачи модернизации системы мониторинга общей и язвенной CO_2 коррозии:

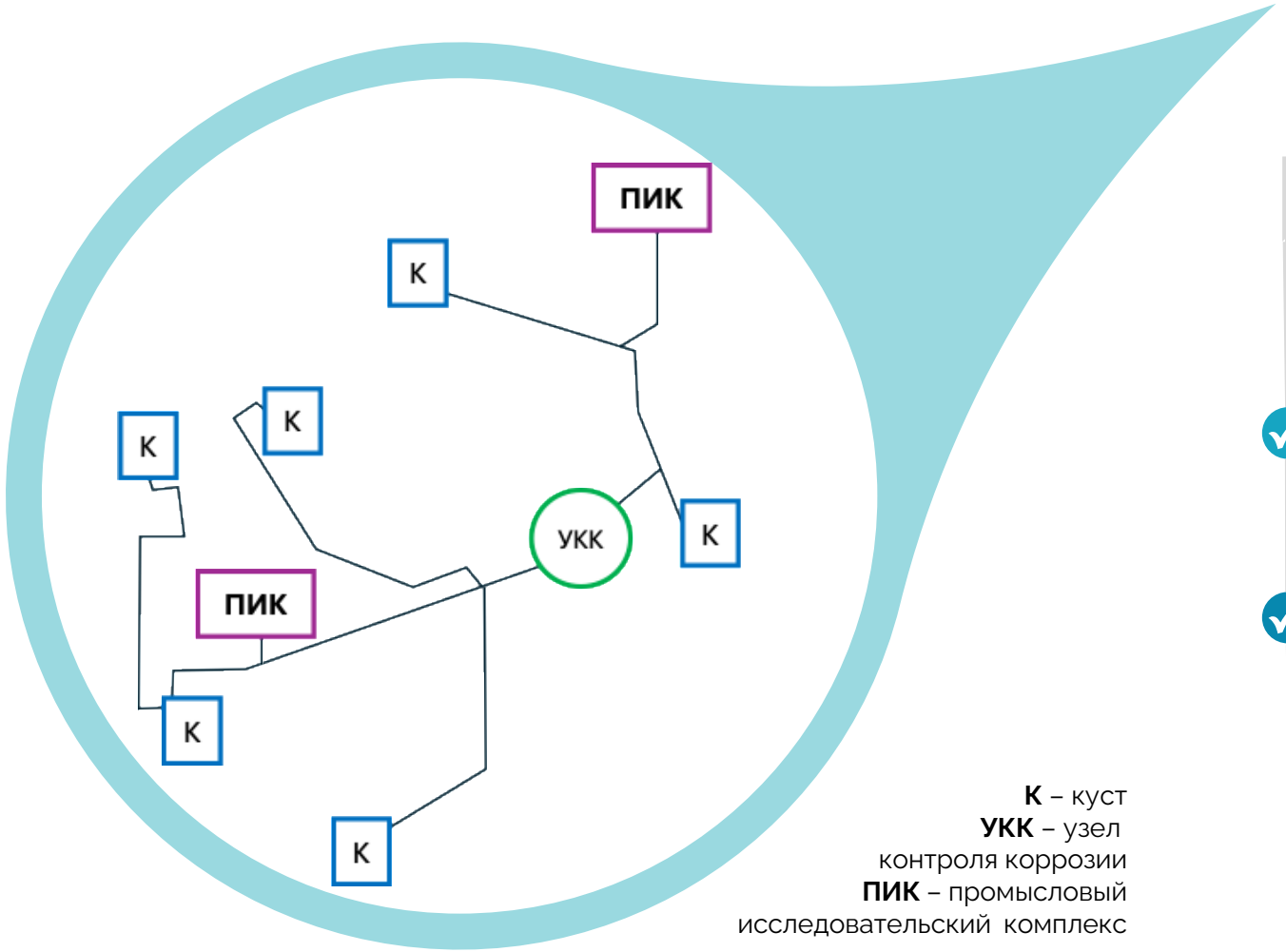
- Увеличение охвата мониторинга скорости коррозии до 100% парка промысловых трубопроводов
- Увеличение прогнозного периода
- Выявление влияния изменения технологических параметров на скорость коррозии
- Повышение результативности мероприятий по оценке эффективности ингибиторов
- Улучшение качества прогноза
- Увеличение достоверности показателей систем мониторинга



Предлагаемые варианты решения:

- Улучшение качества прогнозных моделей
- Использование физических моделей в связке с ИИ моделями
- Использование дополнительных датчиков в системе мониторинга
- Использование комплекса датчиков для увеличения достоверности их показаний и корректировки их показания между собой

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЗАВТРА. ПРОМЫСЛОВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС



К – куст
УКК – узел контроля коррозии
ПИК – промысловый исследовательский комплекс

Концепция промыслового исследовательского комплекса (ПИК)

Аппаратная часть + Программная часть

Технологические параметры
- P, T
- КННС
- Расход

Скорость коррозии в момент времени
- Смачиваемость
- LPR
- pH
- Ионы Fe

Технологические параметры
- Режим течения
- Фазовый состав

Скорость коррозии на участках без мониторинга
- Модели коррозии

Позволяет получать данные о скорости коррозии и прогнозировать ее на всем протяжении промыслового трубопровода

ПРОМЫСЛОВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС. АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

Основные принципы построения

01 Датчики интегрированы «заподлицо», что минимизирует возмущение потока и повышает достоверность показаний

02 Датчики уточняют показания друг друга

03 Все датчики комплекса работают в режиме реального времени и позволяют непрерывно проводить мониторинг коррозионной ситуации на объекте



Общий вид прототипа аппаратной части ПИК

Параметры которые необходимо замерять

1. Температура
2. Давление
3. Расход /скорость флюида
4. pH
5. Содержание CO2
6. Режим течения (смачивания стенки водой)
7. Скорость коррозии методами LPR\ ER
8. КННС

ПРОМЫСЛОВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС. АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

БЕЗ НАЛИЧИЯ ВОДОЙ ФАЗЫ РЕАКЦИИ CO_2 КОРРОЗИИ В ТРУБОПРОВОДАХ НЕ ПРОИСХОДЯТ

Прототип датчика смачивания стенки трубопровода водной фазой

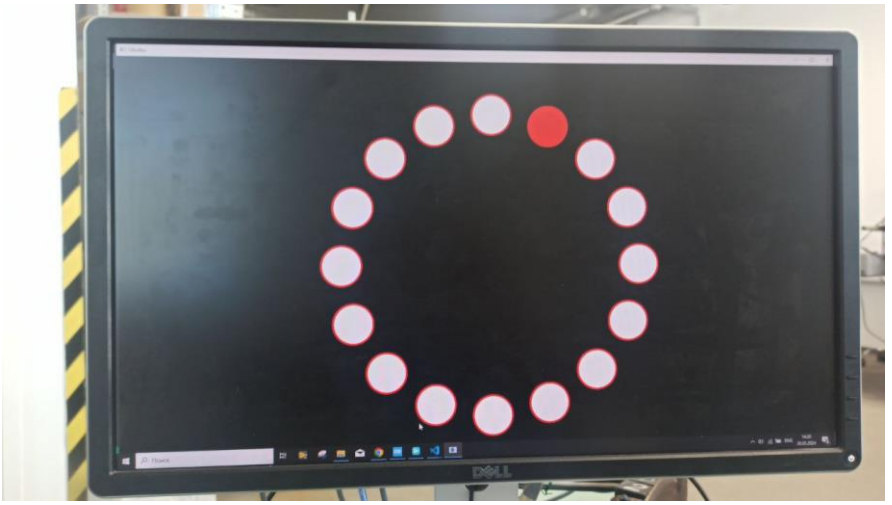
Задача датчика: определение области сечения трубопровода которая смачивается водной фазой



Установка электродов в трубу стенда



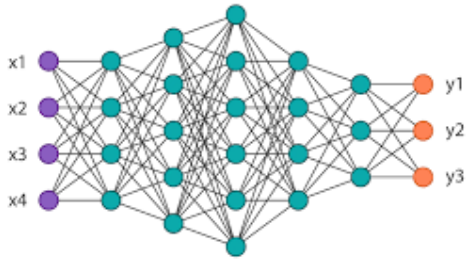
Тестирование прототипа



Модуль отображения информации от прототипа датчика на монитор ПК

ПРОМЫСЛОВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС. ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

Предиктивная аналитика на ИИ моделях



Результаты эксплуатации
- *Данные ВТД*
- *Данные УЗК*

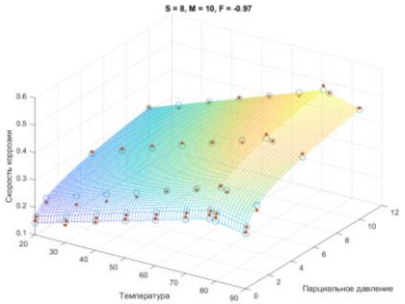
Параметры среды
- *PVT*

Параметры эксплуатации
- *Физ.хим. состав*
- *pH, минерализация*
- *ТВЧ, КВЧ*

Гибкая адаптивность к параметрам конкретного объекта

Нет взаимосвязи с факторами эксплуатации, составом среды, изменяемыми во времени

Предиктивная аналитика на Физических моделях



Параметры среды
- *Физ.хим. состав*
- *pH, минерализация*
- *ТВЧ, КВЧ*

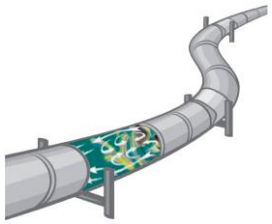
Параметры эксплуатации
- *PVT*
- *Режим течения (КННС, скорость)*

Параметры материала
- *хим. состав*
- *структура и свойства*

Прогноз 10+ лет. Результаты мониторинга используются для валидации моделей

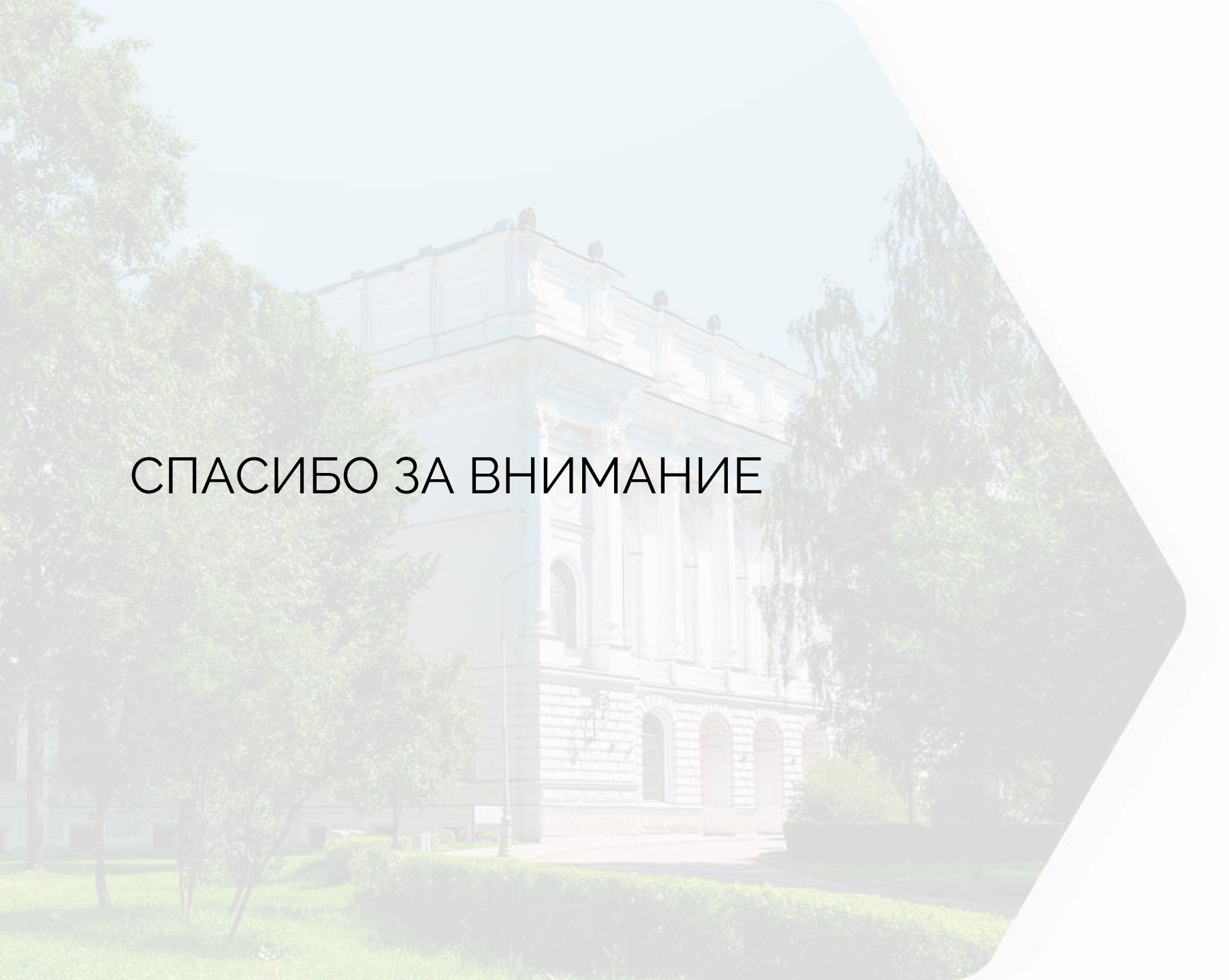
Базируется на физических процессах происходящих с материалом трубопровода в процессе эксплуатации

Гидродинамика



Гидродинамика
- *Режимы течения*
- *Скорости потока*
- *PVT*

Базируется на стандартных промышленных моделях и физических закономерностях



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Крук Павел Евгеньевич
Руководитель проектов
НТК «Новые технологии и материалы», СПбПУ

ПОЛИТЕХ
Научно технологический комплекс новые технологии и материалы

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Современные подходы к физическому моделированию коррозионных и эрозионных процессов в стендовых газогидродинамических комплексах

Демьянов Григорий Владимирович
Голубев Иван Андреевич

НТК Новые технологии и материалы
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого



Подходы к описанию мультифизических процессов в трубопроводе

ПОЛИТЕХ Научно технологический комплекс новые технологии и материалы

ПОЛИТЕХ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Объект

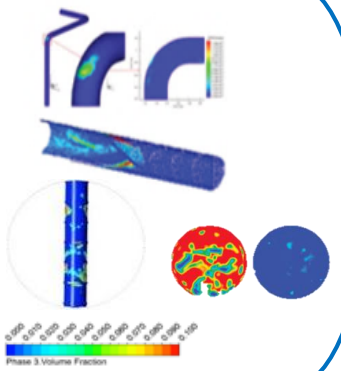
Идентификация объекта

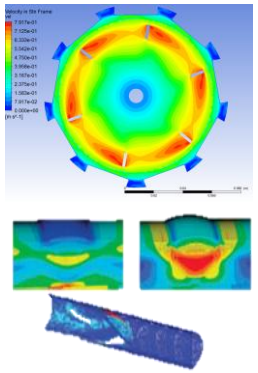
Математическая модель эксперимента

Математическая модель коррозионно-эрозионного износа



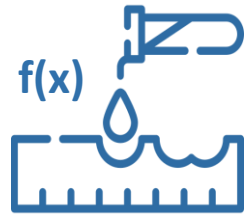












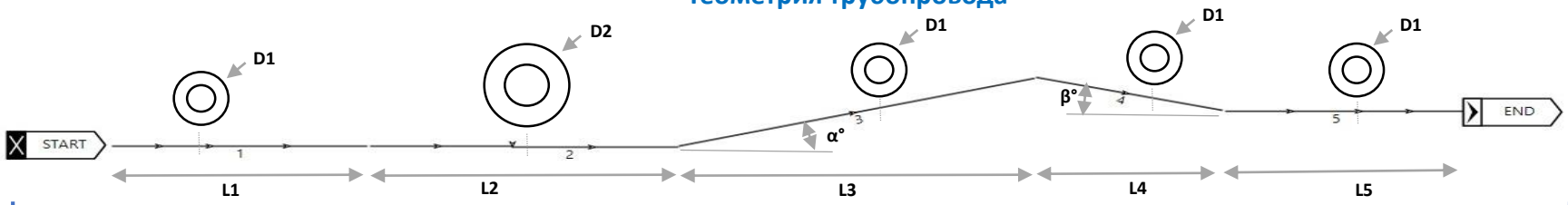
Газогидродинамическая модель объекта

Физические эксперименты

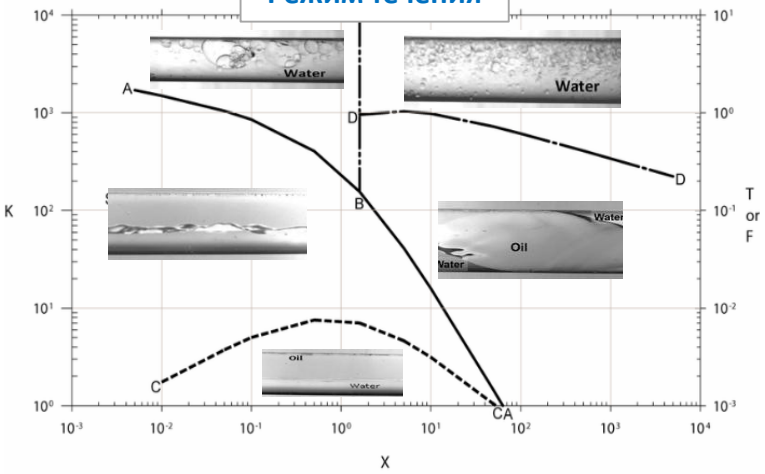
Обеспечение надежности трубопроводов

Полномасштабная газогидродинамическая модель трубопровода

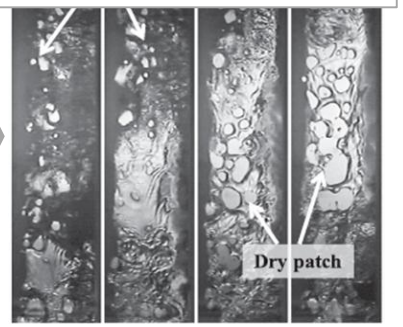
Геометрия трубопровода



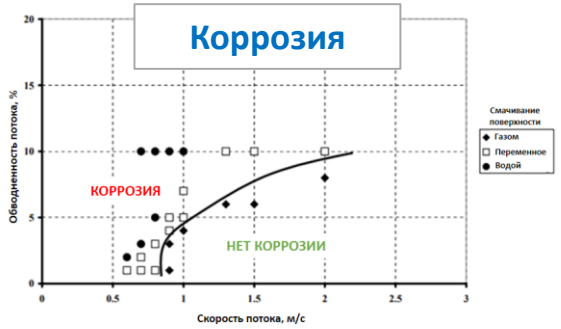
Режим течения



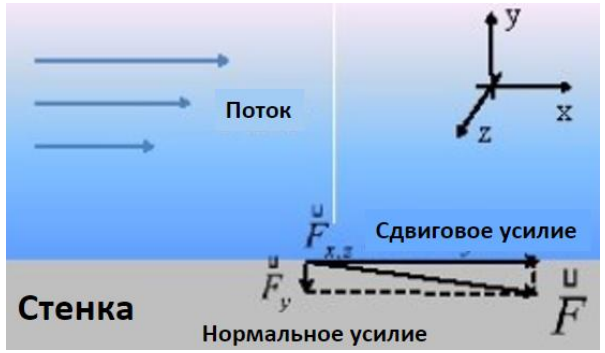
Смачивание поверхности



Коррозия



Касательные напряжения на стенке (КНнС)



Модель коррозии

PVT

- Фазовое состояние
- Вязкость
- Плотность

Возможность использования результатов сторонних PVT симуляторов

Текущие подходы к лабораторным испытаниям

Испытания в ячейках



Учитывает: атмосферное давление, стационарная среда, концентрация CO_2 до 1,7 г/л

Не учитывает: T, $P_{общ}$, P_{CO2},

НТД: ТТТ-01.02.04-01 ПАО «Газпром нефть»; методика ЗАО НИПЦ «НефтеГазСервис»; методика АО «РусНИТИ»

Стандартизированные лабораторные испытания при приемо-сдаточном контроле продукции

Моделирование механизмов ***общей коррозии***

U-образная ячейка



Учитывает: атмосферное давление, динамическая среда

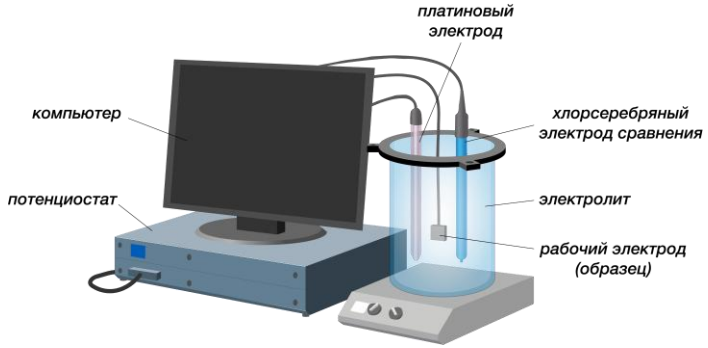
Не учитывает: T, $P_{общ}$, $P_{CO2.}$ многофазный поток

НТД: СТО Газпром 9.3-007-2010

Лабораторные испытания ингибиторов коррозии

Моделирование механизмов ***общей коррозии***

Электрохимическая ячейка



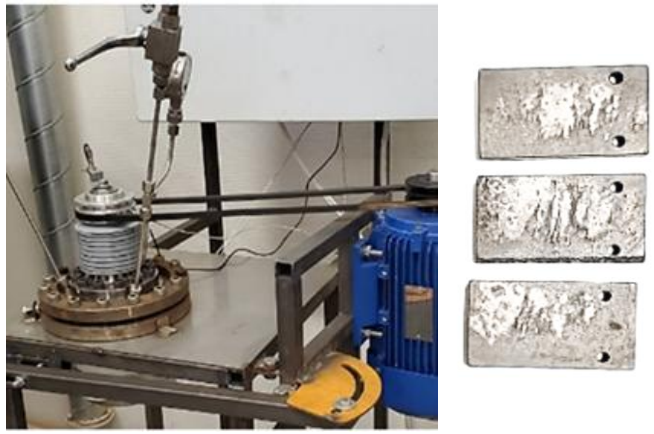
Учитывает: атмосферное давление, стационарная среда

Не учитывает: T, $P_{общ}$, P_{CO2}

НТД: ASTM G59

Лабораторные испытания ингибиторов коррозии, ранжирование материалов по коррозионной стойкости, ***оценка максимально возможной скорости коррозии для данного материала*** *в данных условиях, определение электрохимического потенциала материала*

Автоклавные испытания



Учитывает: повышенное давление, стационарная/динамическая среда, повышенная температура

Недостатки: Используется ряд технических допущений, приводящих к низкой достоверности и сходимости результатов с реальными объектами.

НТД: ASTM G170

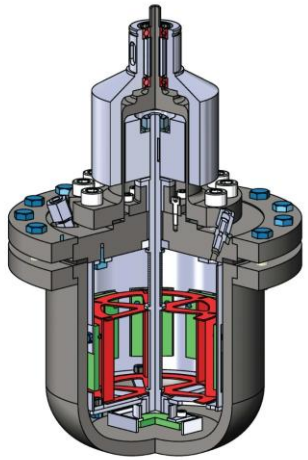
Лабораторные испытания, моделирующие условия эксплуатации

Моделирование ***механизмов общей, локальной (язвенной, питтинговой, мейза-коррозии)***

Подходы к стендовым испытаниям

ОБЩАЯ КОРРОЗИЯ

Динамический автоклав



- Высокие температуры и давления
- Воссоздание процессов гидродинамики и скорости потока
- Воссоздание КНнС
- Гравиметрические исследования



TOL

Стенд «flow-loop» коррозионно-эрозионных испытаний



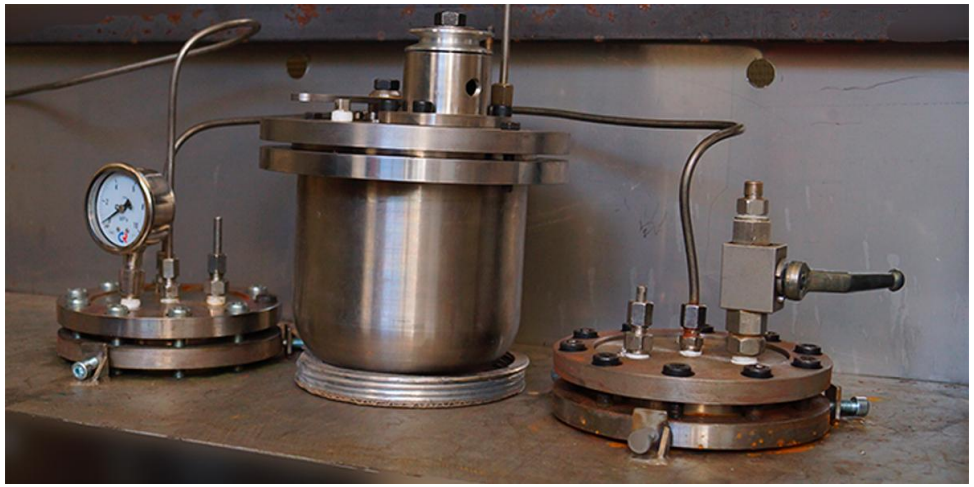
- Высокие температуры
- Низкое давление
- Воссоздание процессов эрозионного и коррозионного износа одновременно
- Воссоздание процессов конденсации
- Электрохимические исследования
- Гравиметрические исследования

ЛОКАЛЬНАЯ КОРРОЗИЯ

BOL

Автоклавный комплекс

Статические автоклавы



Характеристики:

- Температура до 300°С
- Давление до 150 бар
- Объем от 1.5 до 10 л

Автоклав изгиб с вращением



Характеристики:

- Температура до 300°С
- Давление до 150 бар
- Объем 1.5 л

Динамический автоклав



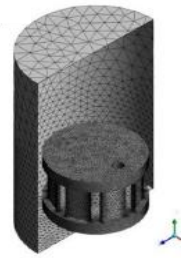
Характеристики:

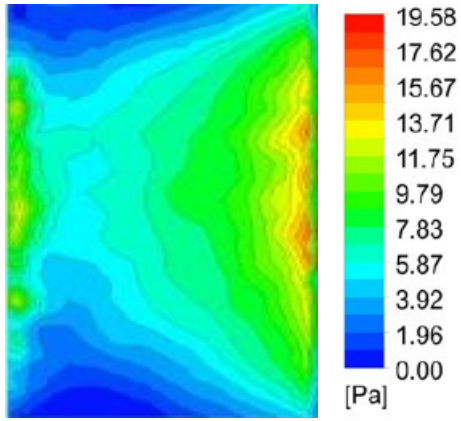
- Температура до 150°С
- Давление до 150 бар
- Объем 2 л
- Скорость потока 1–20 м/сек
- Воспроизводимый уровень КНнС до 50 Па

Эквивалентность условий испытаний с объектом

Стандартная конструкция автоклава с мешалкой из ASTM G170-06







С неравномерным распределением КННС по образцу

Единообразие условий от эксперимента к эксперименту

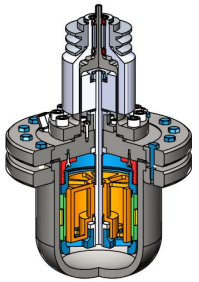
Не отображают реальных условий работы трубопровода

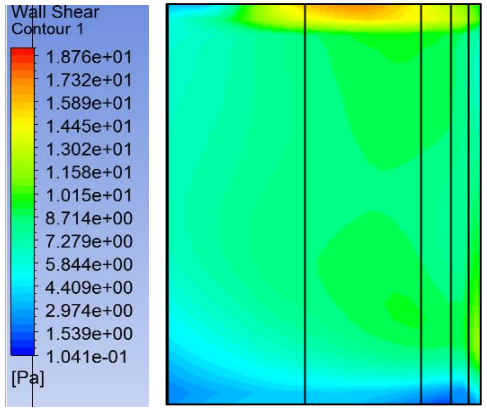
Реальные условия эксплуатации трубопроводов -
равномерное распределение КННС в трубопроводе



КННС в трубопроводе ~ КННС в стенде ASTM G170 – 06

Улучшенная конструкция автоклава с мешалкой



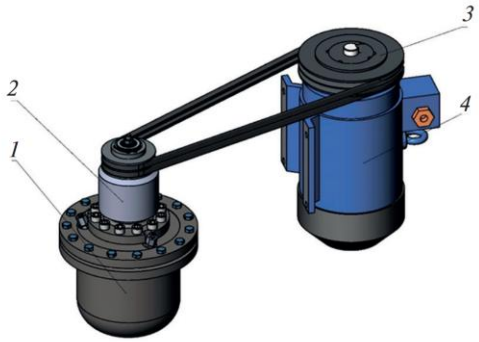


С равномерным распределением КННС по образцу

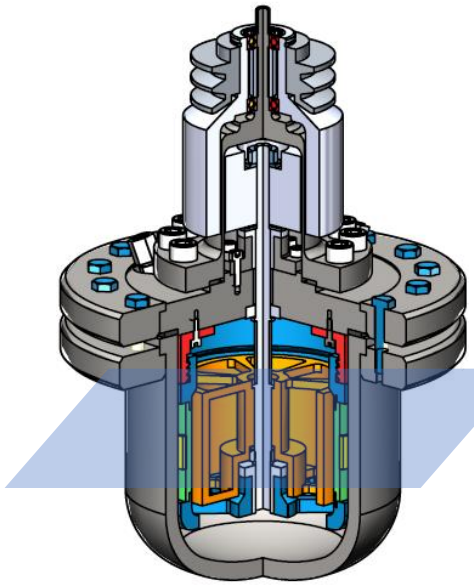
Единообразие условий от эксперимента к эксперименту

Отображают реальные условия работы трубопровода

Стенд Динамический автоклав

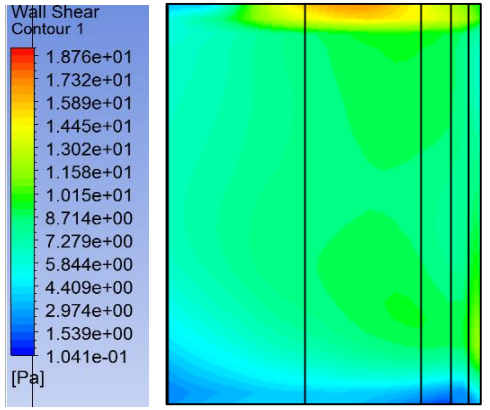


1 - автоклав, 2 - магнитная муфта,
3 - клиноременная передача,
4 - электродвигатель



3D модель конструкции

Цифровая копия стенда



Используемое ПО:
Ansys CFX

Размерность модели:
3Д

Управляемые параметры:
- **свойства флюида**
- **скорость вращения мешалки**

Учет параметров:
турбулентность в пристеночной области

Характеристики

- Рабочая температура ≤ 150 °C
- Рабочее давление 150 бар
- Скорость потока 1-20 м/с
- КННС – до 50 Па

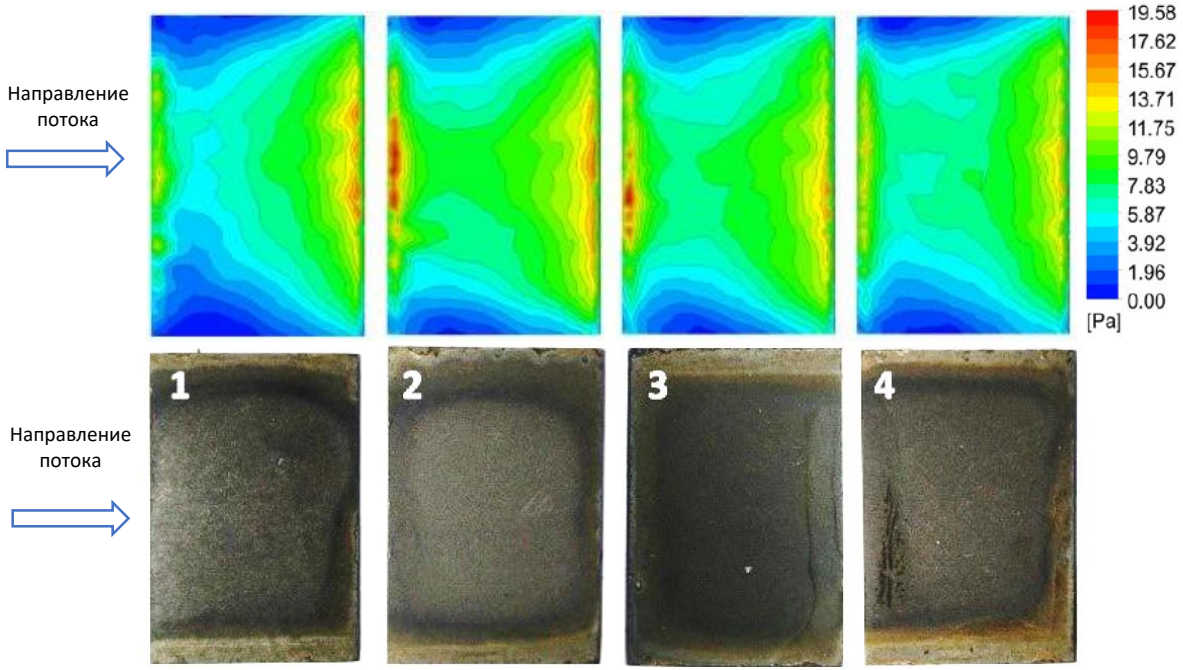
Решаемые задачи

- Моделирование условий эксплуатации материала в присутствии потока
- Оценка скорости коррозии и анализ поверхности

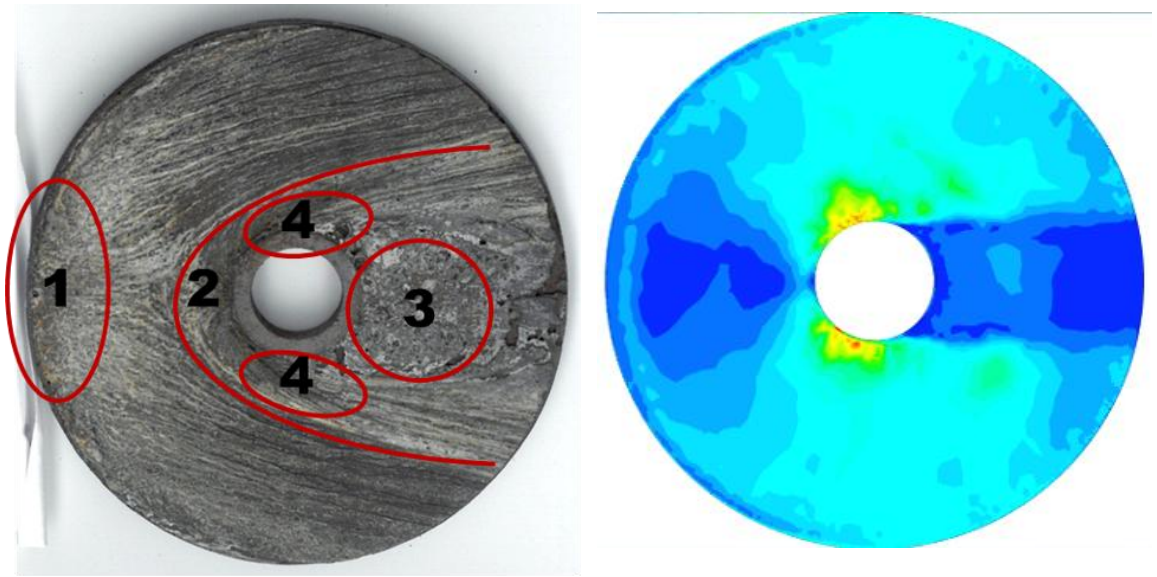




Взаимосвязь касательных напряжений и распределения продуктов коррозии



Качественная сходимость распределения КНнС в модели с износом поверхности после испытаний*

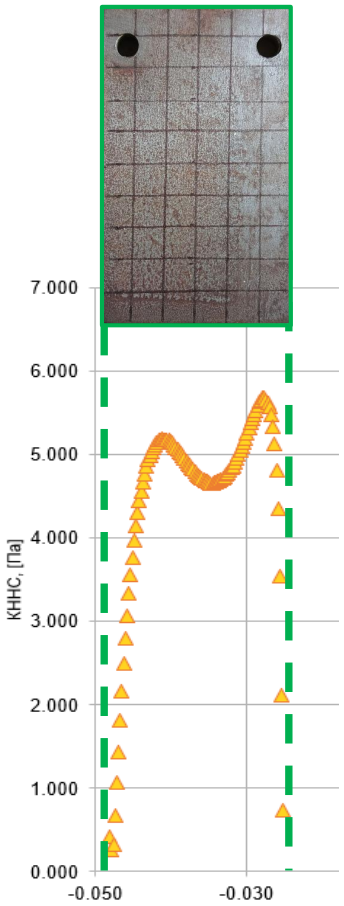


Количественная сходимость коррозионных потерь на образцах УКК с распределением КНнС по поверхности

*Souza R. C. et al. The Influence of Rotating Cage Geometry and Baffles on the Wall Shear Stress Equation in Sweet/Sour Corrosion //Materials Research. – 2022. – Т. 25. – С. e20210487.

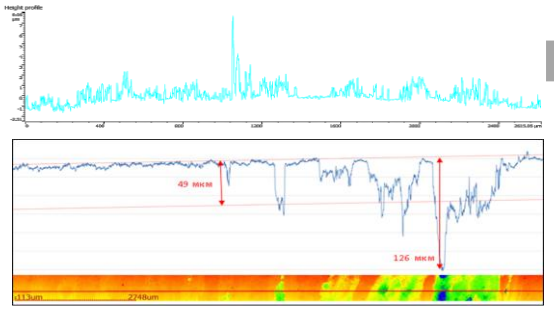
1 Распределение КНнС

Моделирование

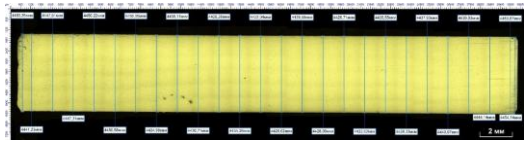


2 Анализ рельефа поверхности после испытаний

Оптический профилометр



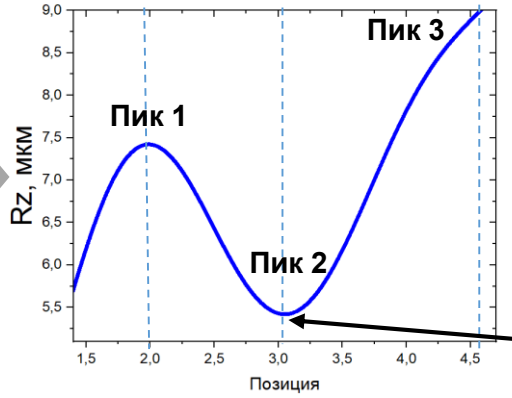
Металлография



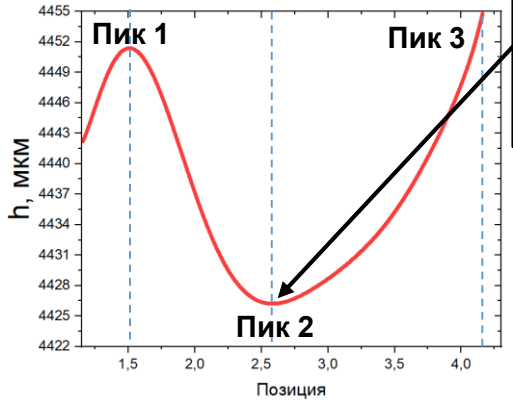
Внешний вид рельефа поверхности

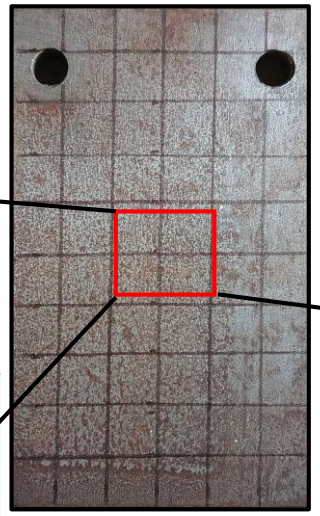
3 Сопоставление результатов и установление взаимосвязи

Оптический профилометр

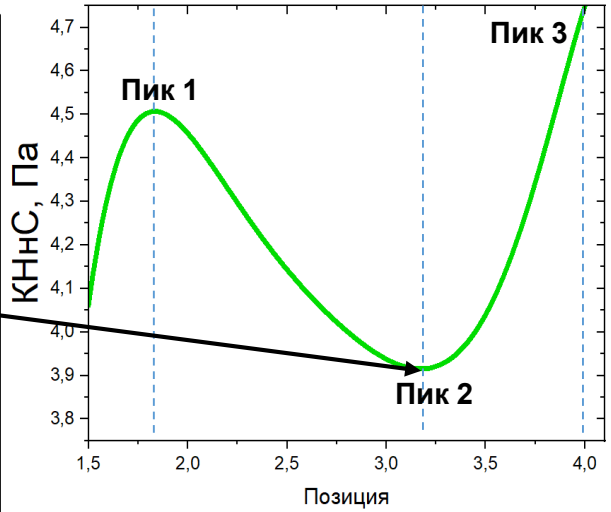


Металлография





МОДЕЛИРОВАНИЕ



92%

Совпадение модели и рельефа поверхности

Распределение КНнС совпадает с рельефом поверхности образца после испытаний на **92%**

Стенд коррозионно-эрозионного износа



Технические характеристики

- давление - атмосферное
- расход до 10 $м^3$/ч

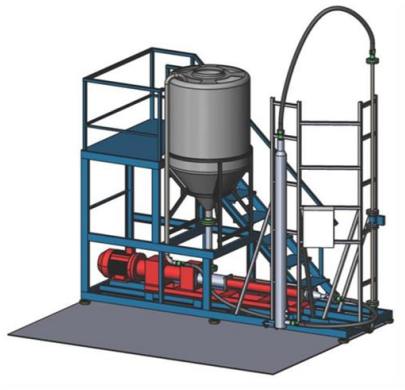
Достоинства:

- испытания с контролем гидродинамики
- моделирование режима течения
- контроль эрозионных частиц

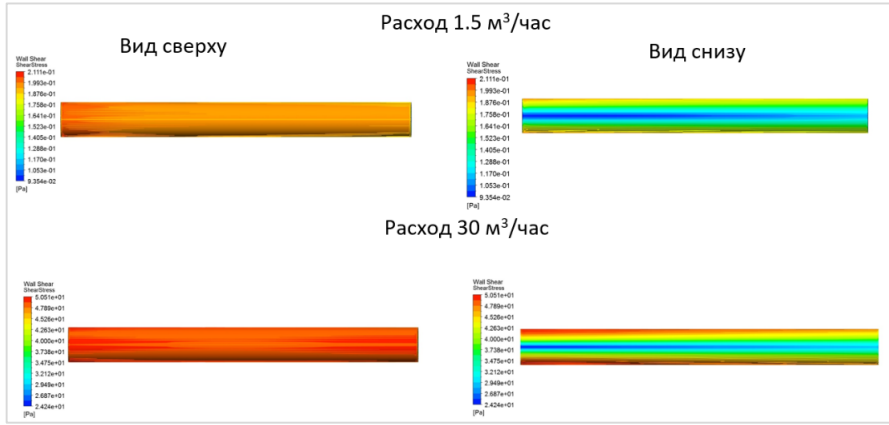
Недостатки:

- негерметичный контур
- нет участка контроля деградации в процессе испытаний
- нет участка контроля режима потока

Модель стенда коррозионно-эрозионного износа

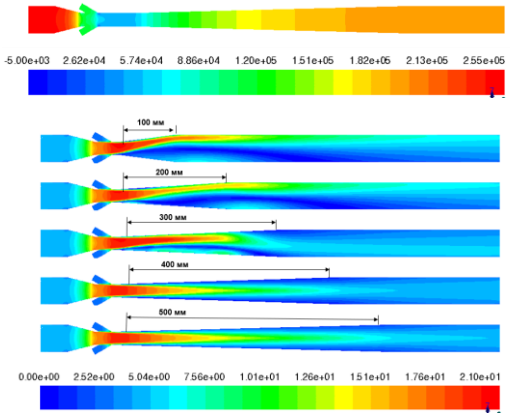


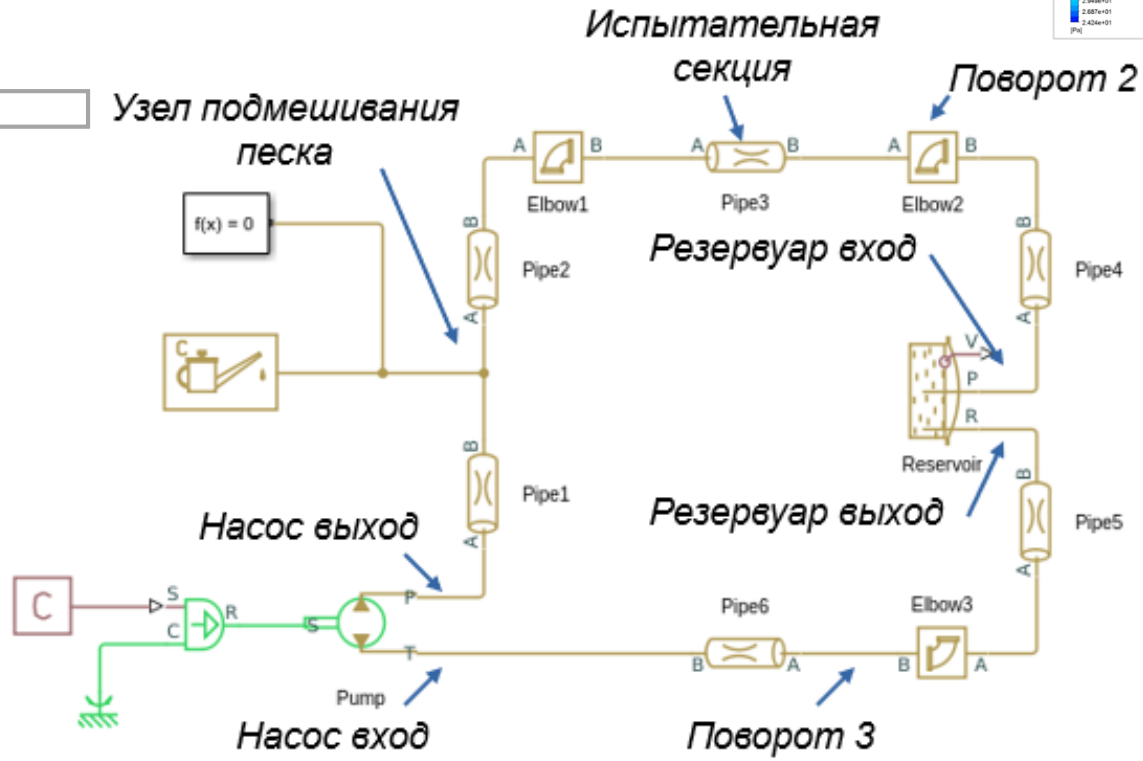
Создание параметрических моделей для оценки и контроля параметров. Получение сходимости испытаний с условиями объекта



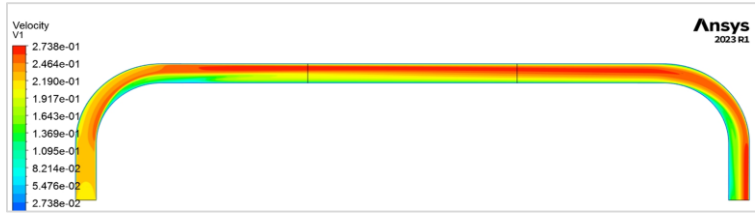
Испытательная секция

Узел подмешивания песка

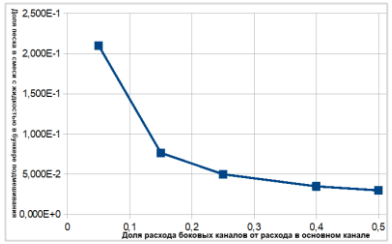




Моделирования КННС



Оптимизация конструкции



Определение режима подачи песка

Испытательная секция

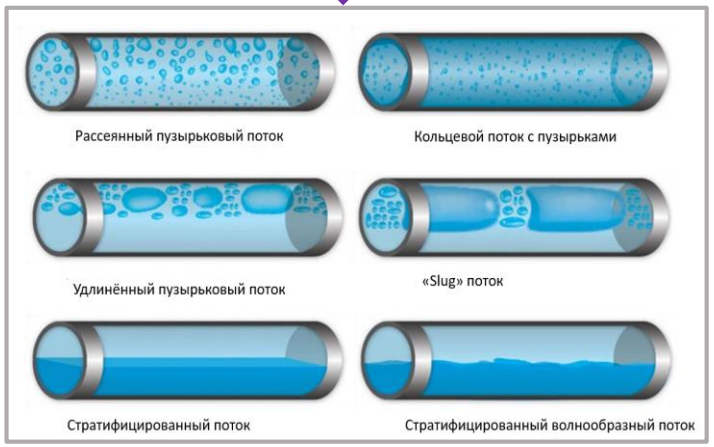
Узел контроля течения

Верхняя образующая

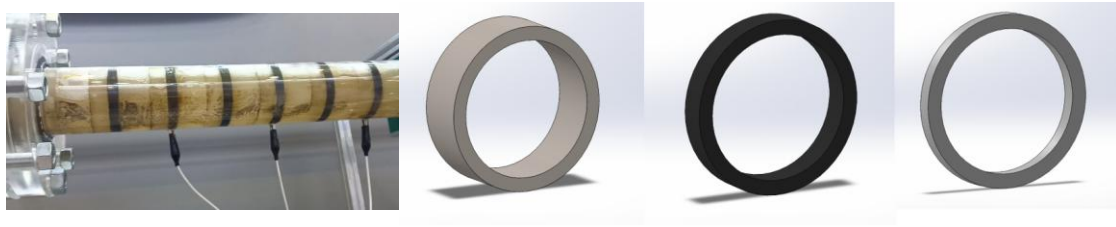


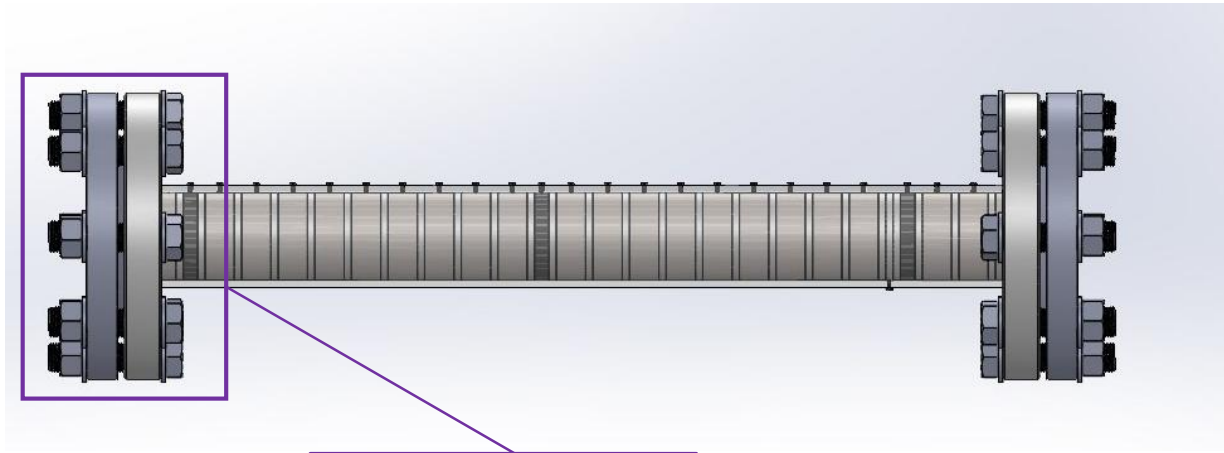
Нижняя образующая

Режимы течения



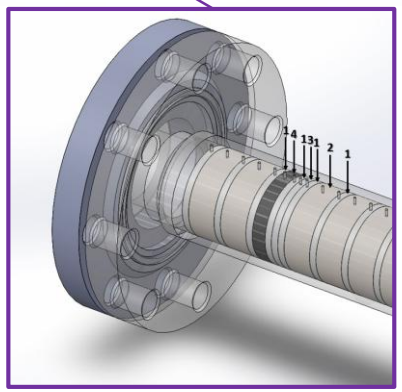
LPR секция





Технические характеристики стенда:

- давление до 3 бар
- максимальный расход - 10 м^3/ч
- проточная часть – нержавеющая сталь, органическое стекло, участки трубопровода



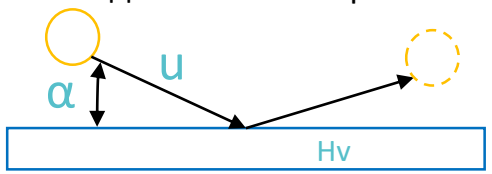
Получаемые данные:

- Расход
- Давление
- Температура
- Потеря массы образца
- Режим течения
- Скорость коррозии через LPR

Разработка модели эрозии

Базовая модель эрозии Ока

для 1-й частицы



Общая эрозия

$$\mathrm{E}(\alpha) = g(\alpha) \cdot E_{90}$$

Эрозия под углом 90°

$$E_{90} = K(\alpha H_V)^{k_1} \cdot \left(\frac{u}{u_{ref}}\right)^{k_2} \cdot \left(\frac{D}{D_{ref}}\right)^{k_3}$$

Эрозия под произвольным углом

$$g(\alpha) = (\sin\alpha)^{n_1} \cdot \left(1 + H_V(1 - \sin\alpha)\right)^{n_2}$$



Эрозионные испытания

Настройка модели с помощью эмпирических коэффициентов

$n_1, n_2, k_1, k_3, k_2, u_{ref}, D_{ref}, K$

Оптимизированная модель эрозии

Сходимость эксперимента и модели более 90%

Новый алгоритм расчета эрозии

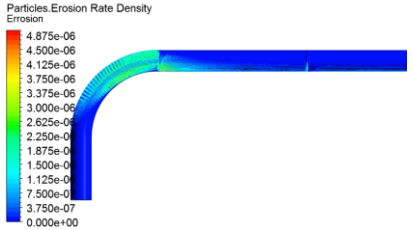
Данные по трубопроводам с объекта:

- геометрия
- расход
- концентрация частиц

База данных CFD

	zone	speed	tube_length	particle_diameter	particle_concentration
1	5.0	2.3	100.0	0.00015	9.999851158711 08e-06
2	4.0	2.3	100.0	0.00015	9.999851158711 08e-06
3	6.0	1.3	100.0	0.00015	.000091574027 0223e-05
4	3.0	2.3	100.0	0.00015	9.999851158711 08e-06
5	5.0	2.3	100.0	0.00015	0.000799926583 5401359
6	4.0	2.3	100.0	0.00015	0.000799926583 5401359
7	1.0	2.3	100.0	0.00015	9.999851158711 08e-06
8	6.0	1.3	100.0	0.00015	0.000800127671 167974
9	5.0	2.3	100.0	0.00015	0.009999851158 711081
10	4.0	2.3	100.0	0.00015	0.009999851158 711081
11	3.0	2.3	100.0	0.00015	0.000799926583 5401359

Расчет скорости эрозионного износа



Границы применимости модели:

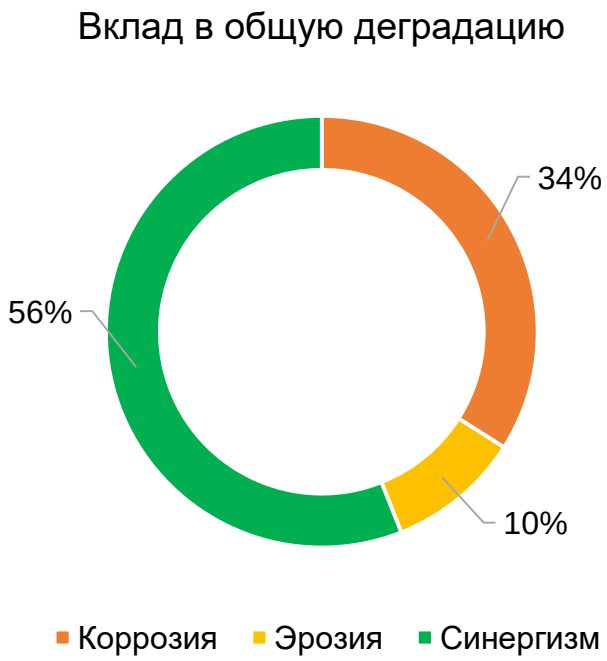
Скорость потока от 0,3 до 15 м/с

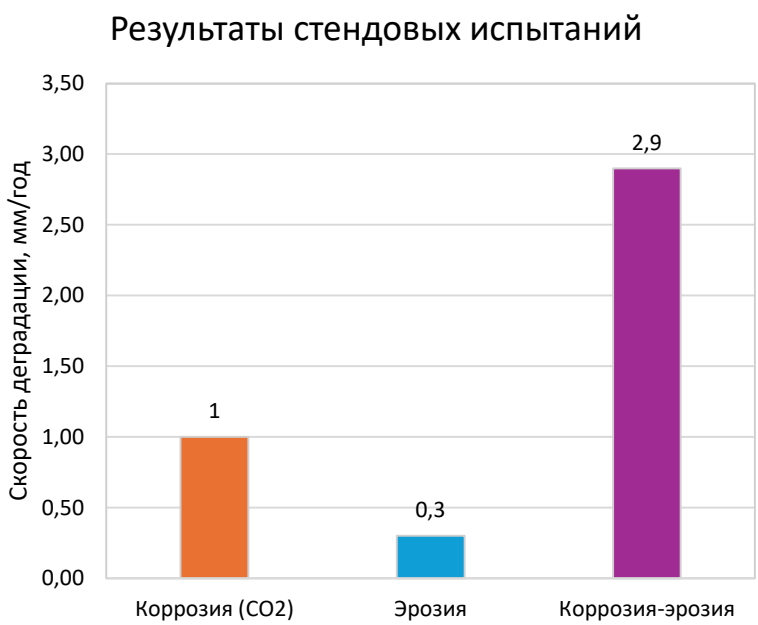
Концентрация частиц от 0,00001 до 7 г/л

Диаметр частиц от 150 до 700 мкм

Коррозия-эрозия. Синергетический эффект







Общая деградация = Чистая коррозия + Чистая эрозия + Эффект влияния эрозии на коррозию + Эффект влияния коррозии на эрозию

Синергизм

$$WL_{EC} = CR_{PC} + ER_{PE} + \Delta Syn$$

WL_{EC} – общая деградация материала при коррозии-эрозии
CR_{PC} – значение коррозии, полученное из модели коррозии
ER_{PE} – значение эрозии, полученное из модели эрозионного износа
ΔSyn – коэффициент синергии, полученный по результатам испытаний

Заключение

ПОЛИТЕХ
Научно технологический комплекс новые технологии и материалы

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

- Представленный подход к физическому моделированию в стендовых газогидродинамических комплексах позволяет максимально приближенно воспроизводить реальные условия эксплуатации трубопровода

- Комбинация гидродинамического подбора режимов и учета ключевых факторов — давления, температуры, касательных напряжений, pH, концентрации коррозионно агрессивных компонентов — обеспечивает достоверную оценку коррозионной и эрозионной стойкости материалов

- В совокупности это дает возможность не только прогнозировать сроки службы трубопровода, но и формировать научно обоснованные рекомендации по выбору материалов и защитных технологий



НПЦ САМАРА

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Электрохимические методы контроля различных систем антикоррозионной защиты.

Веревкин Александр Григорьевич,
ООО «НПЦ «Самара»

Многоэлектродная ячейка



Проблематика и идея создания многоэлектродной ячейки

Накопление шламообразных отложений (песка, глины, механических примесей и продуктов коррозии, таких как карбонаты железа и сульфиды железа), может привести к ускоренной коррозии, а также данные отложения могут привести к плохой эффективности действия ингибитора коррозии.

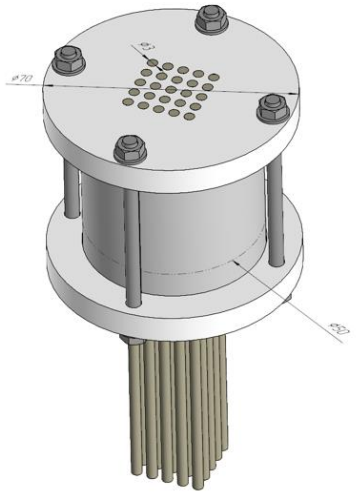
Многоэлектродная ячейка предназначена для картирования (распределения) плотности тока на образце для мониторинга локализованной коррозии в лабораторных условиях.

2

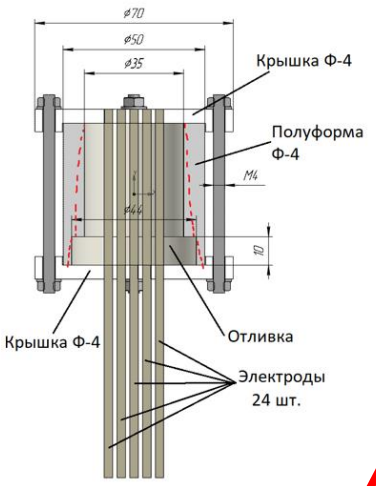
Общий вид многоэлектродной ячейки



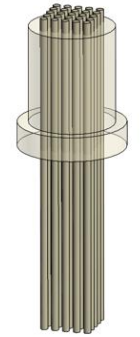
Форма отливки

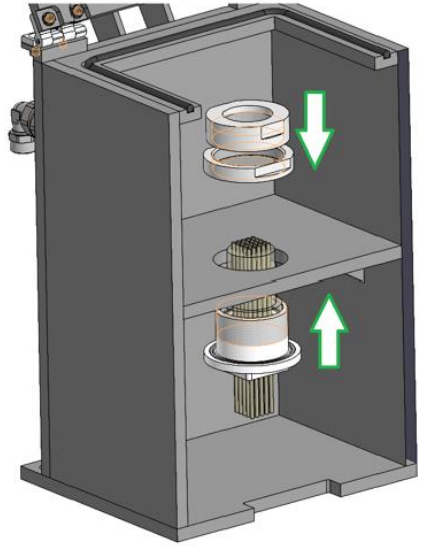


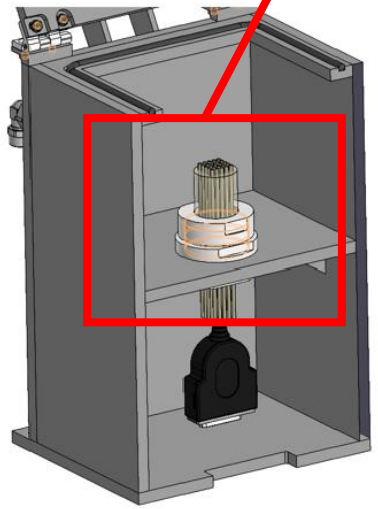
Форма отливки



Готовая отливка с электродами









3

Условия проведения испытаний

В качестве имитации нижней образующей трубы применялась многоэлектродная ячейка из Ст 3, состоящая из 25 электродов. Температура проведения испытаний 23±3 °С (возможно проведение испытаний при более высоких температурах ~ 60 °С).

Модельная среда: раствор 3% NaCl в дистиллированной воде. Объем испытательной ячейки 3 л.

Дозировка ИК варьировалась следующим образом:

Исходная дозировка 25 мг/л,

Вторая дозировка 125 мг/л, (х5)

Третья дозировка 2500 мг/л. (х100)

Осадки различного гранулометрического состава и глина:



90-190 мкм

6-10 электроды



300-600 мкм

11-15 электроды



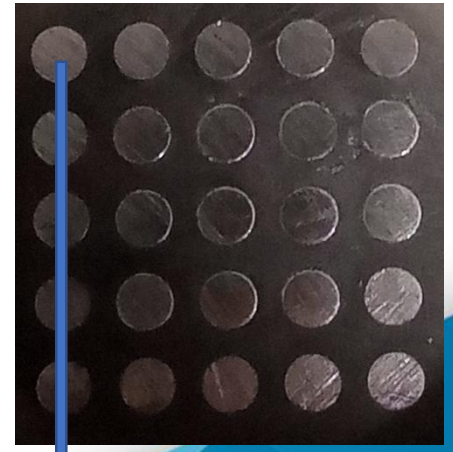
1,9-3,5 мм

16-20 электроды



глина

21-25 электроды



1-5 электроды без отложений

Методика проведения эксперимента

Параметры в системе (количество ИК, гранулометрический состав осадков) варьировались для определения различия в плотности тока от времени выдержки образцов. Параметр плотности тока рассчитывался по формуле 1:

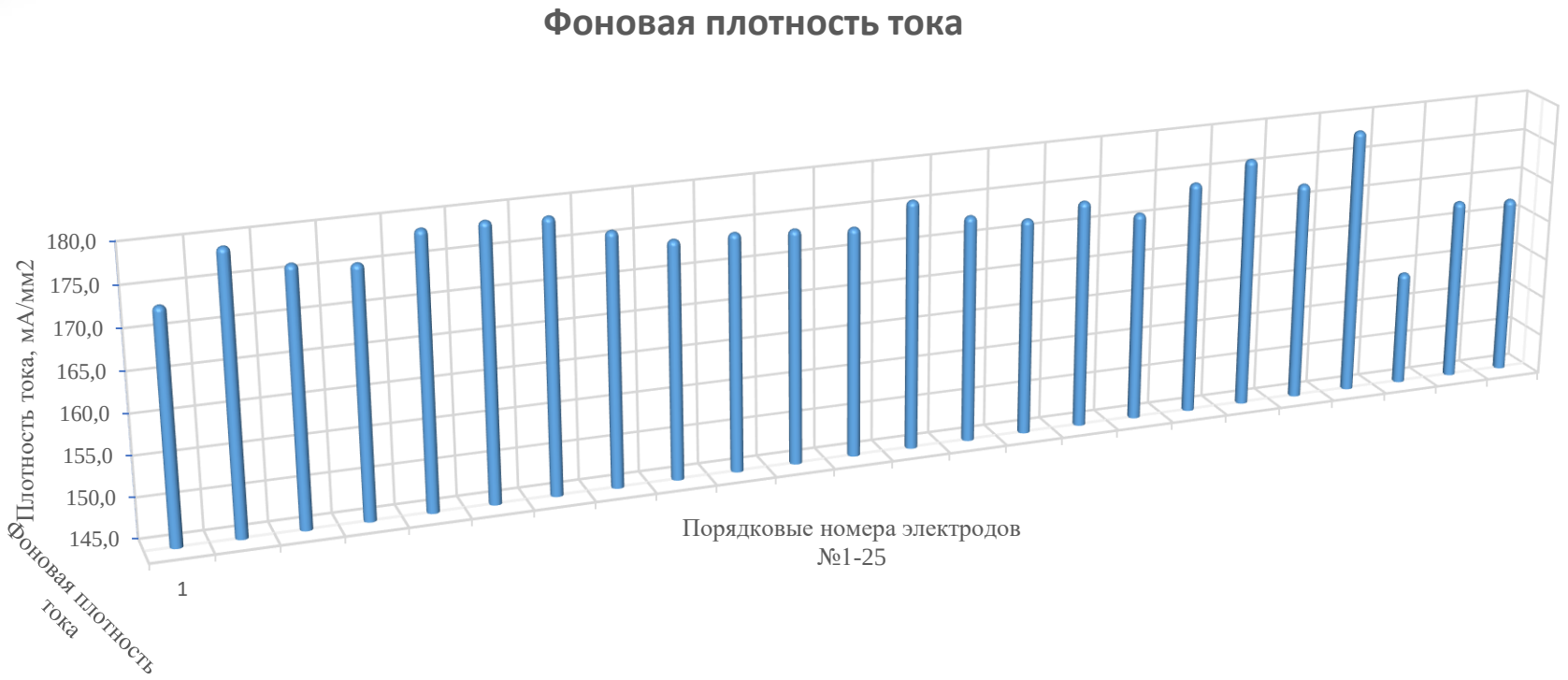
$$j = \frac{I}{S} \qquad (1)$$

Где j-плотность тока в системе мкА/см^2, I – ток в системе между платиновым электродом и испытательным образцом (мкА), S – площадь контакта испытуемого образца (см^2). Плотность тока показывает скорость электрохимической реакции в системе, о ней можно судить о стойкости материала к развитию коррозионных процессов.

Первоначально потенциостат считывал значения Eпол., исходя из этого задавалось значение Eпол.+dE мВ, после этого система считывала значение I коррозии и рассчитывала его исходя из коэффициента Штерна-Гири.

5

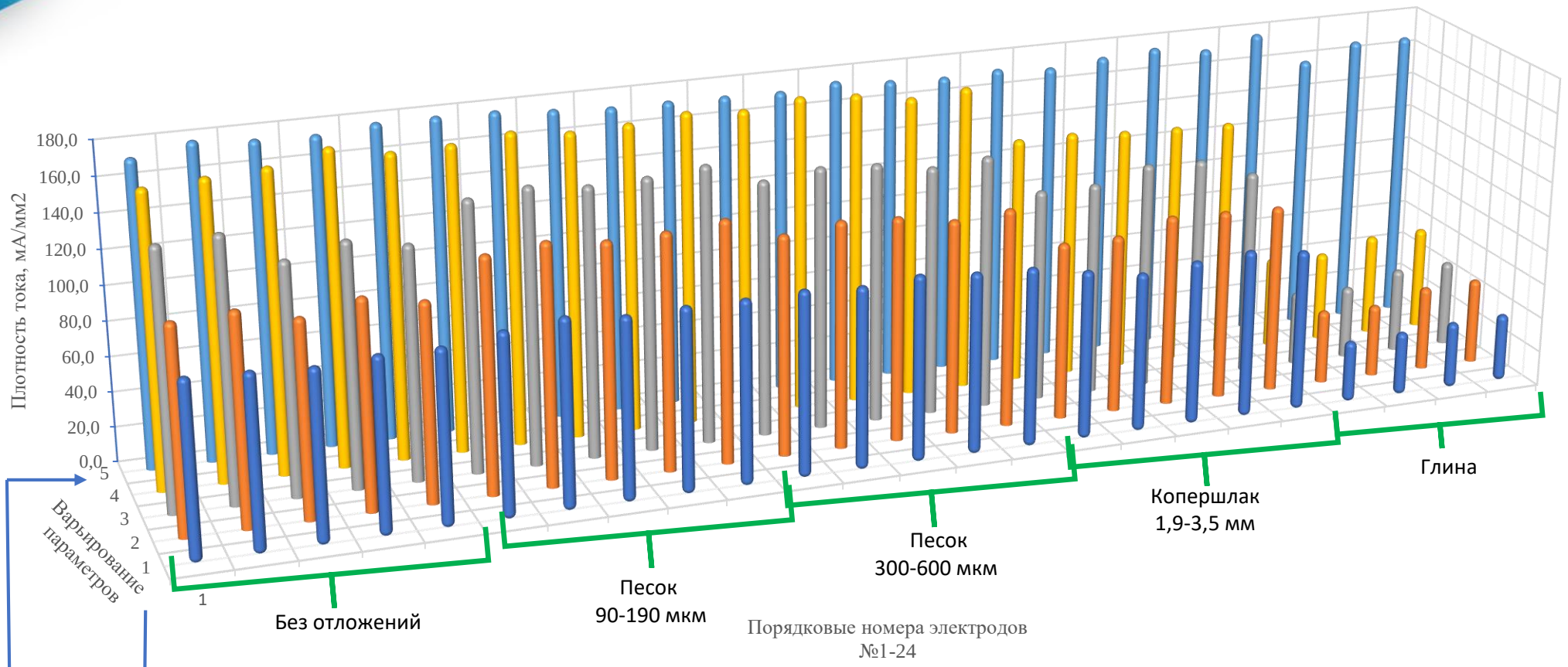
Результаты проведения испытаний



Фоновая скорость коррозии зависит от нескольких факторов, и является стохастическим процессом:
- Неоднородность материалов: Разные участки одного и того же материала могут иметь разные уровни коррозионной устойчивости.

- Электрохимические реакции: Эти реакции могут происходить с различной интенсивностью в зависимости от условий.
- Механические нагрузки: Нагрузки и напряжения могут изменяться, влияя на коррозионные процессы.

Результаты проведения испытаний



1 - фоновая плотность тока с фракциями песка; дозировка ИК - 2500 мг/л;
2 - фоновая плотность тока с фракциями песка; дозировка ИК - 125 мг/л;
3 - фоновая плотность тока с фракциями песка исходная дозировка ИК - 25 мг/л;
4 - фоновая плотность тока с фракциями песка без ИК;
5 - фоновая плотность тока.

Электрохимические методы исследования

Преимущества использования данного метода:

1) Экспресс-метод оценки;

2) Высокая чувствительность (разрешающая способность);

3) Метод неразрушающего контроля;

4) Представление о механизме коррозии (природе процесса);

5) Инструмент позволяющий оценивать эффективную дозировку ингибитора коррозии.

Преимущества многоэлектродной ячейки

Потенциальным преимуществом таких ячеек для изучения локализованной коррозии является:

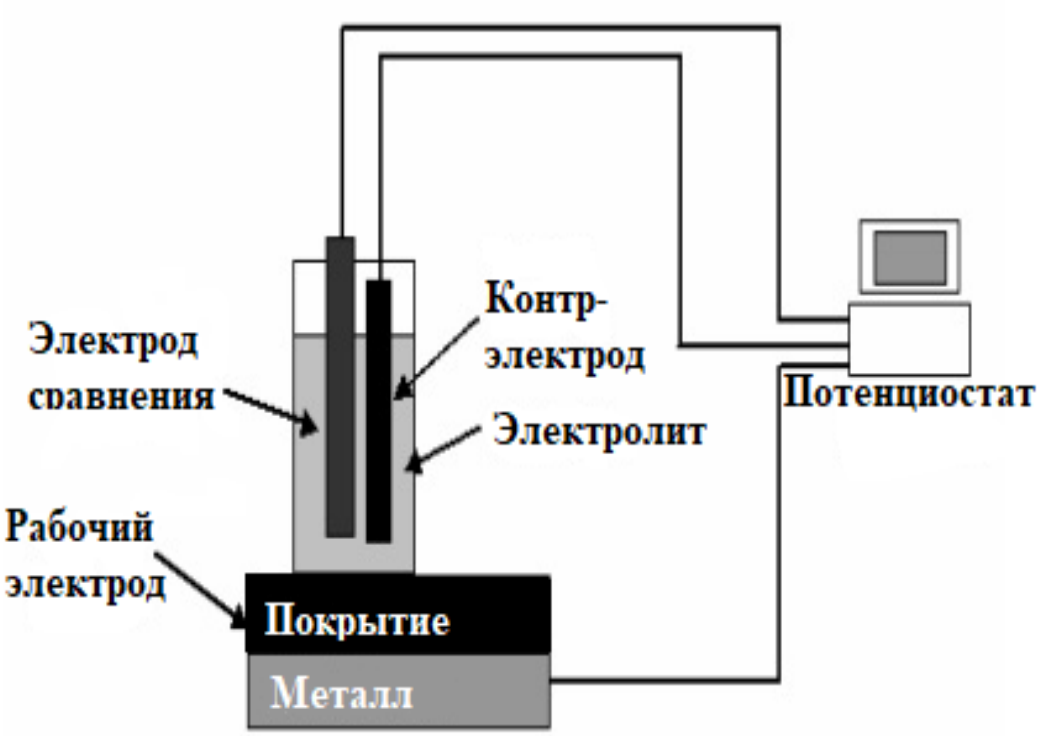
1) Способность оценивать влияние различных **предварительных обработок отдельных электродов** – шероховатость, степень загрязнения.

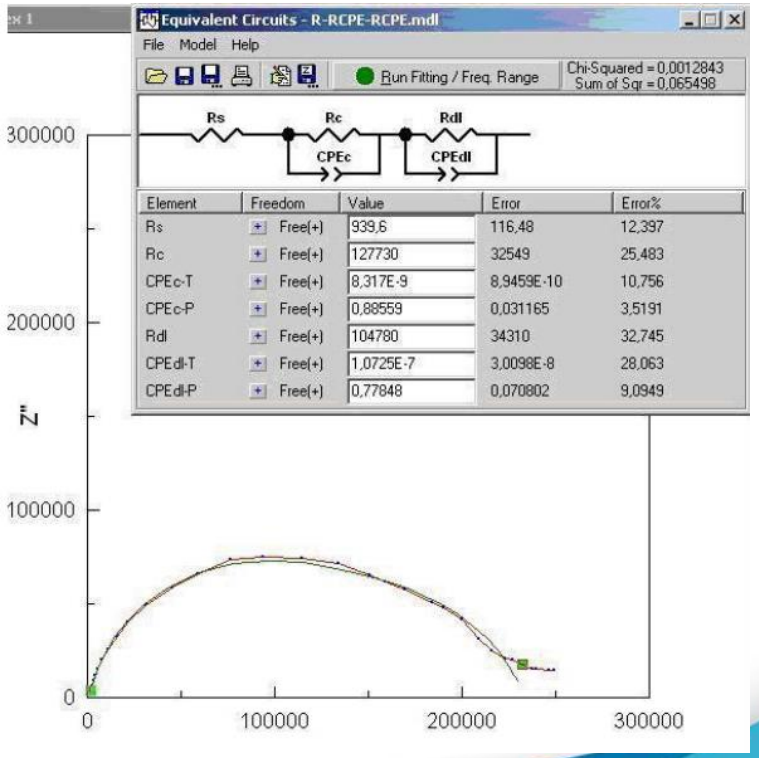
2) Путем испытаний подгрупп электродов с одинаковой предварительной обработкой (глубина коррозионного поражения, состав продуктов коррозии) в идентичных условиях можно легко выявить **любое статистическое изменение скорости локализованной коррозии**, не прибегая к обширным повторяющимся испытаниям, как при использовании традиционных методов.

3) Возможна демонстрация эффективности связанной многоэлектродной ячейки **для оценки ингибирования под отложениями коррозии** и формирование нового подхода к оценке эффективности методов защиты от коррозии.

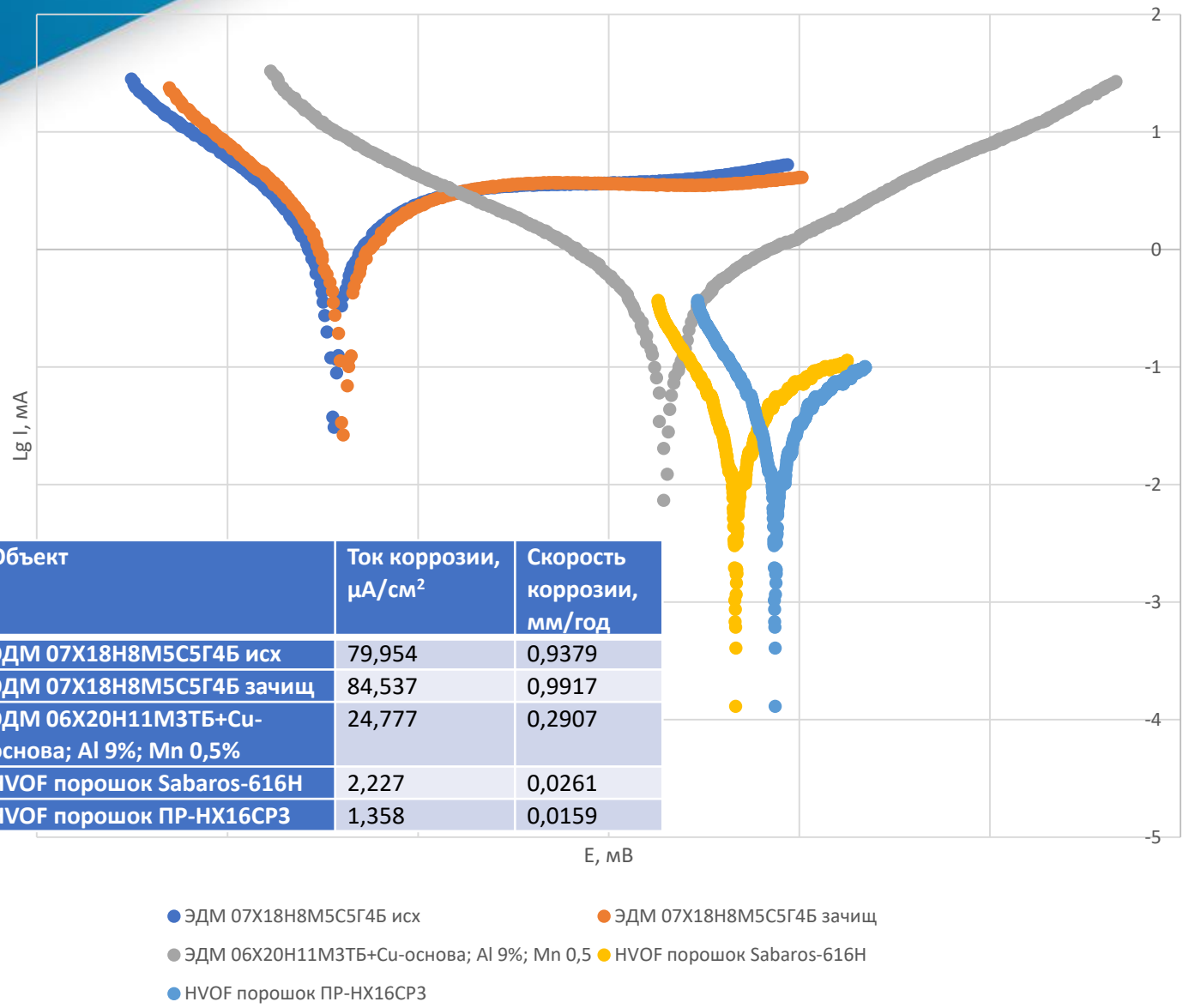
EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий

Электрохимическая импедансная спектроскопия (EIS) широко применяется для исследования антикоррозионных покрытий за счет ее способности оценивать целостность, проницаемость и адгезию покрытий к металлическим основаниям. Используя EIS, можно выявлять наличие микропор, трещин или других дефектов в покрытии, которые могут способствовать коррозии под покрытием. Этот метод позволяет изучать долговременную защитную эффективность антикоррозионных покрытий, предоставляя ценную информацию для разработки новых материалов и технологий защиты от коррозии.





Определение тока коррозии с помощью поляризационных кривых



Объект	Ток коррозии, μA/см^2	Скорость коррозии, мм/год
ЭДМ 07Х18Н8М5С5Г4Б исх	79,954	0,9379
ЭДМ 07Х18Н8М5С5Г4Б зачищ	84,537	0,9917
ЭДМ 06Х20Н11М3ТБ+Cu-основа; Al 9%; Mn 0,5%	24,777	0,2907
HVOF порошок Sabaros-616H	2,227	0,0261
HVOF порошок ПР-НХ16СР3	1,358	0,0159

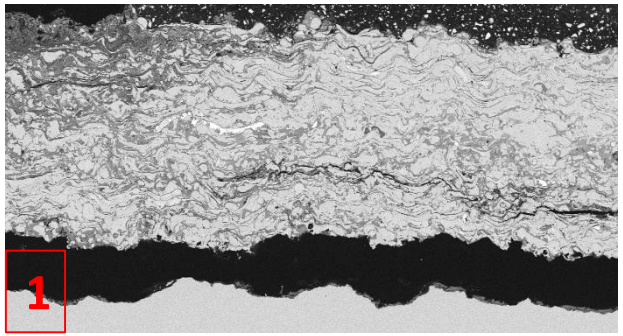
С помощью поляризационных кривых (кривые Тафеля) можно определить ток коррозии по наклону кривых анодных и катодных участков.

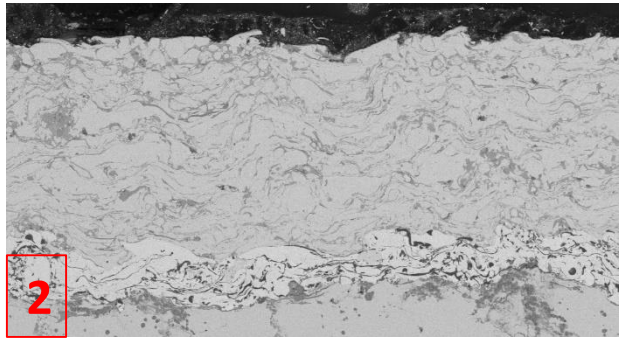
Покрытия, нанесенные методом ЭДМ, характеризуются пористостью до 5% и оксидными прослойками на границах ламелий, по которым проникает испытательная среда. Добавление проволоки из сплава на основе меди позволяет создать более плотное покрытие, плотность тока коррозии снижается.

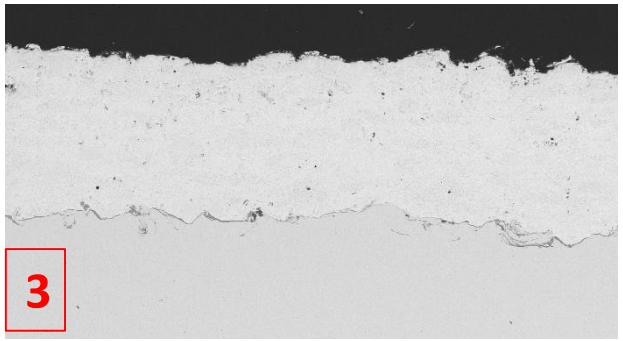
Покрытия, нанесенные методом HVOF, характеризуются плотной структурой, пористость не превышает 1%, и низким окислением частиц за счет высокой скорости напыления, что снижает плотность тока коррозии.

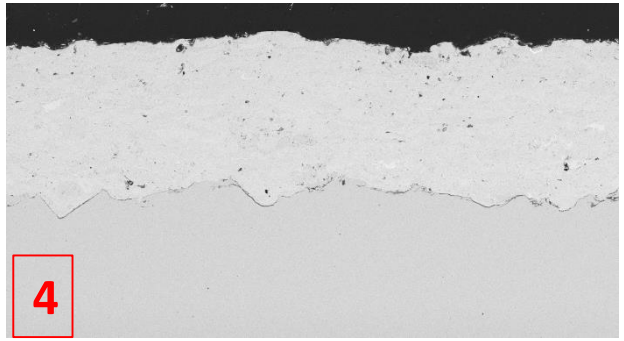
Автоклавные испытания покрытий

№ п/п	Объект	Величина адгезии (среднее), МПа		Снижение, %
		Исходная	После автоклава	
1	ЭДМ 07Х18Н8М5С5Г4Б исх	10	0	100
2	ЭДМ 06Х20Н11М3ТБ+Cu-основа; Al 9%; Mn 0,5%	13	5	62
3	HVOF порошок Sabaros-616H	19	19	0
4	HVOF порошок ПР-НХ16СР3	20	13	35







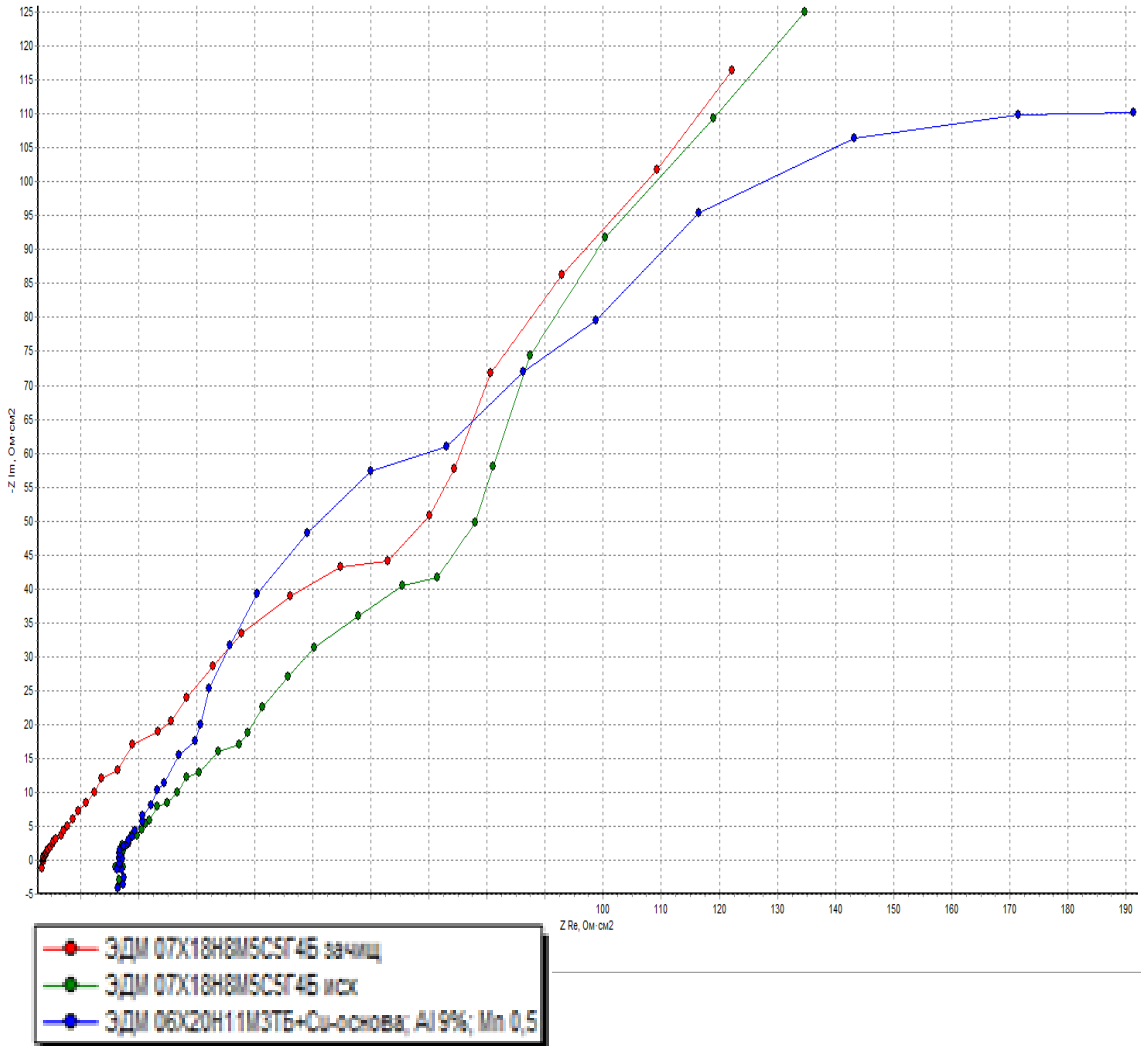


Испытания на стойкость к CO_2- и H_2S-содержащим средам проводились с использованием лабораторного автоклава в следующих условиях: среда 5 %-го водного р-ра NaCl, насыщенная CO2 (парциальное давление 4 МПа) и H2S (парциальное давление 1 МПа), при общем давлении 10 МПа и температуре 120 °С. Длительность испытаний составляла 240 часов. По завершению испытаний осуществлялся медленный сброс давления.

Покрытия, нанесенные методом ЭДМ, показывают низкие барьерные свойства, что выражается в образовании продуктов коррозии под покрытием и падении величины адгезии по сравнению с исходными значениями.

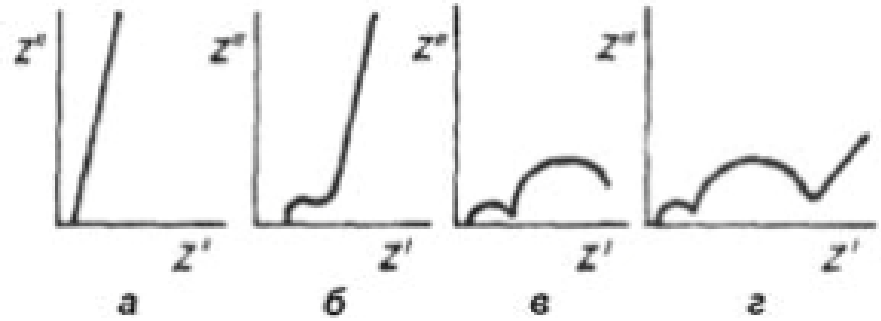
Покрытия, нанесенные методом HVOF, благодаря своей плотной структуре предотвращают проникновение испытательной среды к металлу подложки и тем самым адгезия покрытия сохраняется.

EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий



На диаграммах Найквиста видим, что снятие оксидного слоя, образующегося при нанесении ЭДМ покрытия, на больших частотах способствует взаимодействию металла покрытия с испытательной средой, что выражается в снижении сопротивления системы и смещении графика влево.

Добавление в покрытие проволоки на основе меди (синий цвет) повышает резистивность покрытия, что выражается в наклоне графика.



*1) Исходное покрытие (рис. 1а), график импеданса имеет вид наклонной прямой, которая моделируется элементом постоянной фазы (псевдоемкость);

2) проникновение H2O, катионов и анионов (рис. 1б), на графике появляется высокочастотная дуга;

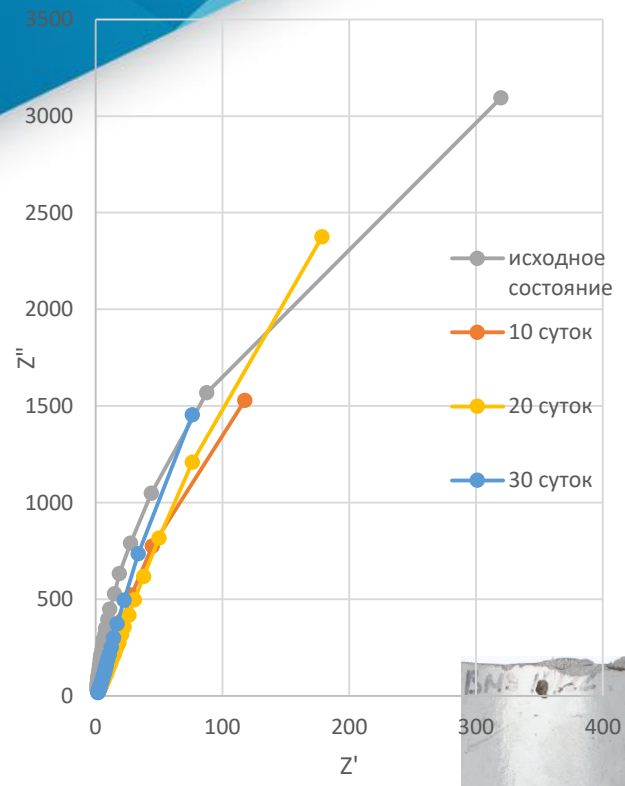
3) образование катодных и анодных участков (рис. 1в), на графике появляется низкочастотная дуга;

4) протекание электрохимических реакций с диффузионными ограничениями (рис. 1г), на графике появляется прямой участок с углом наклона 45°;

5) вздутие, пузырение покрытия, образование ржавчины, отслаивание покрытия, импеданс аналогичен металлу без покрытия.

*Соснин, Е.А. Импеданс лакокрасочных покрытий в водных нефтепромысловых средах/ Е.А. Соснин // КОРРОЗИЯ ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ. – 2017. – Т. 2(37). – С. 38-40.

EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий

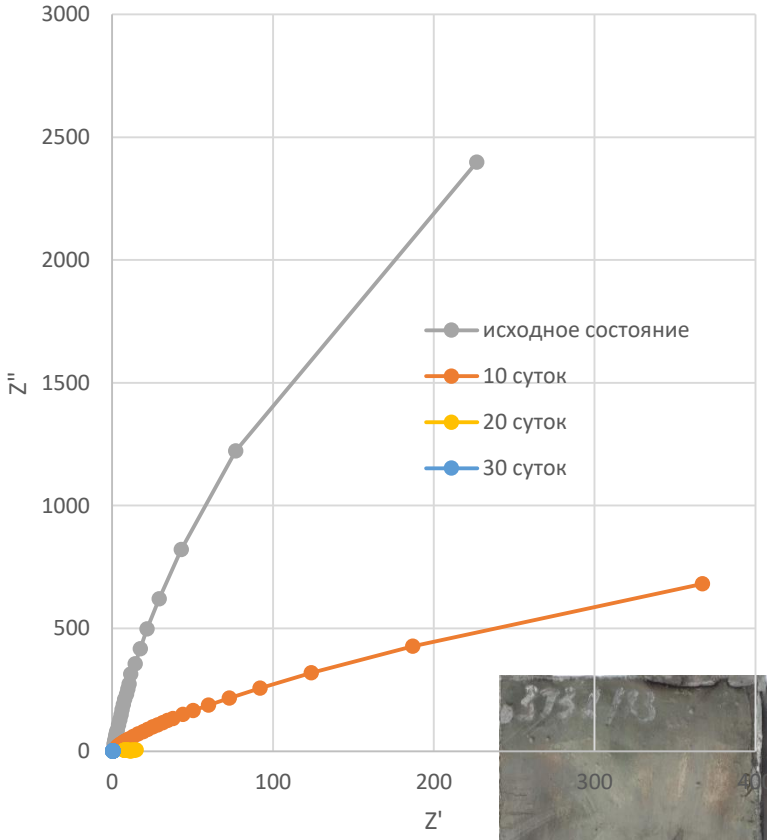




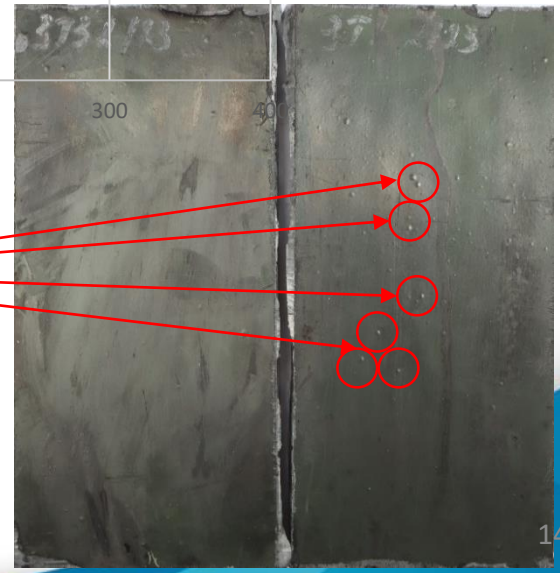
Условия в автоклаве:
PH2S=10атм
PN2=90атм
T=80°C

После выдержки в автоклаве в течение 10 суток

30 МПа отрыв по клею



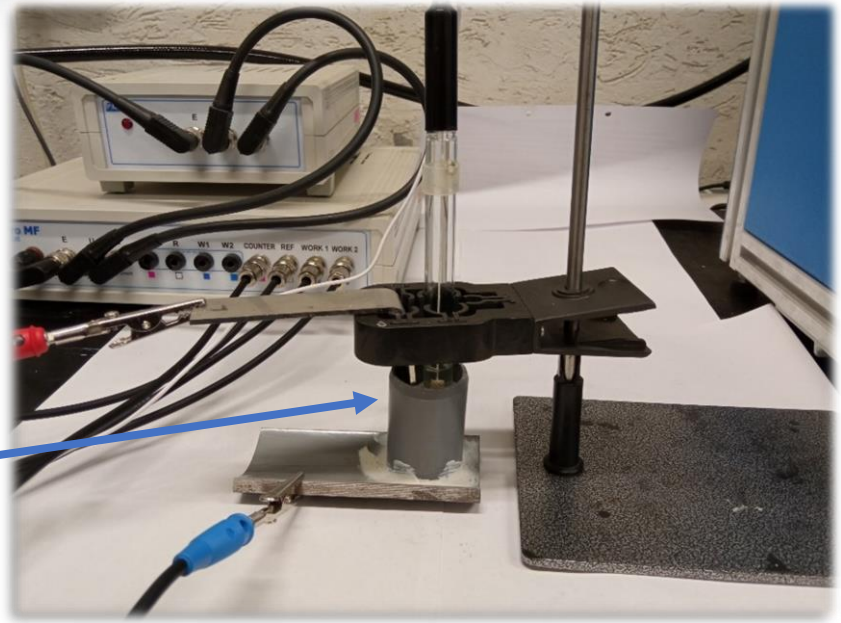
Многочисленные вздутия



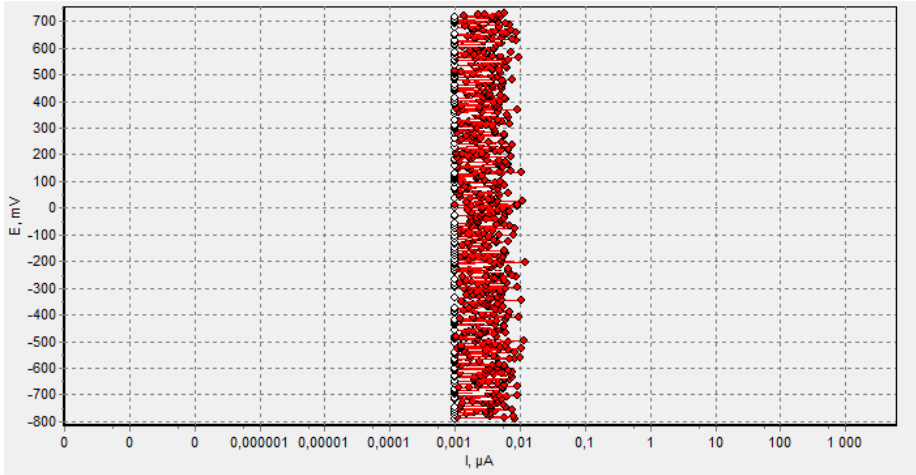
После выдержки в автоклаве в течение 10 суток

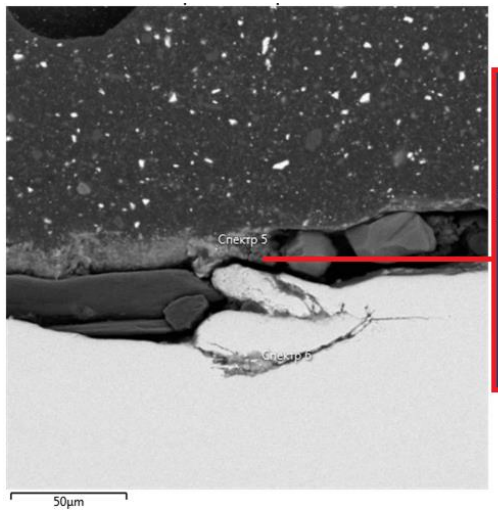
18 МПа когезионное разрушение

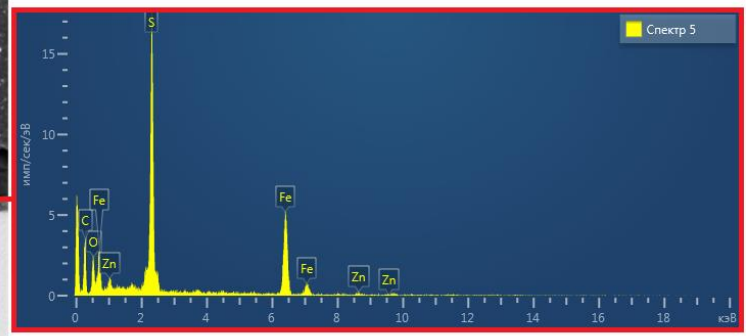
EIS спектроскопия – недостаток метода при исследования покрытий



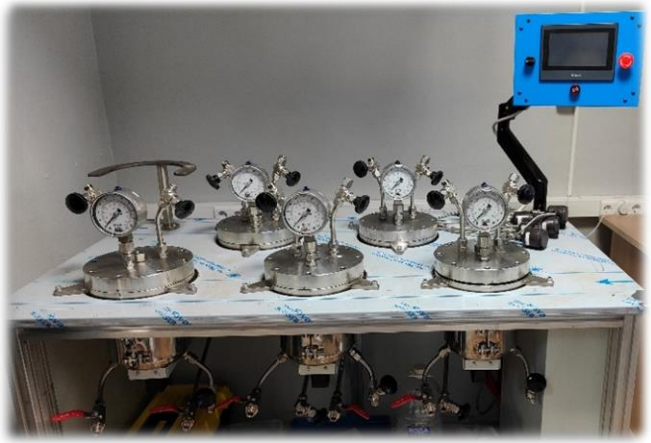






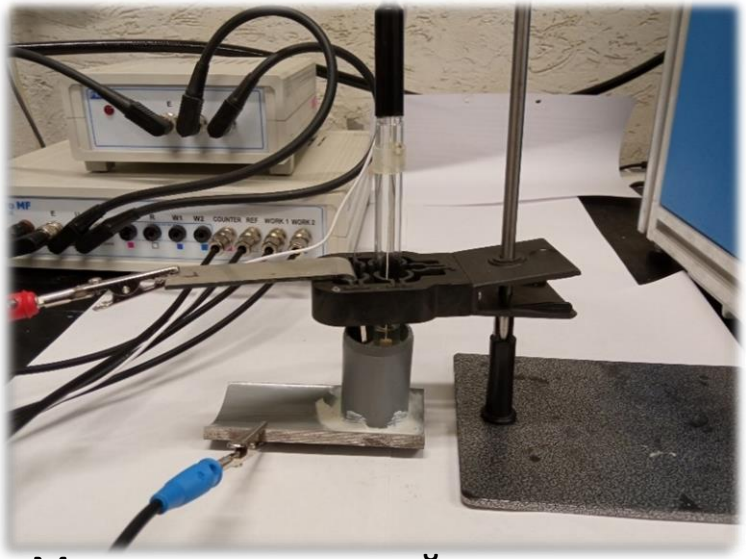


Электрохимическая ячейка высокого давления для испытаний антикоррозионных защитных покрытий, нанесенных на внутреннюю поверхность насосно-компрессорных труб



Метод автоклавных испытаний

+

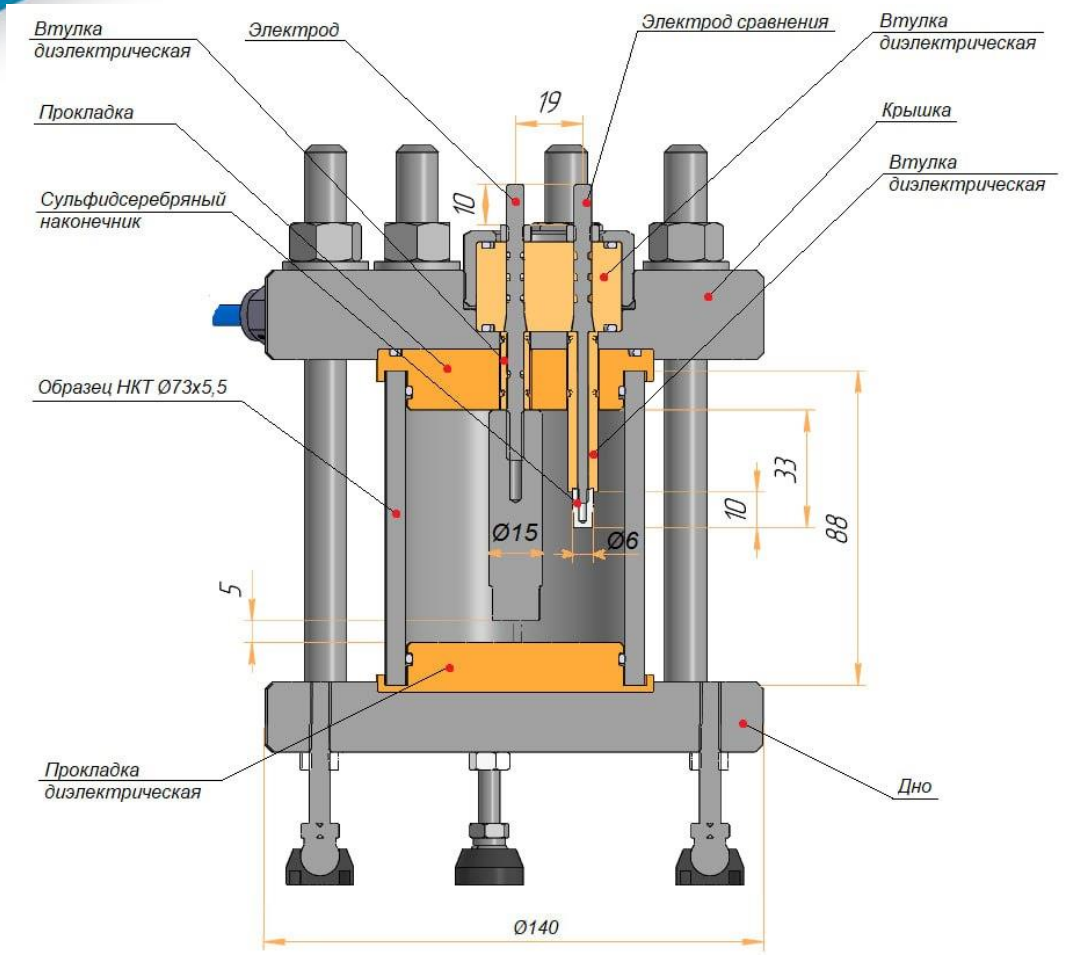


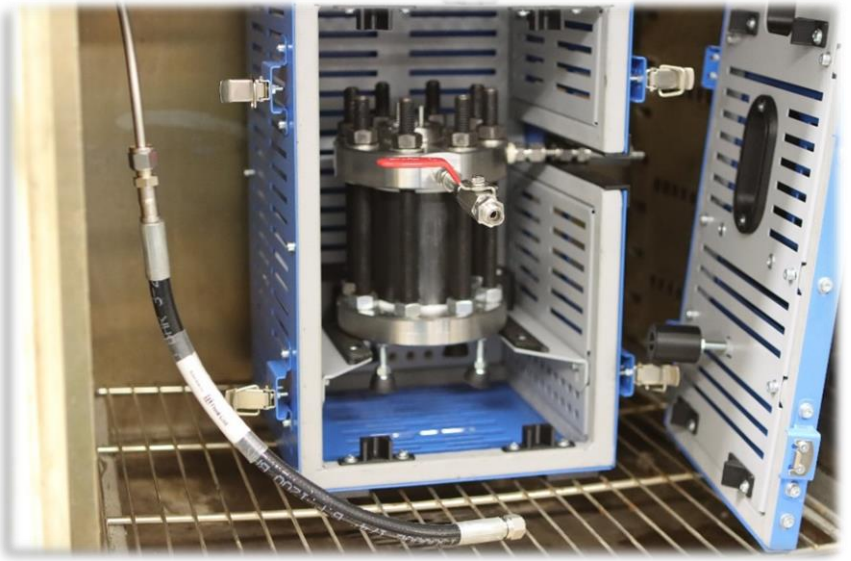
Метод импедансной спектроскопии

=



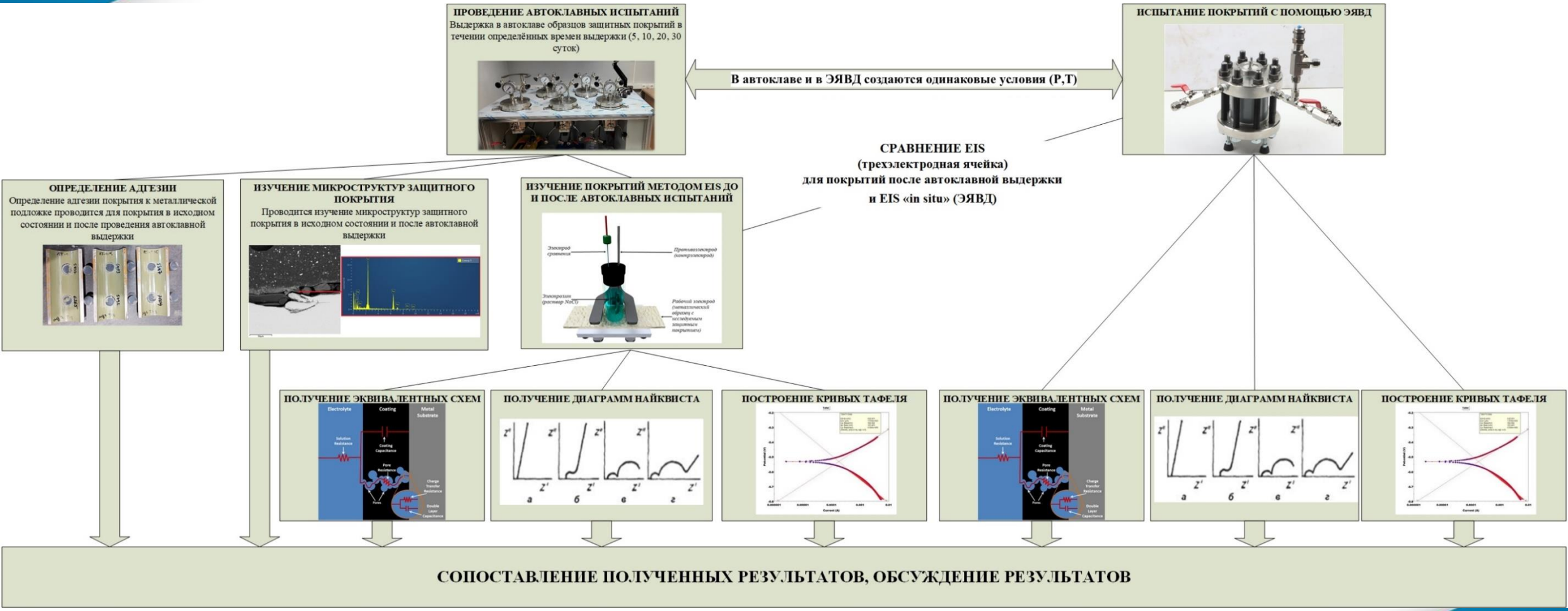
ЭЯВД





ЭЯВД позволяет проводить электрохимические исследования внутренних полимерных покрытий НКТ непосредственно во время испытания, по принципу «in situ»!

Электрохимическая ячейка высокого давления для испытаний антикоррозионных защитных покрытий, нанесенных на внутреннюю поверхность насосно-компрессорных труб



НПЦ САМАРА

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Готовы к решению новых задач!

Веревкин Александр Григорьевич
ООО «НПЦ «Самара»
verevkin@npcsamara.ru

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Цифровая платформа для выявления коренных причин отказов на объектах

АО «Мессояханефтегаз»

Предыстория

Контекст задачи:

↗ Смежному департаменту поставлена задача выявления коренных причин коррозии на объектах трубопровода.

↗ Объем данных: неизвестен, но предварительные оценки указывают на его огромный и разнородный характер, из первичных документов принципиальная схема и данные месторождения (346 участков для анализа, протяженностью 471 км.)

↗ Глубина данных: более 5 лет

Как всё происходило:

↗ Упущенная возможность: Не рассмотрели задачу смежного департамента, как кейс для применения нашей платформы и потеряли 2 месяца

↗ В процессе взаимодействия всё-таки приходим к выводу, что мы можем и должны помочь коллегам, и сделать реализацию нашей платформы под конкретный запрос.

↗ Начинаем взаимодействие в формате, а какие данные есть, а также предлагаем свой список того, что нам может пригодиться.

↗ Тяжело смотрим на огромное количество разрозненных входных данных.

Если коротко

Проблема: Анализ причин отказов требует обработки данных из множества источников (PDF-сканы, таблицы, ГИС-слои, результаты измерений, разрозненное ПО)

Решение: Использование единой платформы для интеграции и анализа данных

Результат: Выявление коренных причин отказов за счет комплексного подхода



Ho...

Из разрозненного — в единое

Сбор данных, работаем с тем, что есть:

- Интеграция данных из разнородных источников
- Не требуем «идеальных» данных — адаптируемся под форматы, в которых данные существуют в эксплуатации

Оцифровка и верификация: превращаем «сырые данные» в информацию

- Верификация и очистка данных с учетом физических ограничений и технологических норм
- Наша экспертиза: Годы опыта в обработке «трудных» данных на объектах нефтегазового сектора

Аугментация данных

Обогащение исходных данных:

- Расчёт параметров агрессивной среды;
- Интерполяция и экстраполяция данных на участках без измерений;
- Геопространственная интеграция информации.

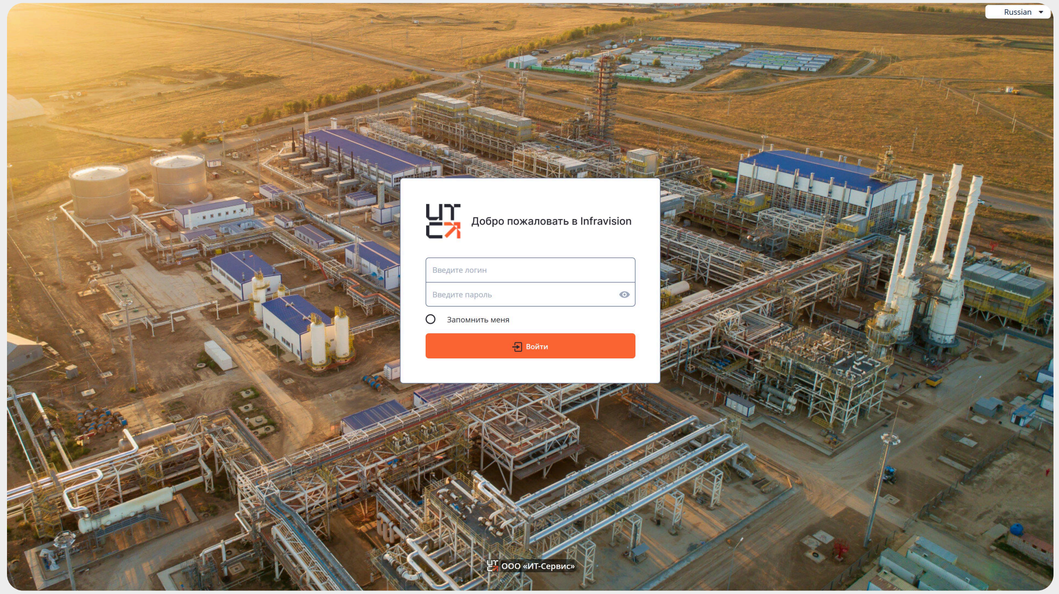
Формирование тематических карт как результата комплексной обработки

Ключевое преимущество. Система не просто отображает данные — она создает новые данные для анализа экспертом

Система сбора данных → Обработка и систематизация → Система анализа данных

О платформе

1. Разрабатывается с **2023 года**, использованы наши наработки из других систем и проектов с **2002 года**.
2. Наша платформа представляет собой гибкую основу для интеграции и визуализации разнородных данных в единой среде.
3. Есть все современные инструменты: визуализация, предиктивный анализ, **ML модели, LLM, классические расчетные модели и методики**.
3. В отличие от специализированных решений, наша платформа не ограничена конкретной задачей — она служит основой, на которую «надстраиваются» модули под запросы заказчика. Это обеспечивает быструю адаптацию к новым задачам при сохранении ядра системы и сокращении сроков внедрения.



ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

INFRAVISION
by ITS

Функциональные модули InfraVision

1. Конструктор трубопроводов
Занесение в систему трубопроводной инфраструктуры, паспортизация.

2. Модуль 2D-визуализации
Геоинформационная система, табличное отображение данных, построение графиков, построение тематических карт, кастомизация отчетов и многое др.

3. Модуль 3D-визуализации
Отображение сложных топологических объектов, изометрические схемы, тематические 3D-слои.

4. Модуль интеграции с внешними системами
Интеграция с АСУ ТП, интеграция с ERP, интеграция с любым API.

5. Модуль Импорт данных
Импорт телеметрии, загрузка отчетов УЗТ и ВТД, внесение физико-химических параметров флюидов

6. Модуль Ai • Скоро
Параметры ML, обучение моделей, подготовка датасетов.

7. Модуль Предиктивной диагностики
Предназначен для прогнозирования утонения стенок трубы (AI-модели, линейные тренды, аналитические методики).

8. Модуль физических расчетов
Скорость потока, режим течения, потери давления, теплопотери, мат. баланс.

9. Модуль ТОиР
Планирование ремонтов, занесение ремонтов.

10. Модуль Риски
Категорирование участков, предполагаемых к ремонту по степени риска (очередности), выдача рекомендаций о ремонтах.

11. Модуль ЭХЗ • Скоро
Информация об оборудовании, расчеты защитных потенциалов и уставок станций ЭХЗ, мониторинг.

12. Модуль Осложнения
Гидратообразование, парафиноотложение, выпадение солей.

13. Модуль Отчёты
Формирует и хранит отчеты пользователей.

14. Модуль «Что-Если» • Скоро
Моделирование работы трубопроводной системы.

15. Модуль Оповещения
Оповещение пользователей о событиях (риск критических утонений, потеря актуальности данных, системная информация).

От общей платформы к конкретному решению

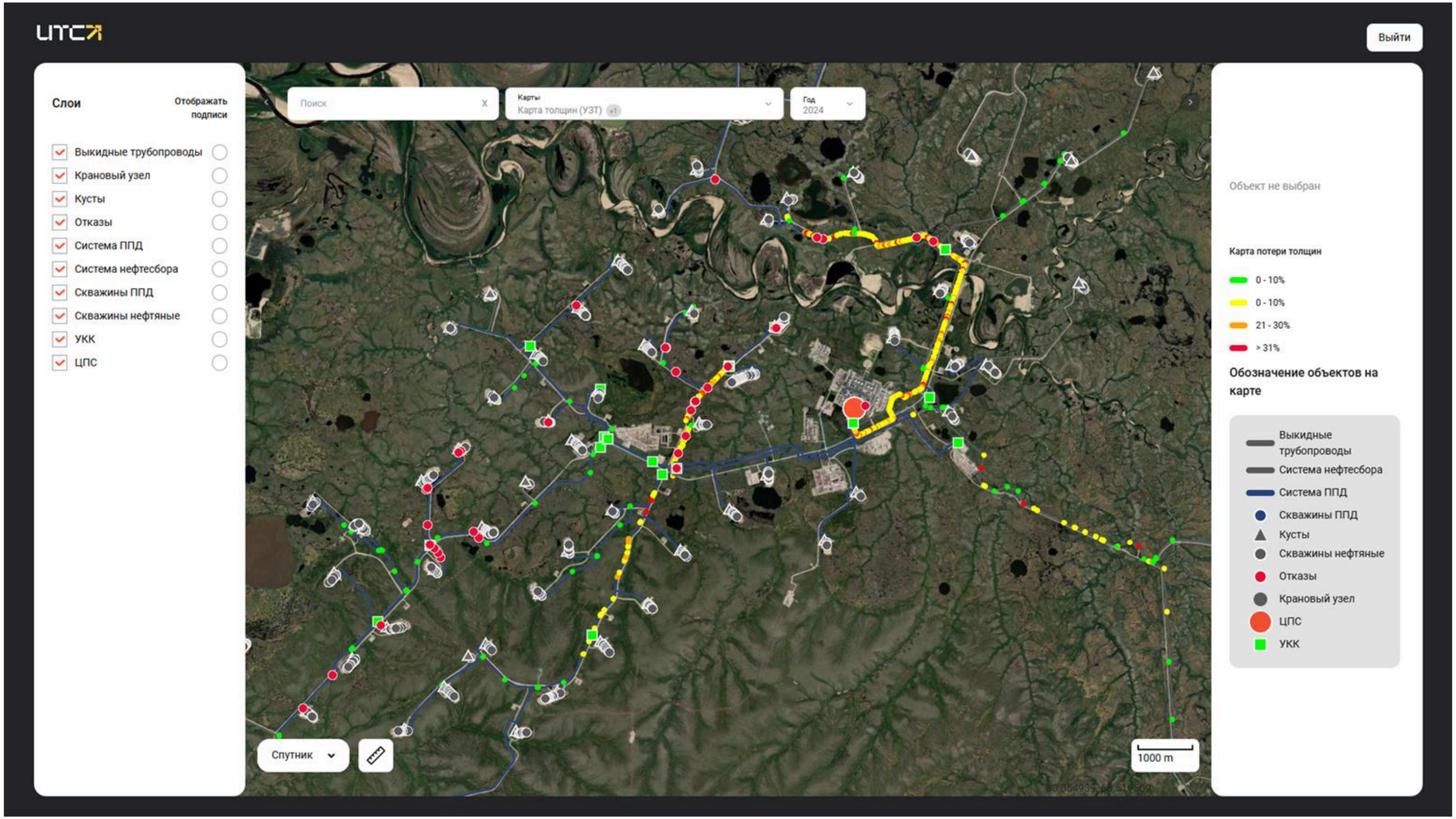
Этапы адаптации

- Анализ специфики данных заказчика
- Оцифровка и адаптация геоданных, сканов УЗТ/ВТД измерений, данных по бактериальному заражению, лабораторные анализы, телеметрия и т. д.
- Интеграция данных из **PIPESIM**
- Верификация и обработка данных из разнородных источников **Excel**, **Doc**, **PDF**, **Txt**, **PNG**
- Создание дополнительной визуализации на основе полученных данных.

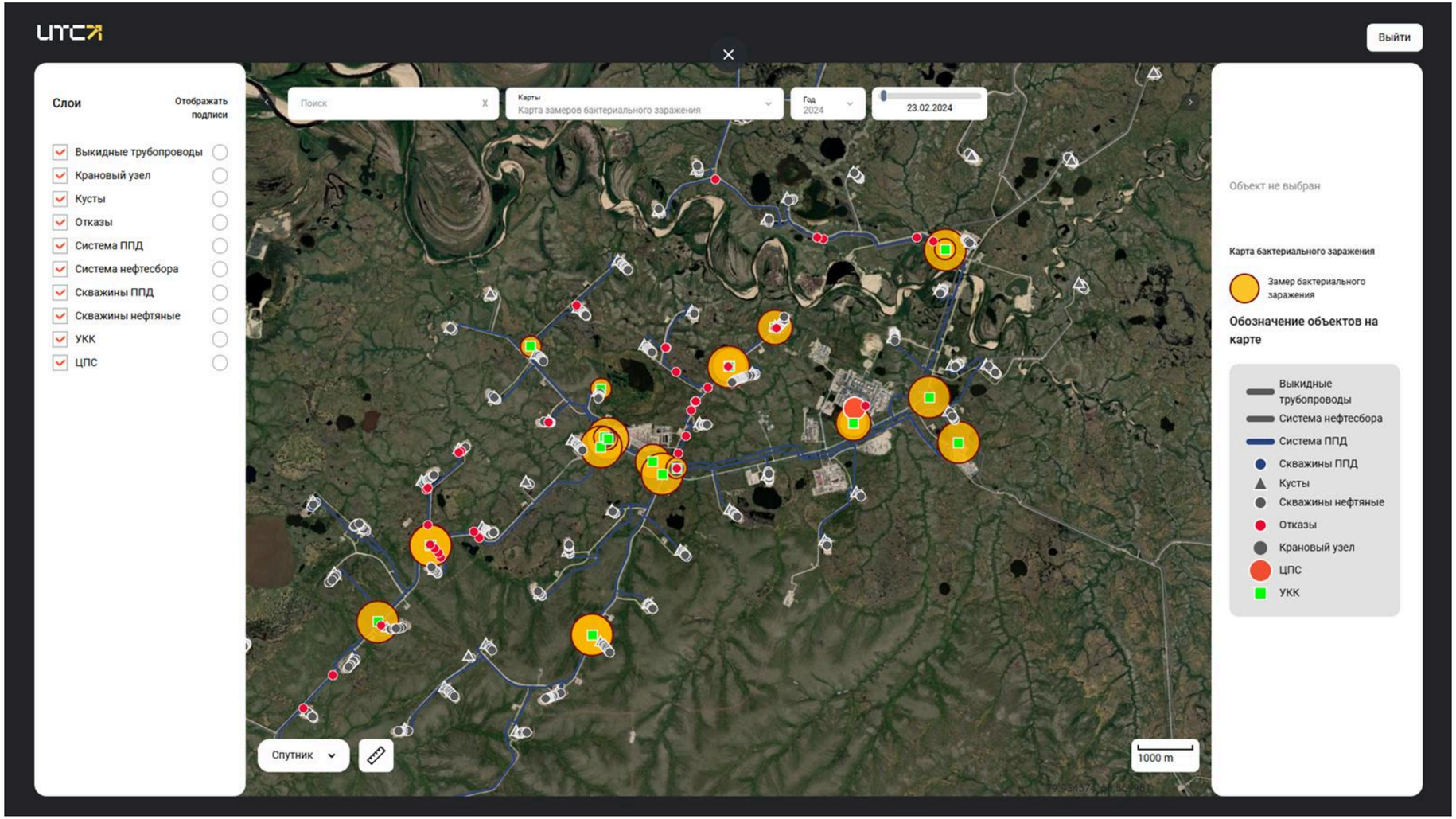
Результат

Специализированное решение на основе общей платформы

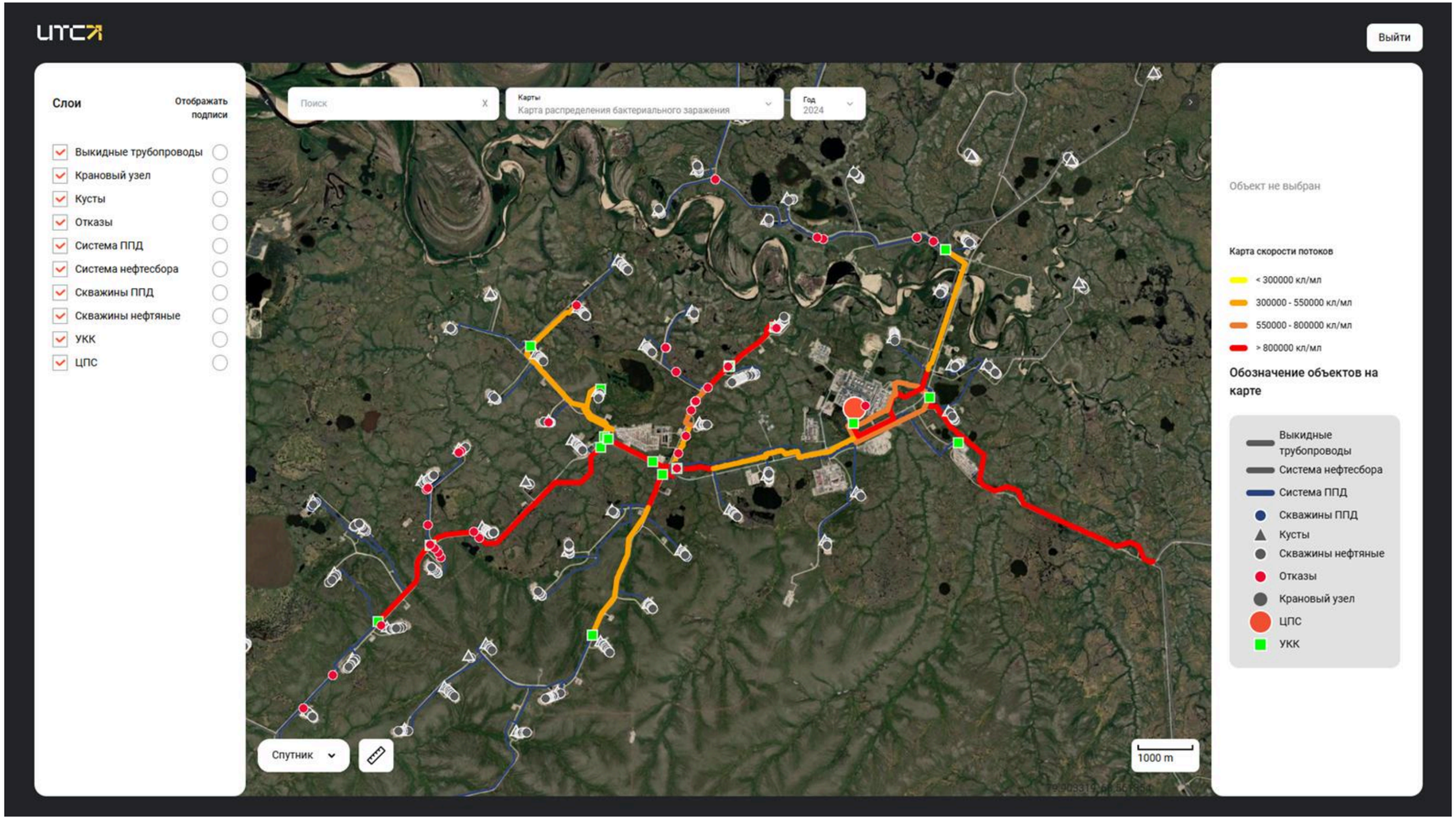
Карта толщин УЗТ и ВТД



Карта замеров бактериального заражения



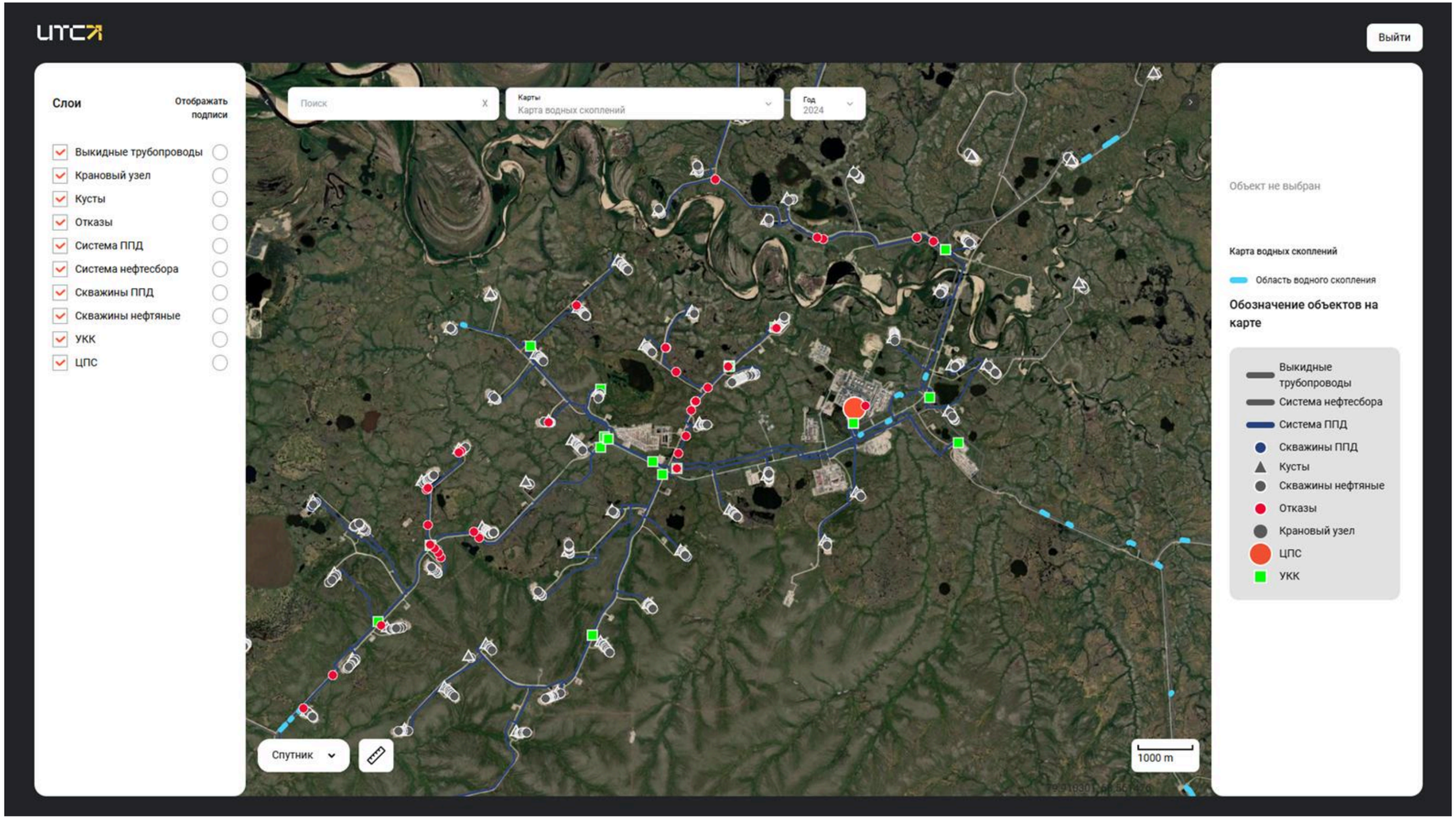
Распределение бактериального заражения



Карта агрессивности среды



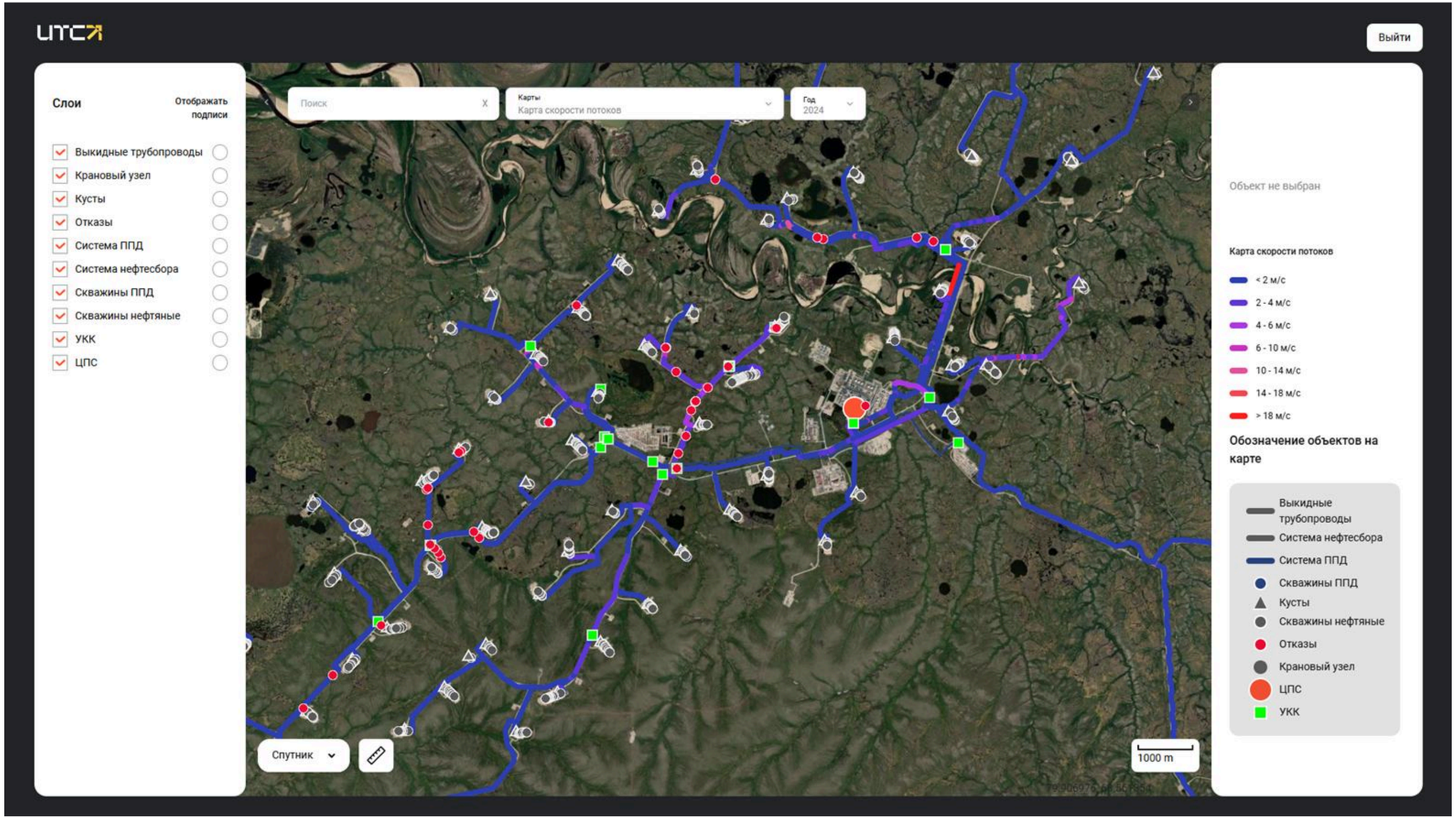
Карта водных скоплений



Карта режимов течения



Карта скорости потоков



Карта температур



Карта давлений



Результат

↗ Смежный департамент за относительно короткий срок получил комплексное обоснование коренных причин отказов, что было бы сложно при традиционных методах анализа

↗ Все выявленные закономерности подкреплены сопоставлением разнородных данных: данные диагностики + коррозия + бактериальное заражение + гидравлические параметры + агрессивность среды

↗ Система предоставила не просто визуализацию, а аналитическое обоснование для принятия решений

↗ Проект стал практическим подтверждением эффективности нашей платформы в решении сложных производственных задач



Заключение

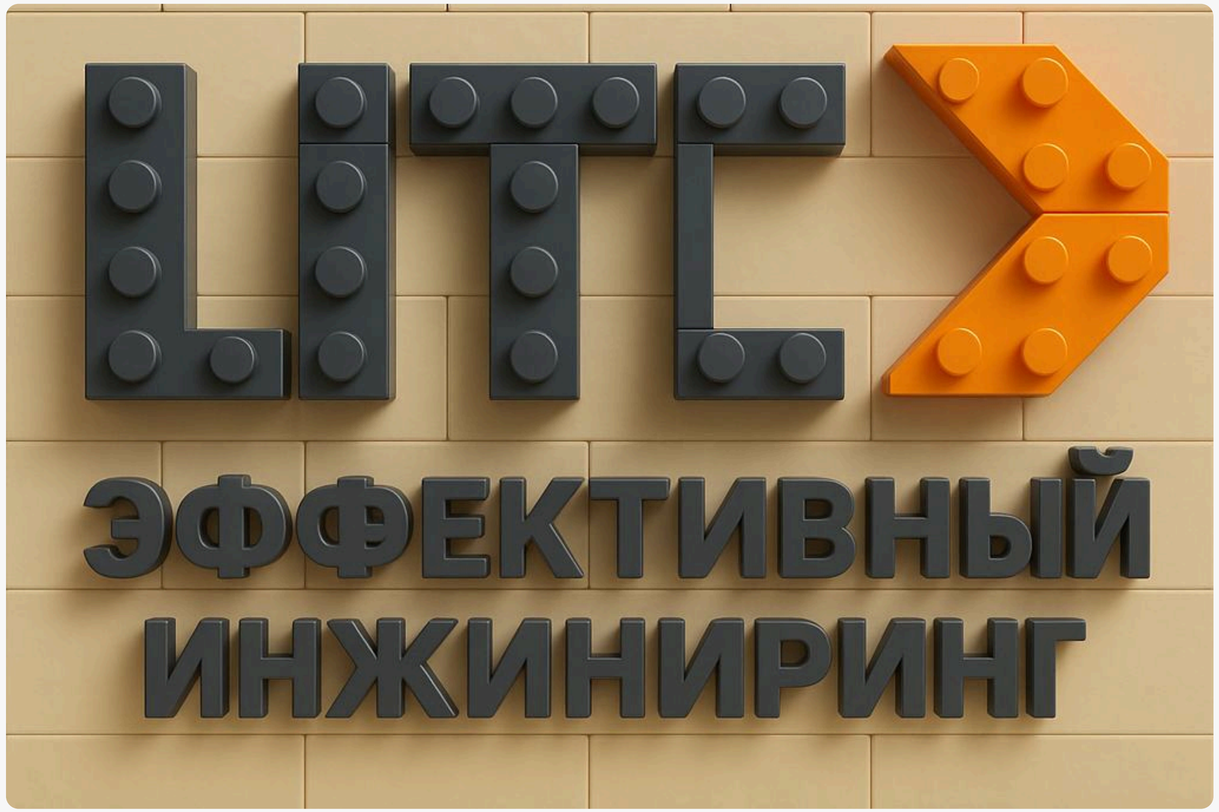
Контекст задачи:

- Быстрая адаптация под специфику объекта
- Гибкость в интеграции различных типов данных
- Возможность масштабирования решений
- Лёгкость сбора, структурирования и анализа большого объема данных из множества источников
- Сокращение сроков внедрения за счет использования готовых компонентов

Наша платформа — это основа, с помощью которой конструируются конкретные решения



Связаться с нами



Усачёв Александр Игоревич

+7 (917) 155-58-77
usachev@its-samara.com

Фомин Дмитрий Алексеевич

+7 (917) 036-79-91
fominda@its-samara.com

443001, г Самара, ул. Ульяновская/Ярмарочная, д 52/55

Почта. sekr@its-samara.com

Телефон. +7 (846) 212-00-39

ООО «ИТ-Сервис»

Технологический стек

Архитектура: Модульная микросервисная структура

Ядро системы: Комбинация **Java** (для стабильности) и **Python** (для аналитики и обработки данных)

Хранение данных: Реляционная база данных **PostgreSQL** с поддержкой пространственных данных **Postgis**

Интеллектуальные компоненты: Современные методы машинного обучения и языковая модель **QWEN** для анализа данных и поддержки принятия решений

Инфраструктурные компоненты: Кэширование данных (**Redis**) и система обмена сообщениями (**RabbitMQ**)










ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Выполнение диагностики трубопровода с использованием модели на базе ИИ для прогнозирования развития коррозионно-эрозионных процессов на объектах ООО «Газпромнефть-Оренбург»

Беркович Глеб Михайлович

Руководитель проектов департамента информационных технологий

+7 (919) 800 87 30

berkovich@its-samara.com

Якимов Павел Юрьевич

Руководитель департамента информационных технологий

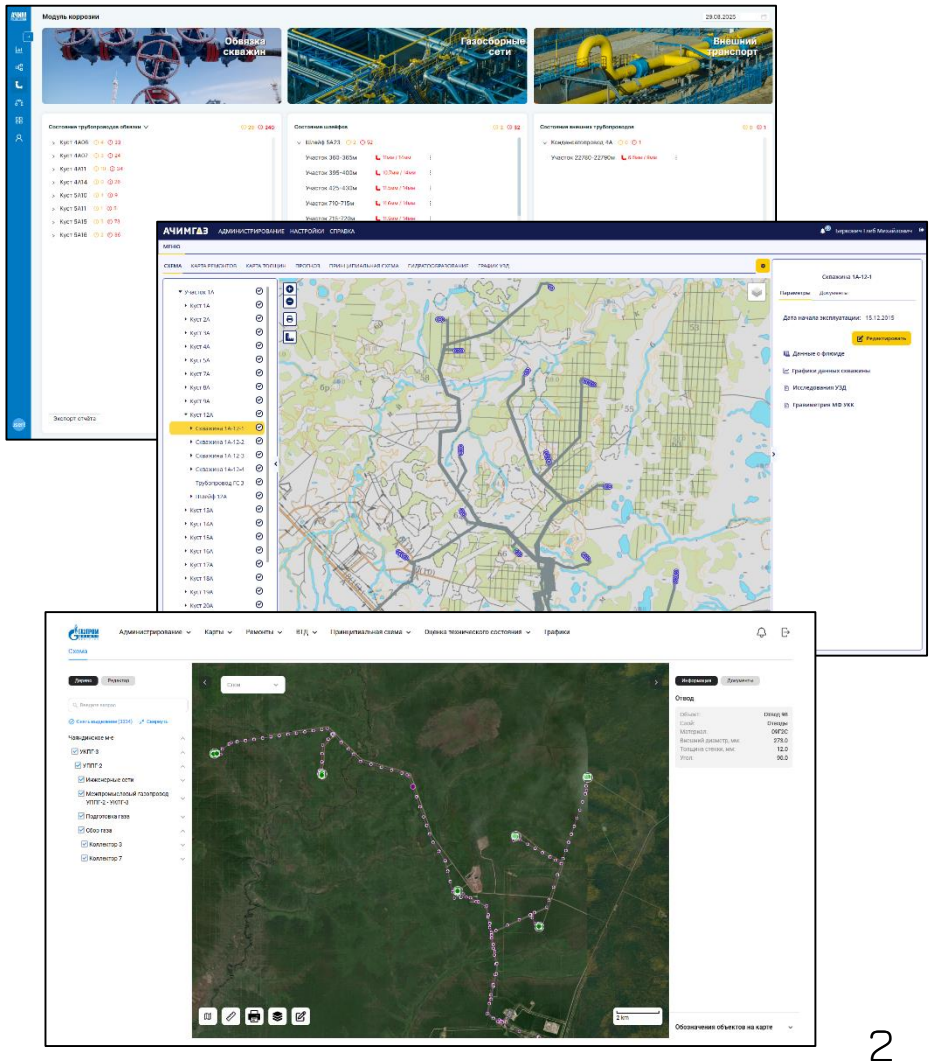
+7 (927) 607 08 54

yakimov@its-samara.com



Опыт ООО «ИТ-Сервис» в разработке моделей на базе ИИ

- ООО «ИТ-Сервис» ведёт разработку систем моделирования коррозионно-эрозионного износа с использованием ИИ с 2021 г.
- Разработаны системы для следующих Заказчиков:
  - ООО «Ачимгаз»;
  - ООО «Ачим Девелопмент»;
  - ООО «Газпром добыча Ноябрьск».
- Объектами моделирования выступают объекты сбора, подготовки и транспорта газа и газоконденсата.
- В планах ООО «ИТ-Сервис» распространение подходов на другие объекты нефтегазового комплекса: объекты нефтедобычи, а также подготовки и переработки нефти.



Участие в Industrix

??? - 2023	• ИТ-Сервис пытается пробиться через бюрократическую мощь «Газпром нефть»
декабрь 2023	• Знакомый порекомендовал участие в Industrix
февраль 2024	• Приходит уведомление об успешном прохождении отбора • Приглашение на обучение в Сколково
Март-май 2024	• Проектом заинтересовались ООО «Газпромнефть-Оренбург» и АО «Мессояханефтегаз» • Выступление на онлайн демо-дне
Июнь-июль 2024	• Выход в финал • Победа в финале
август-декабрь 2024	• Пилотный проект в ООО «Газпромнефть-Оренбург»

Пилотный проект в «Газпромнефть-Оренбург»

- Цель отдела эксплуатации трубопроводов ООО «Газпромнефть-Оренбург»

Достичь нулевой аварийности на трубопроводной инфраструктуре

- Гипотеза на пилот

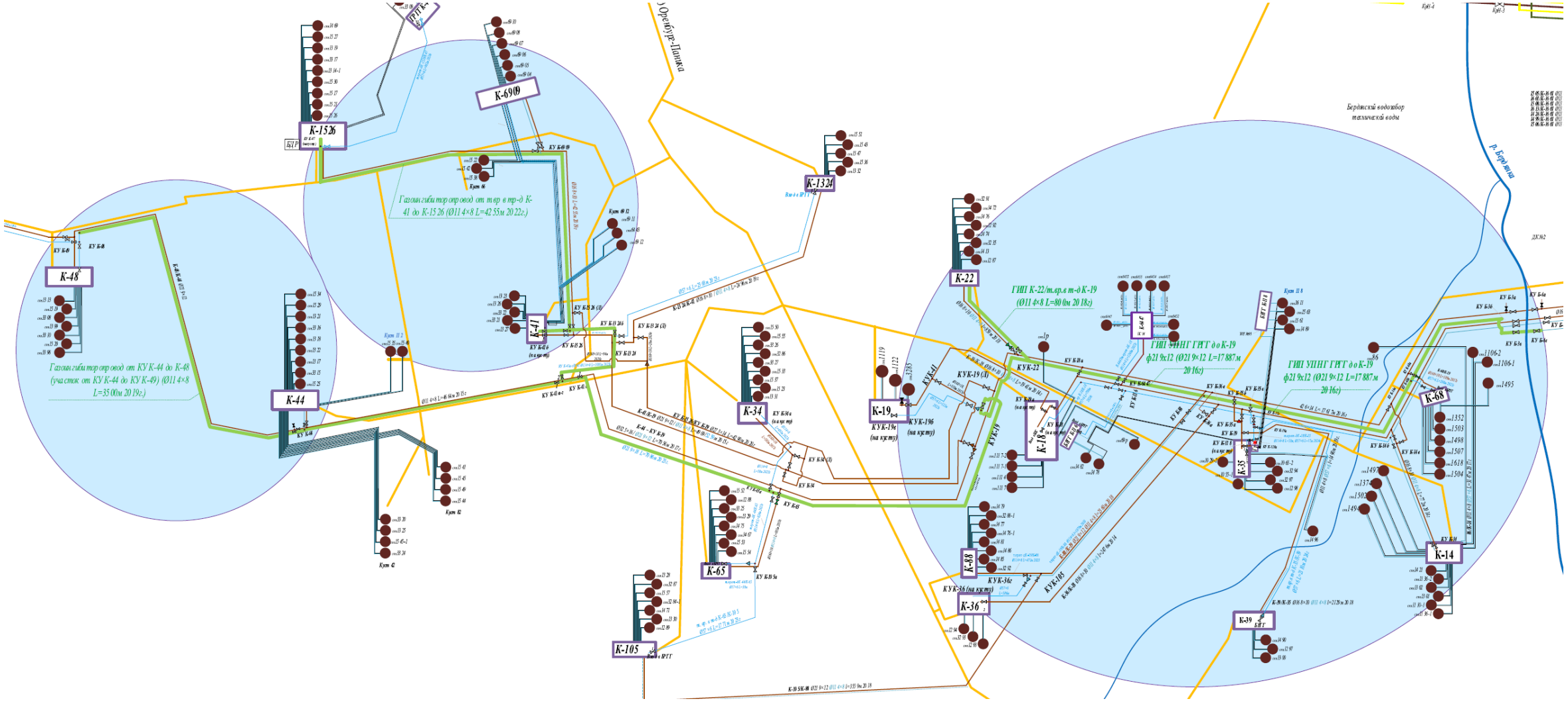
Модель предиктивной диагностики трубопроводов, которая анализирует данные о толщинометрии с учетом параметров транспортируемого флюида и условий эксплуатации, с высокой точностью прогнозирует степень износа объектов трубопроводной инфраструктуры: 90 % при прогнозировании на 6 месяцев.

- Задачи на пилот
  - Сбор и подготовка исходных данных
  - Адаптация существующих моделей СПД для работы с данными «Газпромнефть-Оренбург»
  - Генерация утонений стенок трубы и определение толщин стенок на выбранных трубопроводах
  - Натурные испытания: замер фактических толщин стенок трубопроводов, сравнение с расчётными

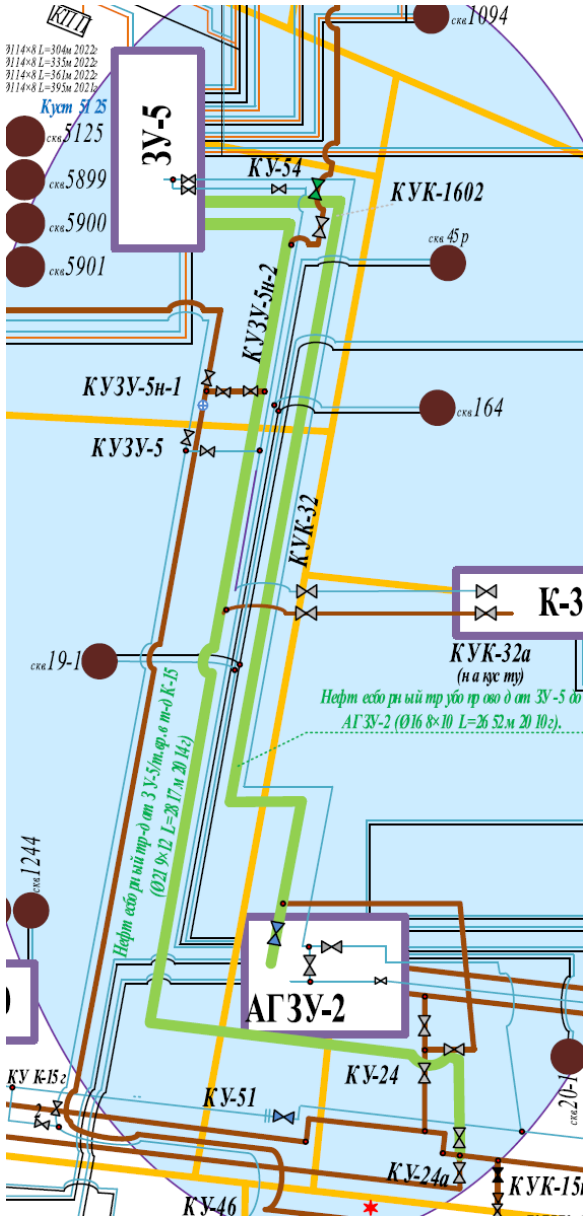
Объекты Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, выбранные для пилотного проекта

1. Газоингибиторопровод УПНГ ГРГГ до К-19; год ввода 2016 г, ф219х12мм, L=17887 м.
2. Газоингибиторопровод К-22 до т.вр. в тр-д К-19; год ввода 2018, ф114х8мм, L=800 м.
3. Газоингибиторопровод от т.вр. в тр-д К-41 до К-1526; год ввода 2022, ф114х8мм, L=4253 м.
4. Газоингибиторопровод от КУ К-44 до К-48; год ввода 2019, ф114х8мм, L=3411 м.
5. Газоингибиторопровод от КУ К-19 до КУ К-44; год ввода 2023, ф219х18мм, L=7086 м.
6. Нефтесборный трубопровод от ЗУ-5 до АГЗУ-2; год ввода 2010, ф168х10мм, L=2652 м.
7. Нефтесборный трубопровод от ЗУ-5 до т.вр.в тр-д К-15, год ввода 2014, ф219х12мм, L=4253 м.

Отобранные участки для мониторинга. Газоингибиторопроводы



Отобранные участки для мониторинга. Нефтепроводы



Сбор исходных данных в «Газпромнефть-Оренбург»

- Трассы, паспортные характеристики выбранных трубопроводов
- Данные проведённой толщинометрии:
  - Технические отчёты по результатам технического диагностирования трубопроводов
  - Технические отчёты по результатам ревизии трубопроводов
  - Протоколы ультразвукового сканирования трубопроводов, выполняемые в рамках ЭПБ
- Данные телеметрии (P, Q, T) за весь период регистрации:
  - Данные телеметрии некоторых АГЗУ
  - Выгрузка из МЭР по всему фонду скважин ВУ ОНГКМ
  - Выгрузка из ШТР
  - Выгрузка из «Автоматизированной системы оперативного диспетчерского управления»
- Физико-химические свойства транспортируемого продукта
- Информация об отказах и выполненных ремонтах
- Результаты проведения гидравлических расчётов

Программа ОПИ



Глубина, мес	Точность модели (P(t))
0-3	96%
3-6	95%
6-12	93%
12-24	91%
24-36	89%
36-48	85%

$$КПЭ = \left|T_{реальное} - T_{прогноз}\right| \leq \Delta_{доп\ УЗТ},$$

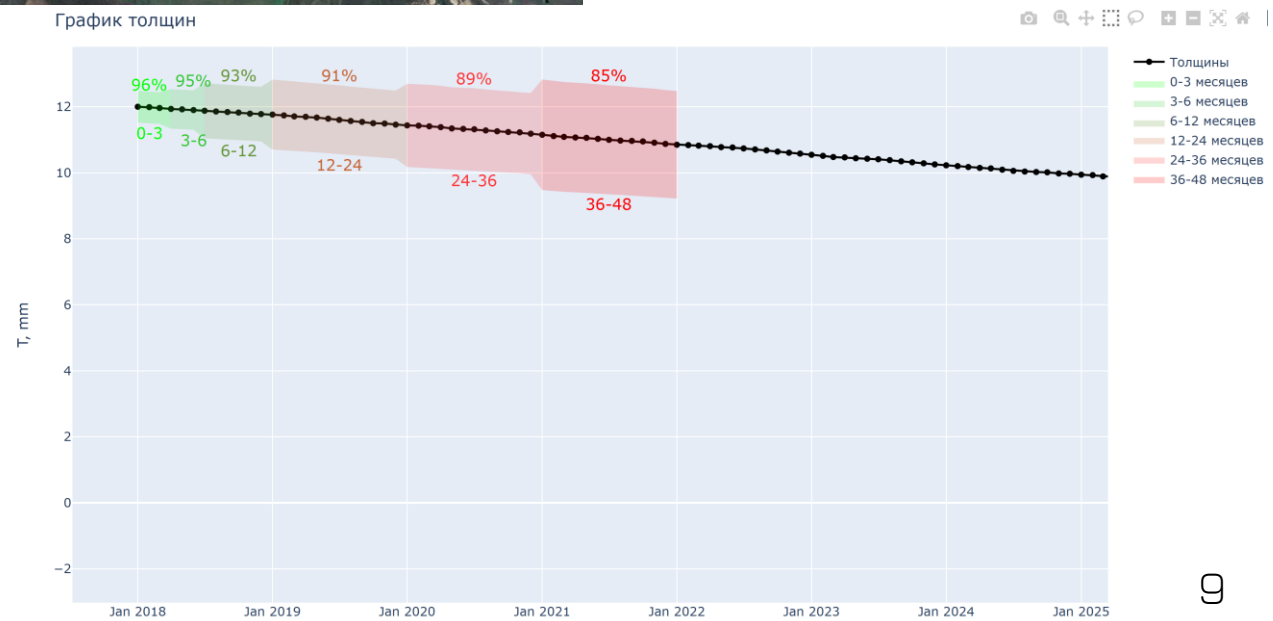
$$\Delta_{доп\ УЗТ} = T_{реальное} \times (1 - P(t) + \tau_{УЗТ} + \tau_{ном})$$

где $P(t)$ - точность модели;

$\tau_{УЗТ}$ - погрешность измерения прибора УЗТ;

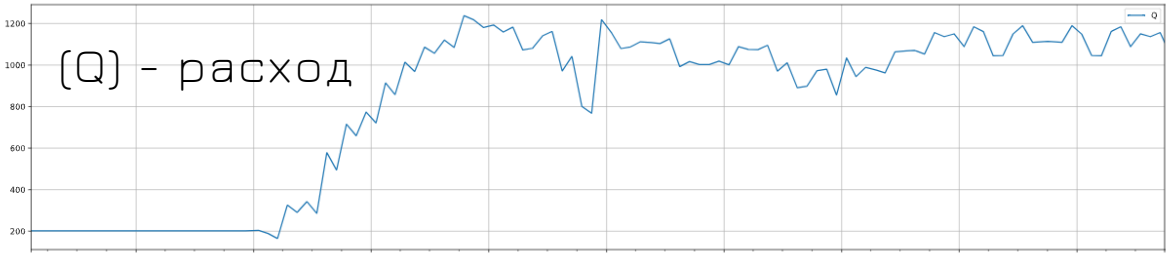
$\tau_{ном}$ - погрешность номинальной толщины стенки трубы;

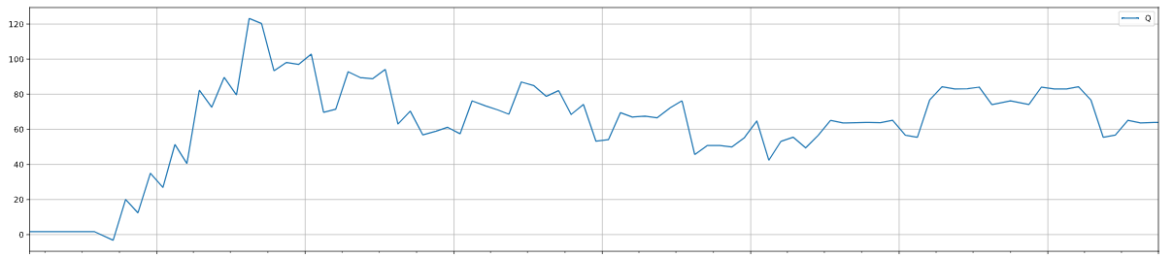
$T_{реальное}$ - значение реального измерения УЗТ в той же точке, где предсказано значение.



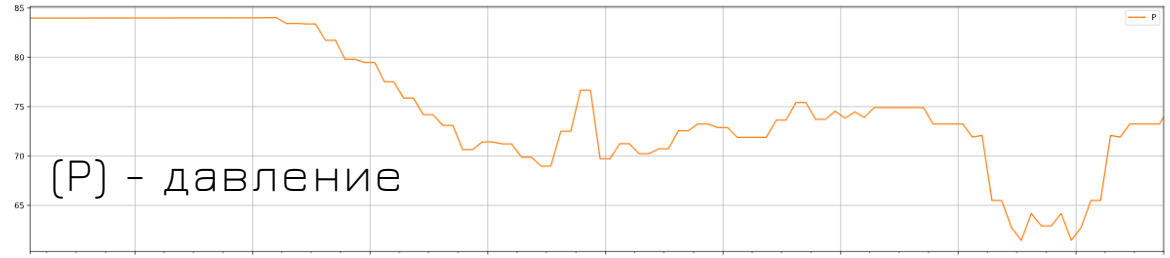
Реализация пилотного проекта. Исходные данные

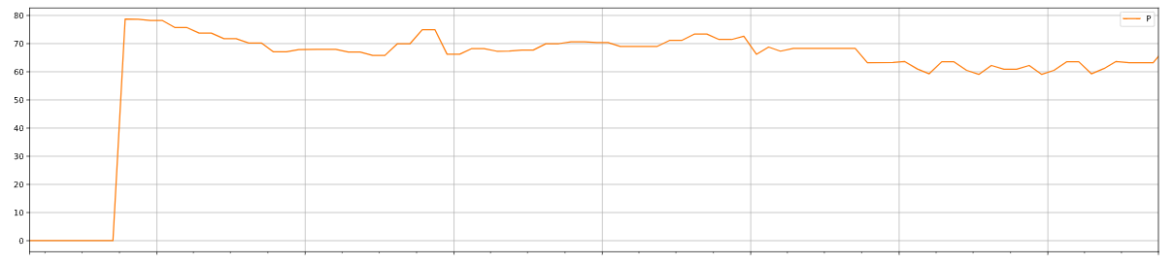
(Q) - расход



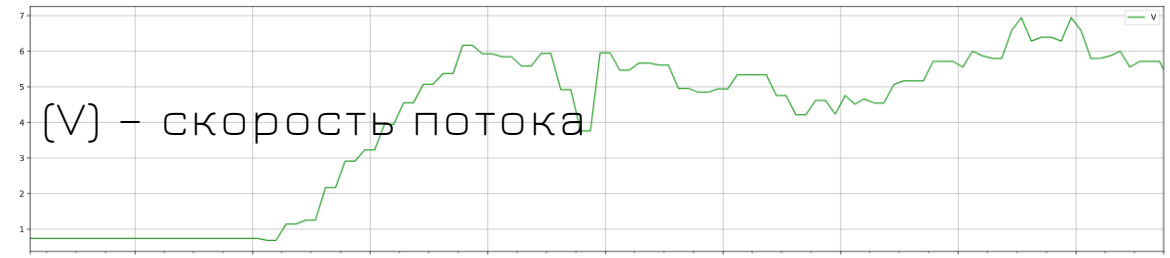


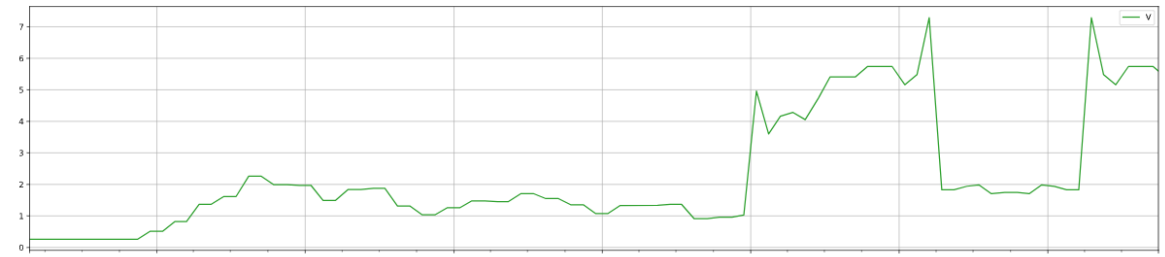
(P) - давление



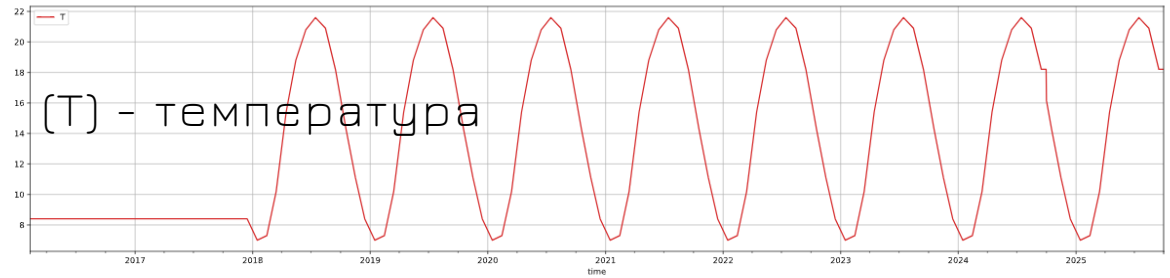


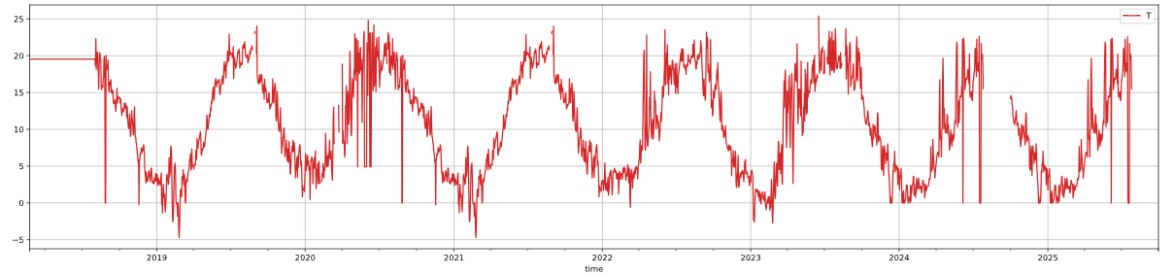
(V) – скорость потока





(T) - температура



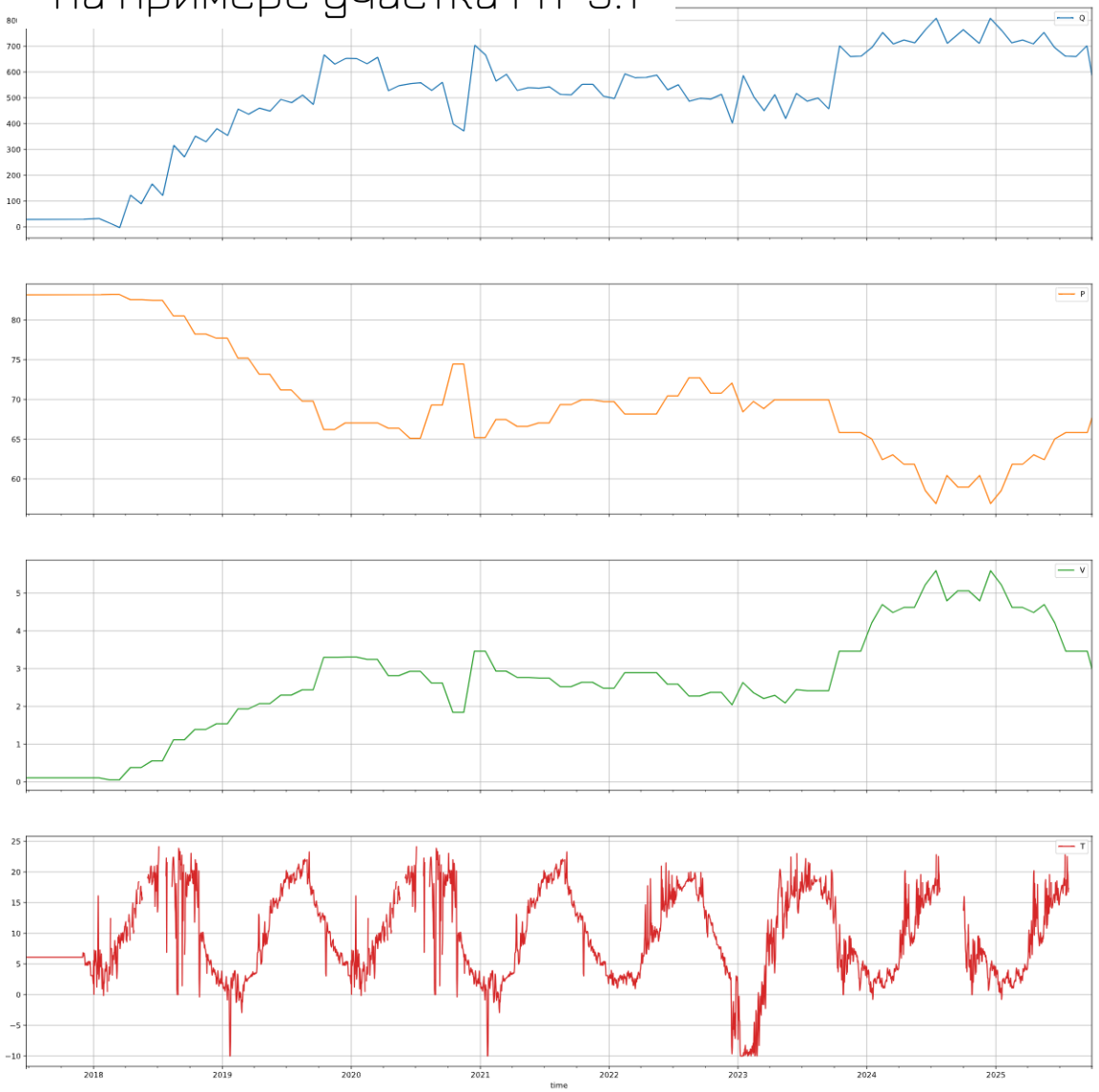


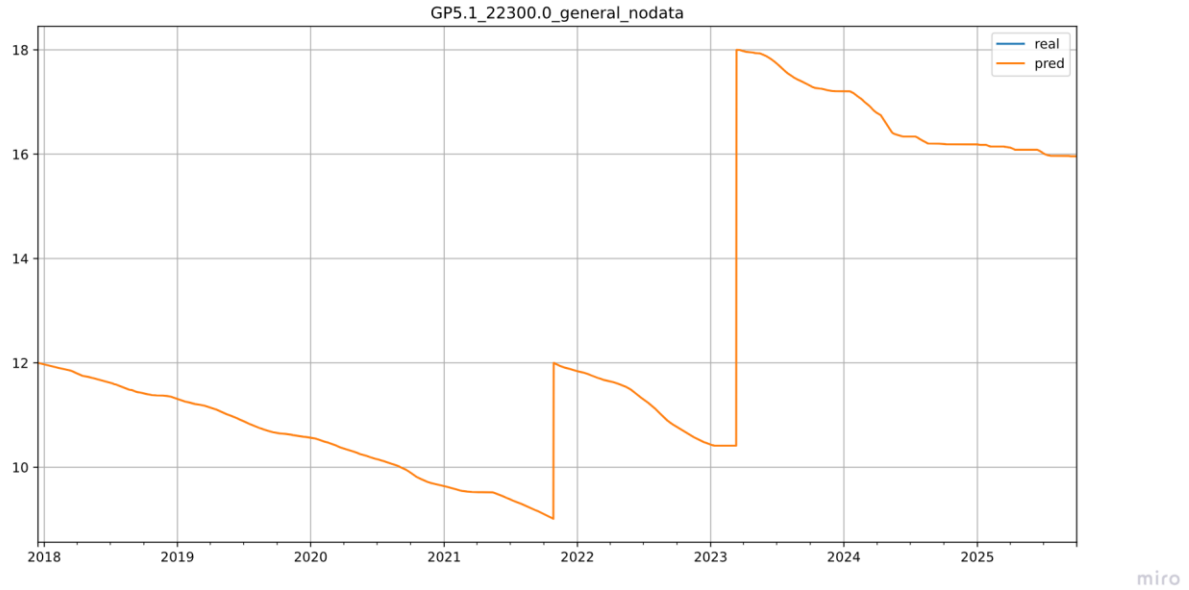
Результаты предикций. ГП-5

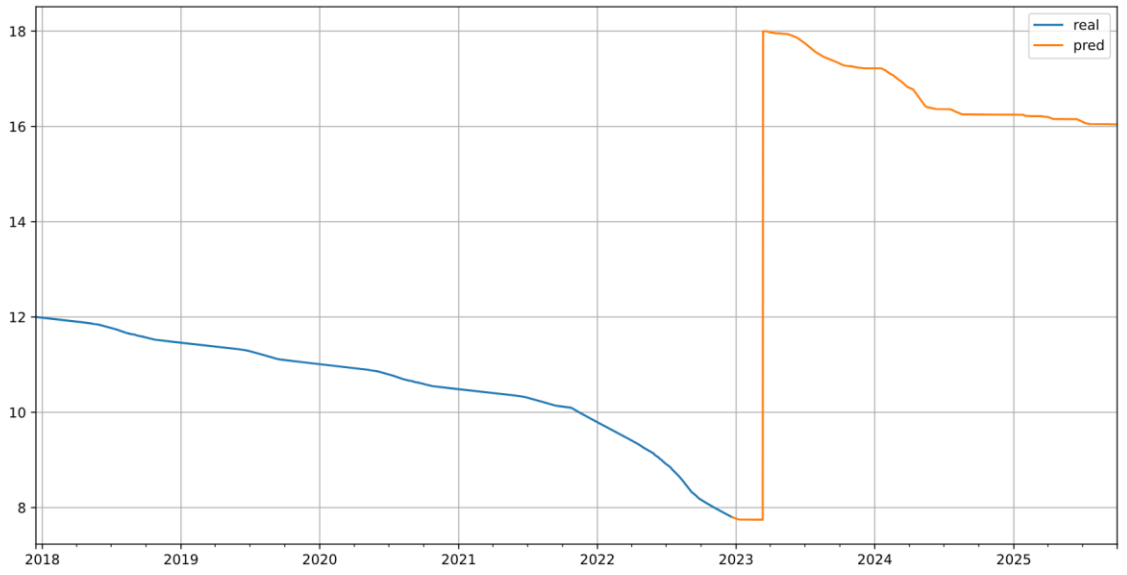


Результаты предикций. Графики утонений. Участок ГП-5.1

На примере участка ГП-5.1

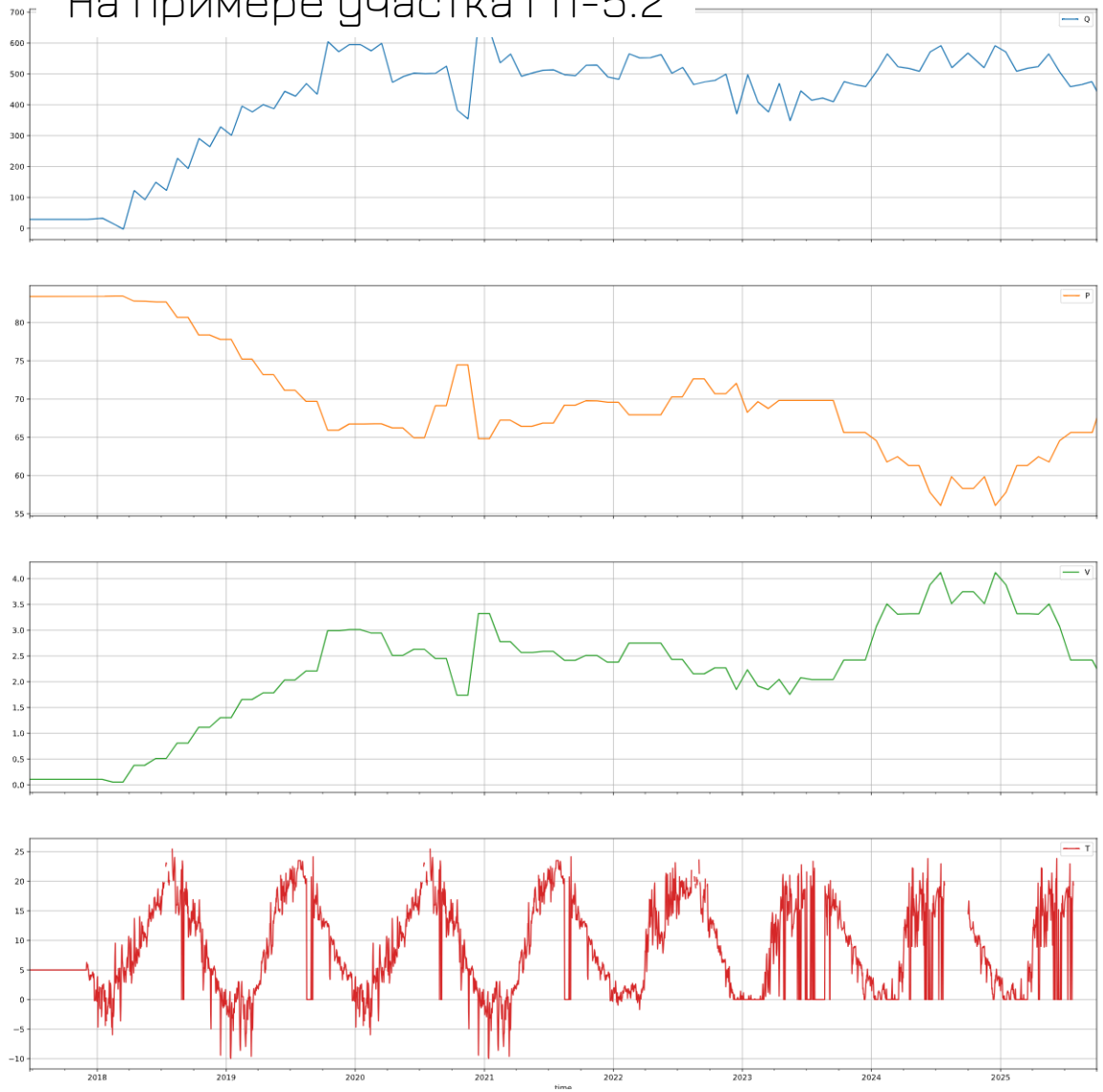


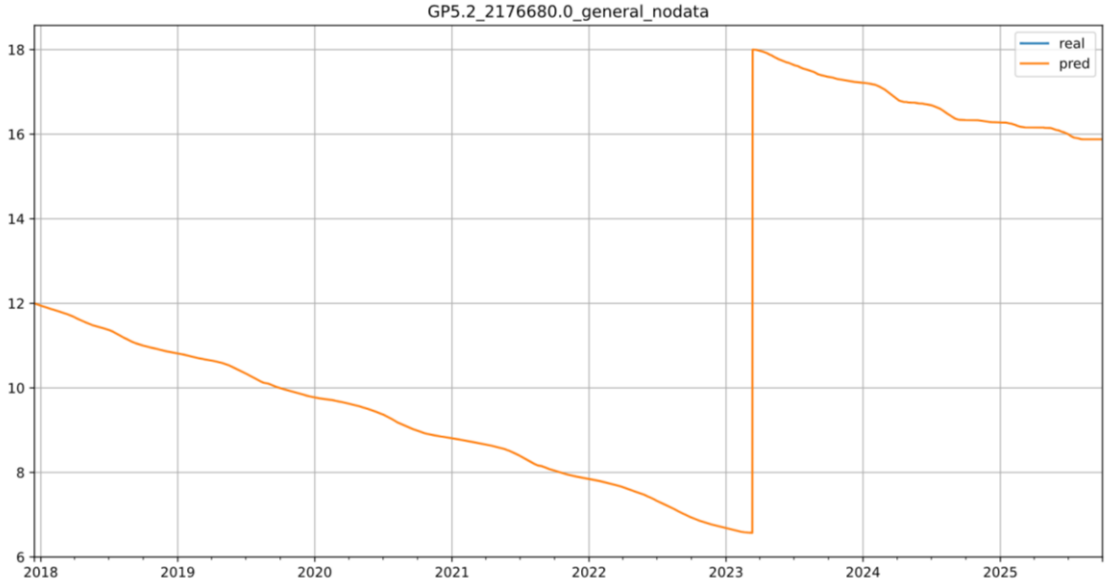


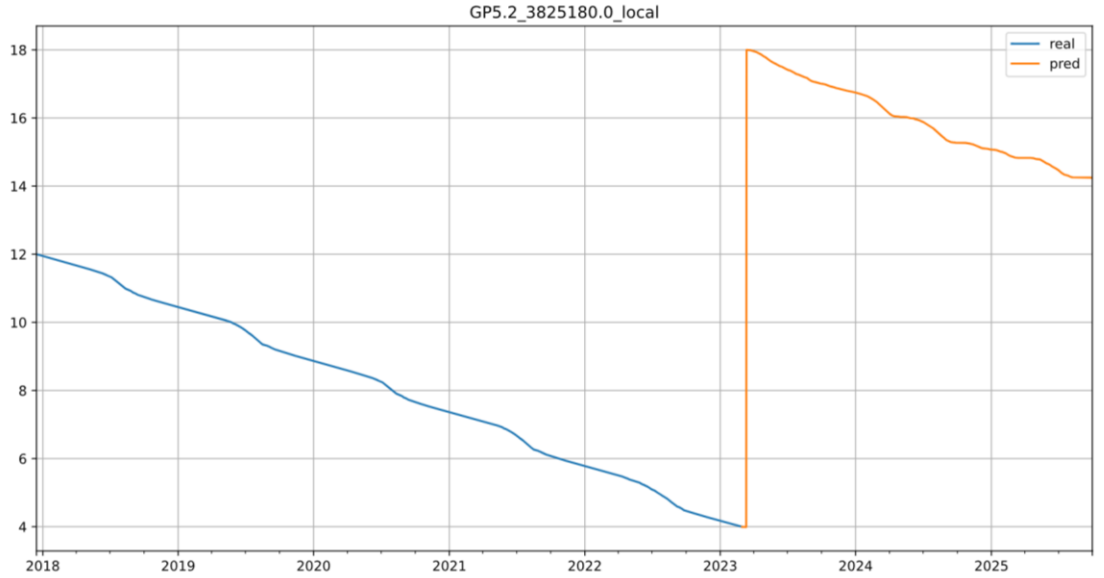


Результаты предикций. Графики утонений. Участок ГП-5.2

На примере участка ГП-5.2

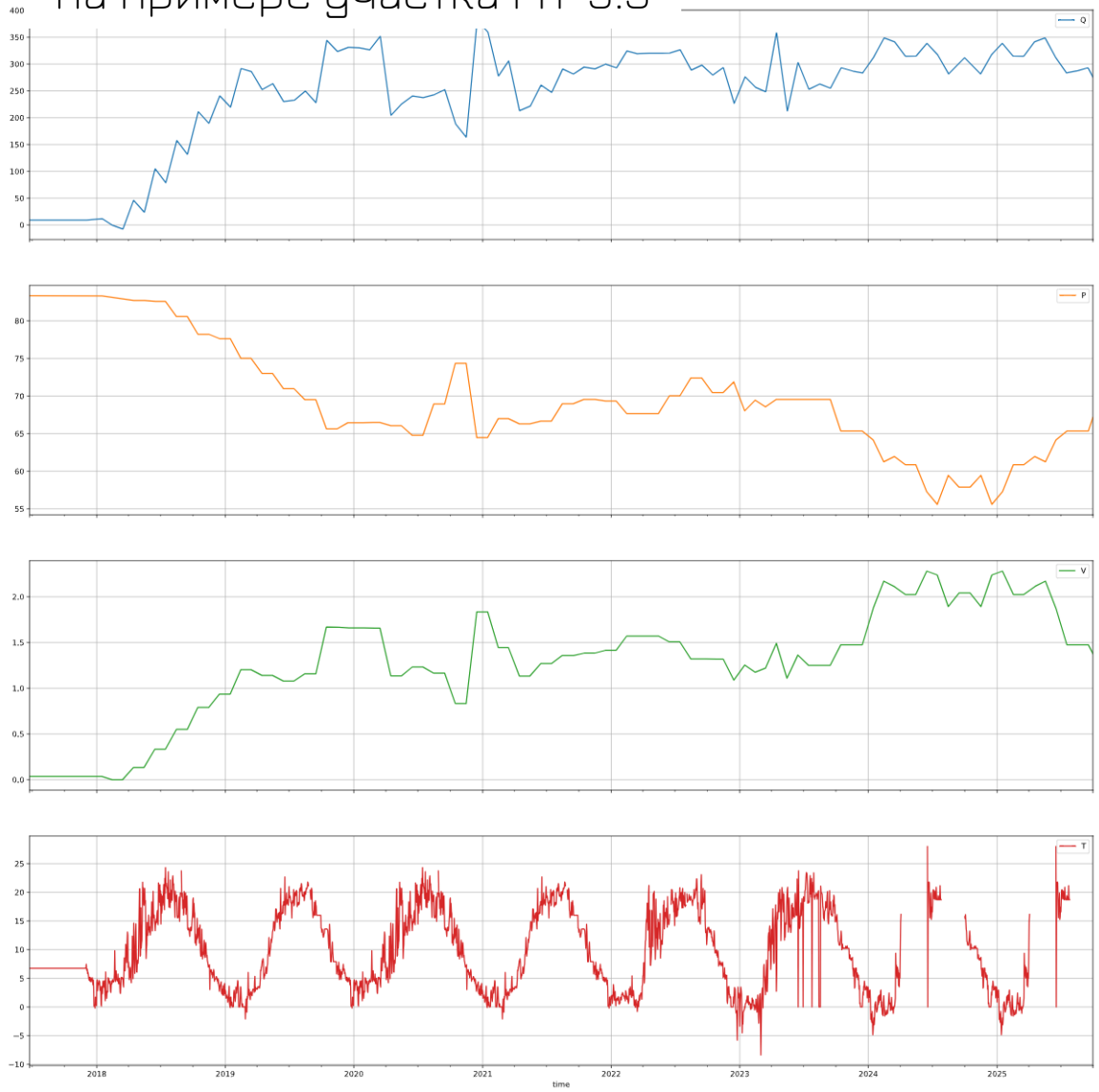


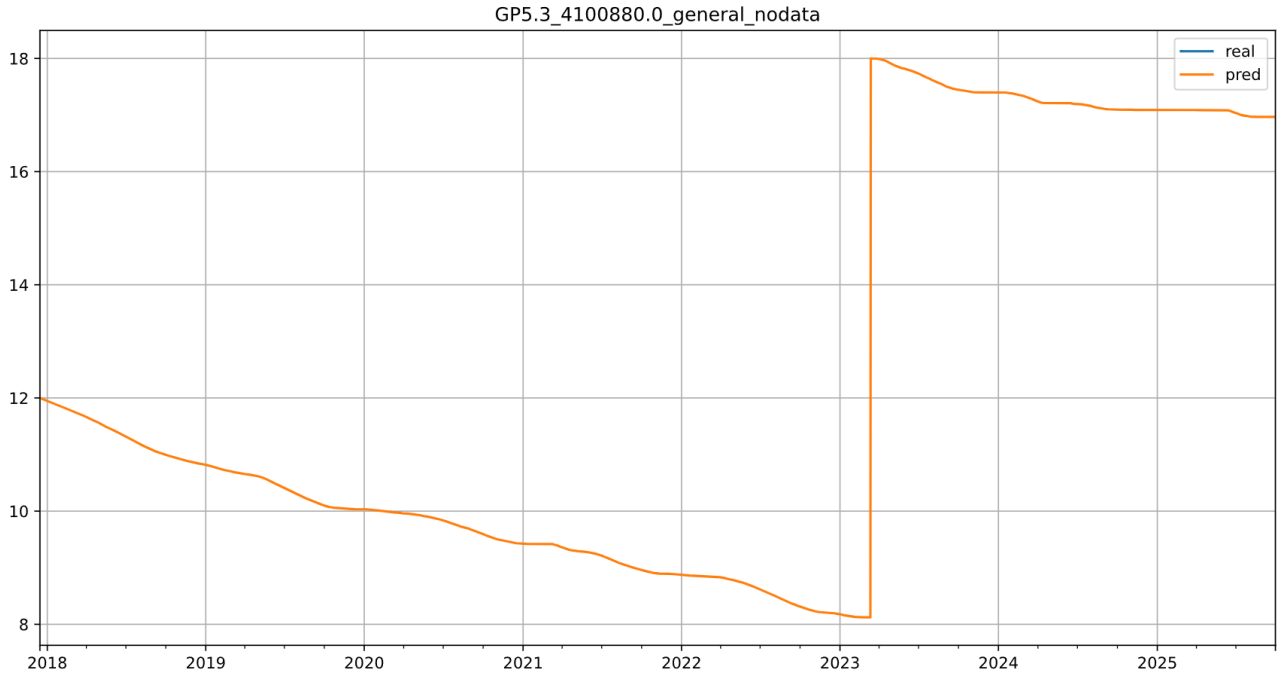




Результаты предикций. Графики утонений. Участок ГП-5.3

На примере участка ГП-5.3

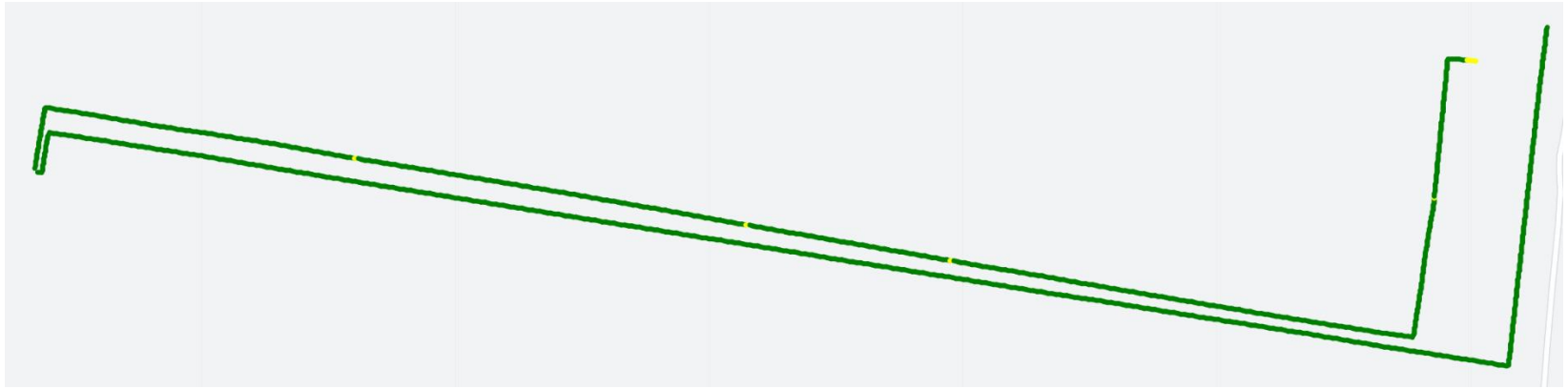




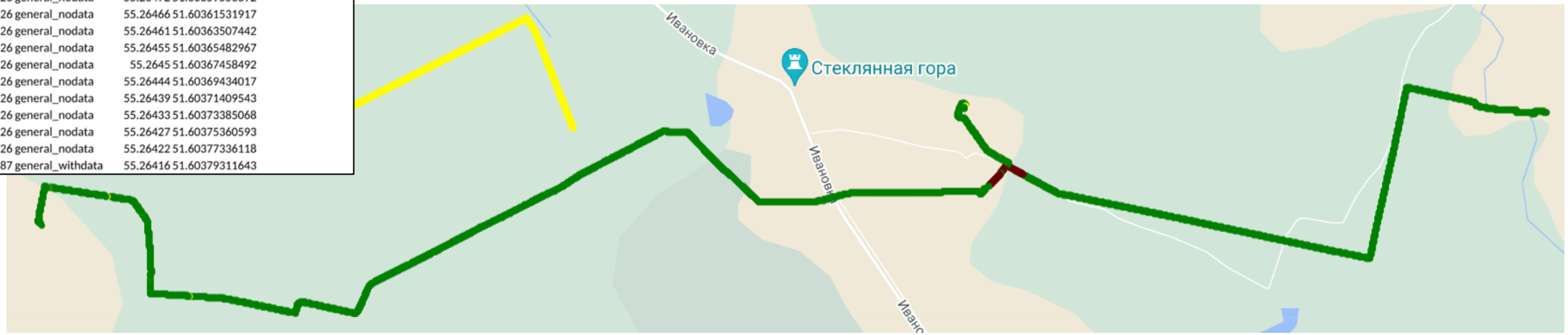
Результаты предикций. Материалы, переданные Заказчику

Пикет	Толщина	Тип модели	Широта	Долгота	Комментарий
0	7.6343128	general_withdata	55.26575	51.60318963439	
3850	7.3343128	general_withdata	55.26577	51.60322021413	
8850	7.1553726	general_nodata	55.26572	51.60323996939	
13850	7.1553726	general_nodata	55.26566	51.60325972464	
18850	7.1553726	general_nodata	55.26561	51.60327947989	
23850	7.1553726	general_nodata	55.26555	51.60329923514	
28850	7.1553726	general_nodata	55.2655	51.60331899039	
33850	7.1553726	general_nodata	55.26544	51.60333874564	
38850	7.1553726	general_nodata	55.26539	51.6033585009	
43850	7.1553726	general_nodata	55.26533	51.60337825615	
48850	7.1553726	general_nodata	55.26527	51.6033980114	
53850	7.1553726	general_nodata	55.26522	51.60341776665	
58850	7.1553726	general_nodata	55.26516	51.6034375219	
63850	7.1553726	general_nodata	55.26511	51.60345727715	
68850	7.1553726	general_nodata	55.26505	51.60347703241	
73850	7.1553726	general_nodata	55.265	51.60349678766	
78850	7.1553726	general_nodata	55.26494	51.60351654291	
83850	7.1553726	general_nodata	55.26489	51.60353629816	
88850	7.1553726	general_nodata	55.26483	51.60355605341	
93850	7.1553726	general_nodata	55.26477	51.60357580866	
98850	7.1553726	general_nodata	55.26472	51.60359556392	
103850	7.1553726	general_nodata	55.26466	51.60361531917	
108850	7.1553726	general_nodata	55.26461	51.60363507442	
113850	7.1553726	general_nodata	55.26455	51.60365482967	
118850	7.1553726	general_nodata	55.2645	51.60367458492	
123850	7.1553726	general_nodata	55.26444	51.60369434017	
128850	7.1553726	general_nodata	55.26439	51.60371409543	
133850	7.1553726	general_nodata	55.26433	51.60373385068	
138850	7.1553726	general_nodata	55.26427	51.60375360593	
143850	7.1553726	general_nodata	55.26422	51.60377336118	
148850	6.9378787	general_withdata	55.26416	51.60379311643	

Нефтепроводы

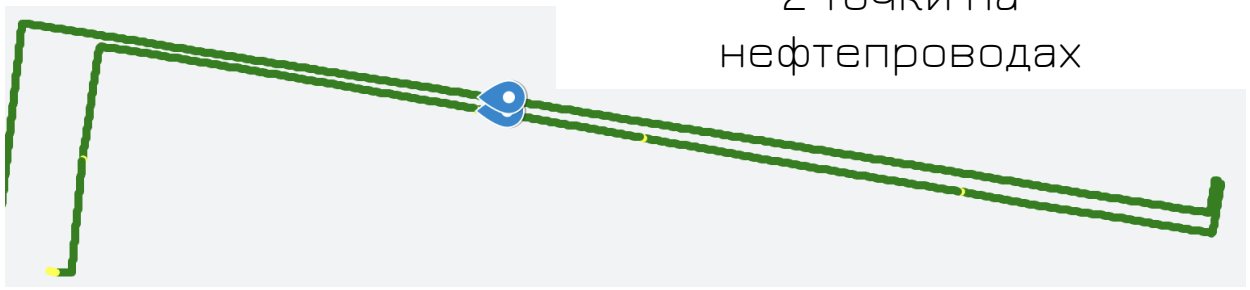


Газоингибиторопроводы

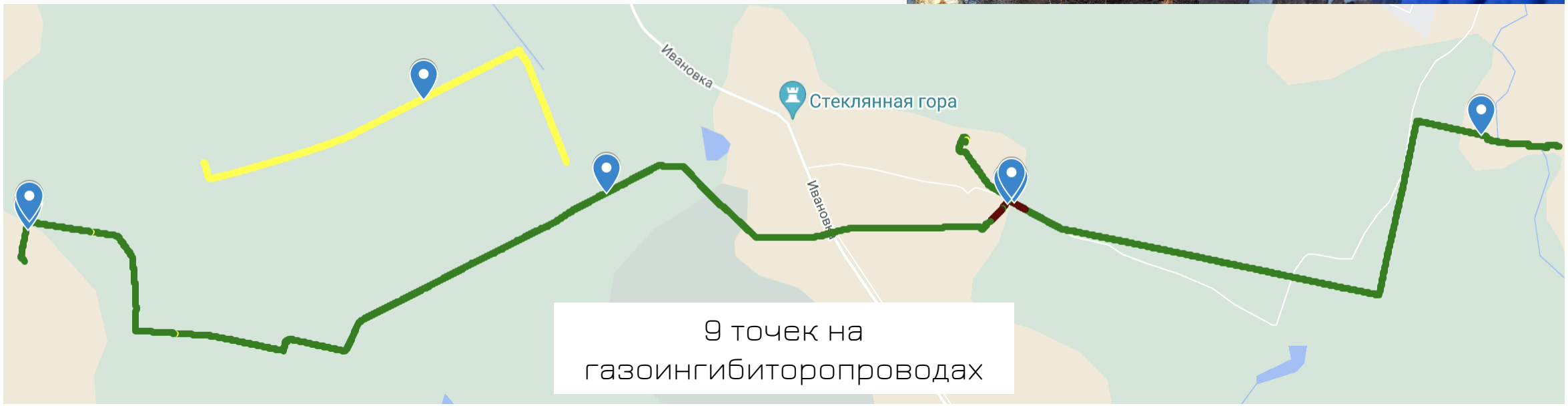


Выбранные точки для натурных испытаний

2 точки на
нефтепроводах







9 точек на
газоингибиторопроводах

Результаты натурных испытаний

Шурф	Условное обозначение	Наименование	Номинал, мм	Замер 23.12.2024, мм	Прогнозное значение, мм	Последняя толщинометрия	Точность	т узт, мм	т ном, мм	Допустимая Δ, мм	Расхождение, мм
1	НП1	ЗУ-5 - АГЗУ-2	10	9,3	9,10339	01.08.2024	95%	1,33%	12,50%	1,75	0,20
2	НП2	ЗУ-5 - т.вр. К-15	12	11,2	10,9929	10.08.2020	85%	1,33%	12,50%	3,23	0,21
3	ГП1	УПНГ ГРГГ - К-19	12	11,5	11,4395	24.07.2024	95%	1,33%	12,50%	2,17	0,06
4	ГП1	УПНГ ГРГГ - К-19	12	11,6	5,8104	24.07.2024	95%	1,33%	12,50%	2,18	5,79
5	ГП2	К-22 - т.вр. К-19	8	7,5	7,1553	03.07.2024	95%	1,33%	12,50%	1,41	0,34
6	ГП1	УПНГ ГРГГ - К-19	12	11,3	5,8104	24.07.2024	95%	1,33%	12,50%	2,13	5,49
7	ГП3	К-41 - К-1526	8	6,2	6,237	01.11.2022	91%	1,33%	12,50%	1,42	0,04
8	ГП4	КУ К-44 - К-48	8	7,3	7,2772	01.08.2024	95%	1,33%	12,50%	1,37	0,02
9	ГП4	КУ К-44 - К-48	8	6,8	7,2772	01.08.2024	95%	1,33%	12,50%	1,28	0,48
10	ГП4	КУ К-44 - К-48	8	6,8	7,2772	01.08.2024	95%	1,33%	12,50%	1,28	0,48
11	ГП5	КУ К-19 - КУ К-44	18	18,2	15,0858	22.05.2023	91%	1,33%	12,50%	4,16	3,11

Пилотный проект в «Газпромнефть-Оренбург»
Выводы

- Данные в «Газпромнефть-Оренбург» есть в достаточном объёме

Не все данные возможно вывести из периметра по соображениям ИБ.

Разворачивание ПО в контуре приведёт к лучшим результатам.

- Модели обучаются успешно. Рассчитаны толщины стенок на выбранных участках трубопроводов и проведены натурные испытания

- Задачи пилота выполнены

- Внедрение целесообразно

Глеб Беркович

Руководитель проектов департамента информационных технологий
+7 (919) 800 87 30
berkovich@its-samara.com

Павел Якимов

Руководитель департамента информационных технологий
+ 7 927 607 08 54
yakimov@its-samara.com