

КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ. ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕШЕНИЯ.

MAIN GAS PIPELINES STRESS-CORROSION CRACKING. PROBLEMS AND FUTURE DEVELOPMENT.

Ряховских И.В.

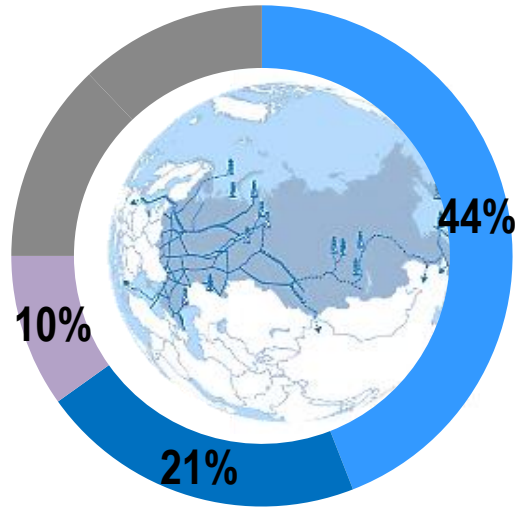
заместитель начальника КНТЦ коррозионного мониторинга
и защиты от коррозии ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Ilya V. Ryakhovskikh

Chief Deputy, Corrosion Monitoring & Protection Scientific
Center, Gazprom VNIIGAZ, Ltd

1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ СРЕЗ С 2000 ГОДА ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ.
MAIN GAS PIPELINES CURRENT STATUS. ANALYTICAL STATISTICS 2000 TO PRESENT.
2. КОНЦЕПЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МГ, В УСЛОВИЯХ РИСКА КРН.
STRATEGIES OF GAS PIPELINES RELIABILITY SUPPORT IN SCC RISK CONDITIONS.
3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ.
DEVELOPMENT AND INNOVATIONS UPCOMING TRENDS.

- США
USA
- Россия
Russia
- Канада
Canada



В местах отслоения покрытий образуется и развивается стресс-коррозия, что требует диагностирования и ремонта труб.

SCC forms and evolves in peel coat locations. It entails diagnostics and repair.

Во второй половине XX века протяженность мировых трубопроводов увеличилась в 6 раз.

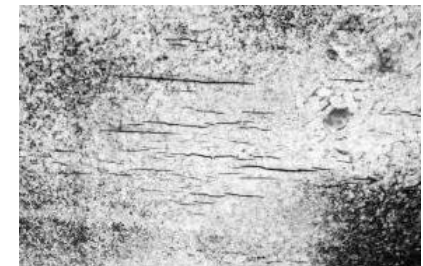
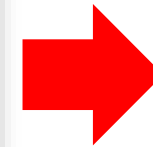
The world's pipelines six fold increase was observed in the later of the 20th century.

Из них около 75% от общей протяженности пролегают по территориям США, Канады, России с покрытиями трассового нанесения типа «Poliken».

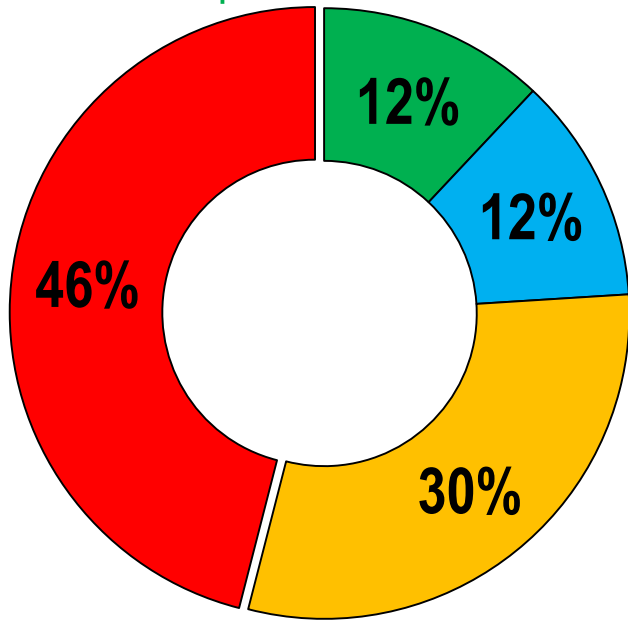
About 75% of them run across USA, Canada and Russia. They are coated with "Poliken".

Сроки эксплуатации защитных покрытий трассового нанесения не превышали 20 лет.

The lifetime of in field coatings was less than 20 years.



Время эксплуатации
Operation time



170 000 км магистральных газопроводов

170 000 km. main gas pipelines

110 000 км в зоне риска КРН

110 000 km. SCC risk

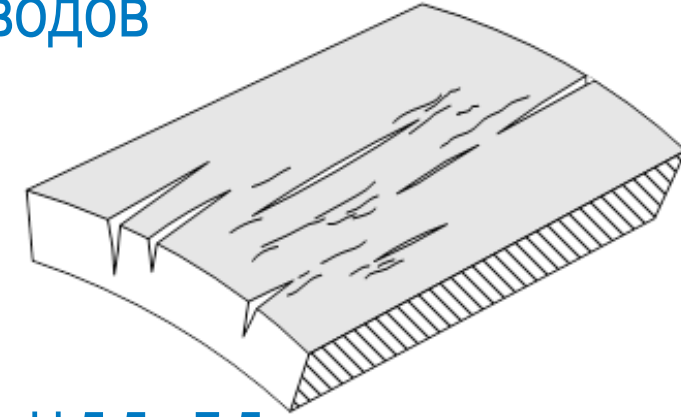
- Трассовые покрытия (Tape coatings)
- Грунтовый электролит (Soil electrolytes) pH 5.5 - 7.5
- КРН глубиной < 30% от толщины стенки не становились причиной аварий

SCC with depth < 30% of wall thickness - NO failures

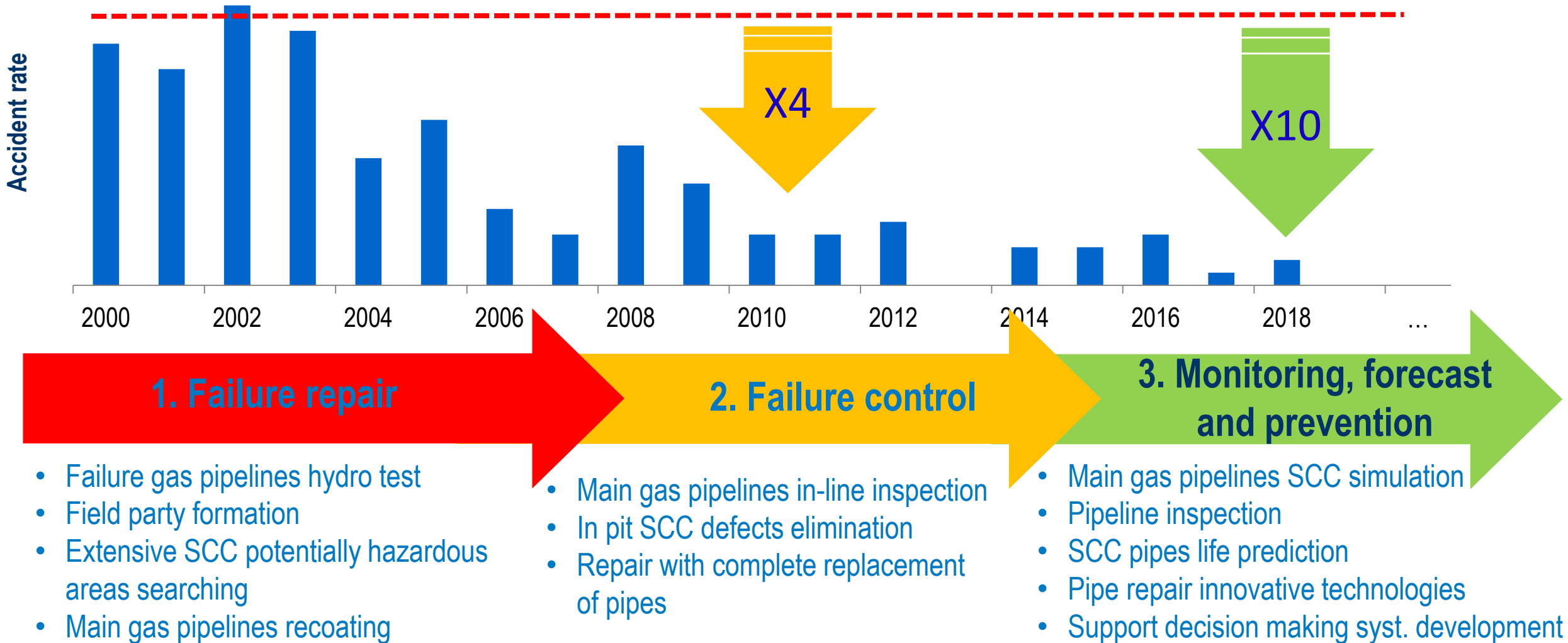
- КРН глубиной < 10% от толщины стенки не выявляются при ВТД
- SCC with depth < 10% of wall thickness – NO found by in-pipeline inspection

- 53% труб при ремонте устраняют с КРН глубиной менее 10% от толщины стенки

53% pipes has SCC < 10% of wall thickness







Критерий оценки

Rating

- Автоматизация технических решений
Engineering solutions automation
- Доп. незапланированные операции
Extra unscheduled actions
- Планирование МТР для ремонта
Repair resources planning
- Выявление опасных дефектов КРН
Fatal SCC defects localization
- Снижение затрат будущих периодов
Prepaid costs cutting
- Ресурсосбережение
Resource saving

| 1. Период Period | 2. Период Period | 3. Период Period |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |



Лаборатория физико-химического моделирования и профилактики
Laboratory of corrosion-mechanical failures & SCC prevention



Theoretical modeling of corrosion-mechanical process



Complex experimental studies



Innovation repair technologies



Лаборатория предиктивного моделирования поврежденности
Laboratory of SCC prediction, assessment and monitoring



Intellectual support of diagnostic



Complex analysis of diagnostic data



In-line inspection, diagnostic tools&devices



Моделирование КРН МГ
Main gas pipelines SCC simulation



Развитие в области технического диагностирования КРН
Technical diagnosis development of pipes with SCC defects



Расчет ресурса труб с КРН
Life-time prediction of pipes with SCC defects



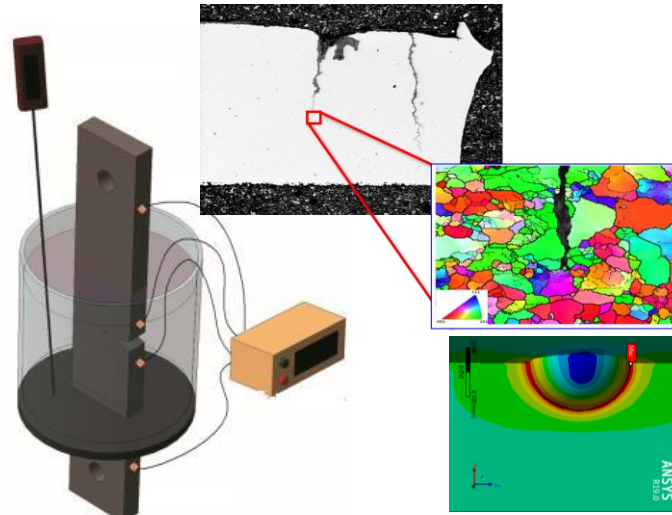
Инновационные технологии ремонта труб с КРН
Pipe repair innovations of pipes with SCC defects

Развитие систем поддержки принятия решений по эксплуатации трубопроводов с КРН
Support decision making systems development of pipes with SCC defects



Развитие системы оценки работоспособности труб с КРН
Development of pipe work capacity evaluation system of pipes with SCC defects

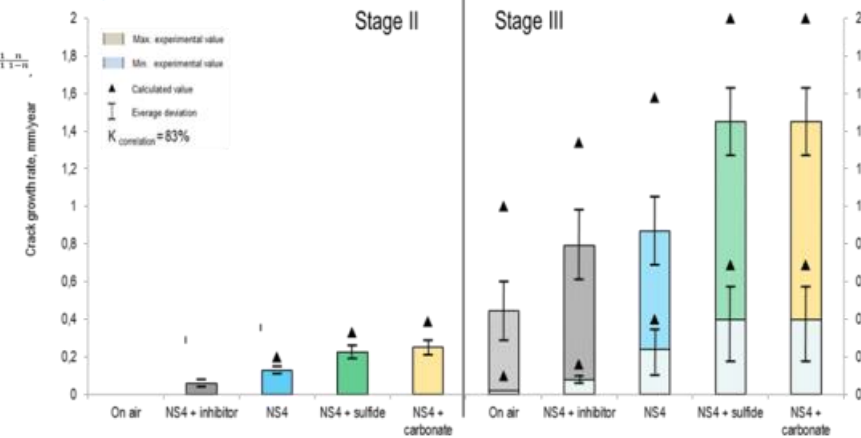
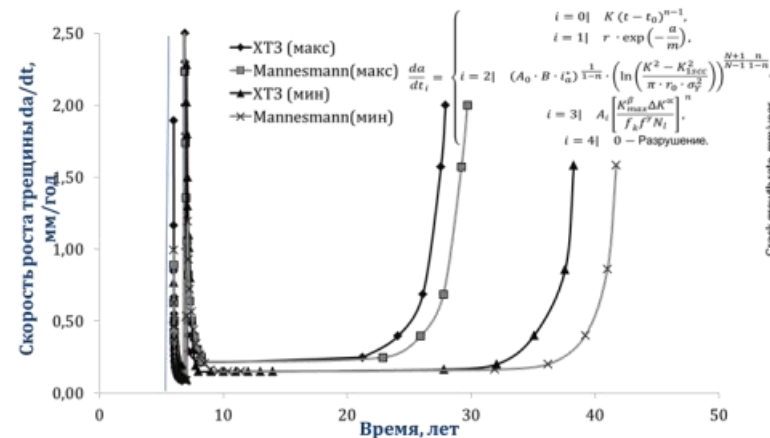
- ❑ Стадия «0» Инкубационный период до образования трещин
Incubation period of SCC (stage 0)
- ❑ Стадия «1» Образование, начальный рост и стабилизация трещин
Initiation of SCC (stage 1)
- ❑ Стадия «2» – Развитие индивидуальной трещины в колонии
Individual crack of SCC (stage 2)
- ❑ Стадия «3» – Развитие магистральной трещины
Main crack of SCC (stage 3)
- ❑ Стадия «4» – Разрушение
Failure (stage 4)



Multistage kinetics model of SCC



Сопоставление с экспериментальными данными





**8 % КРН ВТД
8 % SCC ILI**

**92 % КРН ниже порога ВТД
92 % SCC below the threshold ILI**

1. Бально-факторные модели поврежденности МГ КРН

- 👍 - достаточность базовых данных о МГ
- 👍 - отсутствие необходимости в доп. ПО
- 👎 - низкая достоверность прогноза

1. SCC damage grade-factor models

- 👍 - sufficiency of baseline information about main gas pipelines
- 👍 - no soft ware
- 👎 - low integrity of prediction

2. Предиктивные модели поврежденности МГ КРН с использованием «больших данных»

- 👎 - создание информационных систем
- 👎 - проведение комплекса доп. обследований
- 👍👍 - высокая точность прогноза поврежденности
- 👍👍 - возможность расчета ресурса дефектных труб

2. Main gas pipeline SCC damage predictive models with the use of "Big data" technologies

- 👎 - information systems creation
- 👎 - extra surveying
- 👍👍 - damage prediction high accuracy
- 👍👍 - possibility of defect pipes life prediction

Балльно-факторная «модель ВТД» обеспечивает прогнозирование дефектных труб с точностью:

- **65 %** на участках, не подверженных КРН
- **30 %** на участках, подверженных КРН
- с учетом **6 факторов**

Предиктивная «модель ВТД» с учётом поврежденности Газопровода – аналога и дополнительных шурфов обеспечивает прогнозирование дефектных труб с точностью **90 %** при реализации наиболее вероятного сценария

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

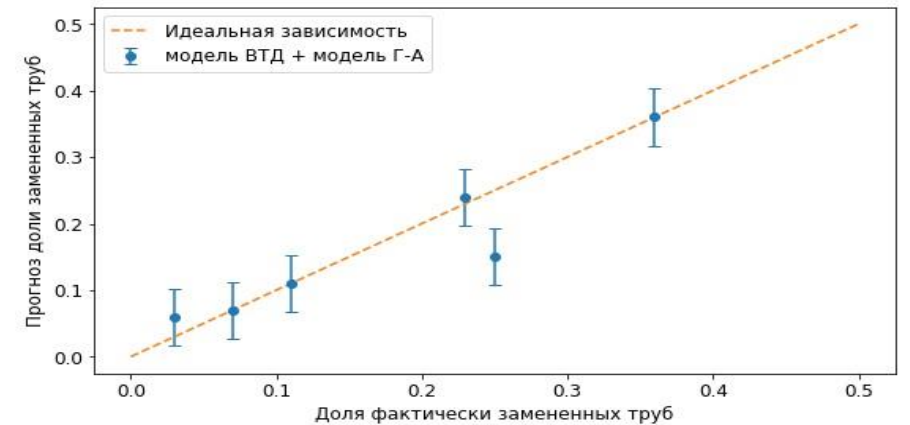
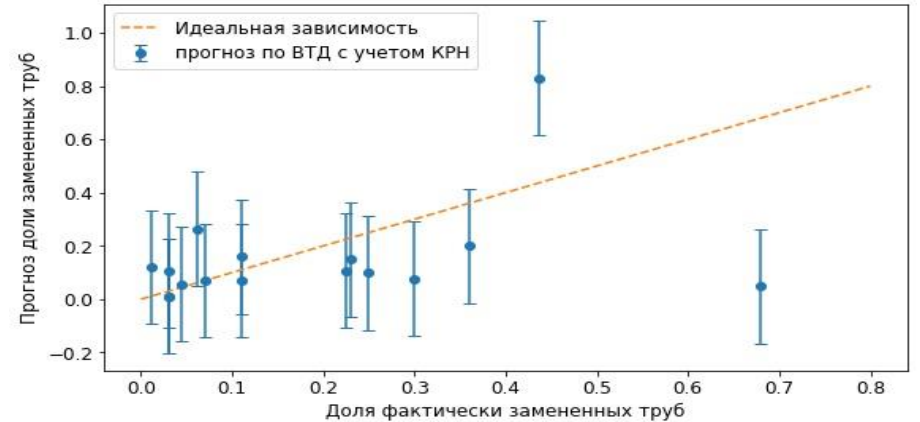


Практические рекомендации по полевой диагностике трубопровода и прогнозированию выбраковки труб

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ



Повышение эффективности и оптимизация затрат на техническое диагностирование труб со стресс-коррозионными повреждениями



SIMULATION OF SSC MP

prediction of stress-corrosion damage MP

The point-factor "in-line flow detection model" provides prediction of defective pipes with an accuracy of :

- **65 %** on areas without SSC
- **30 %** on areas with SSC
- taking into account 6 factors

The predictive model "in-line flow detection model "with the " pipeline – analog " model and additional pits provides prediction of defective pipes with an accuracy of **90 %** in the implementation of the most likely scenario

TECHNOLOGICAL EFFECT

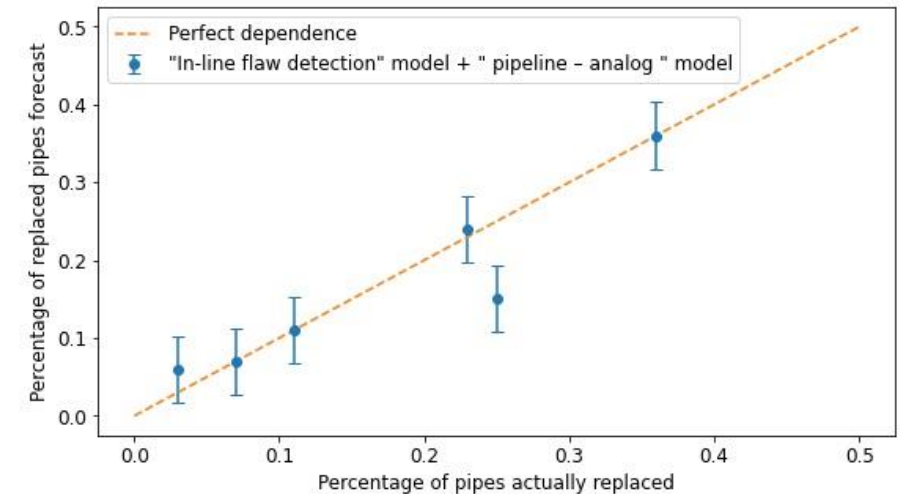
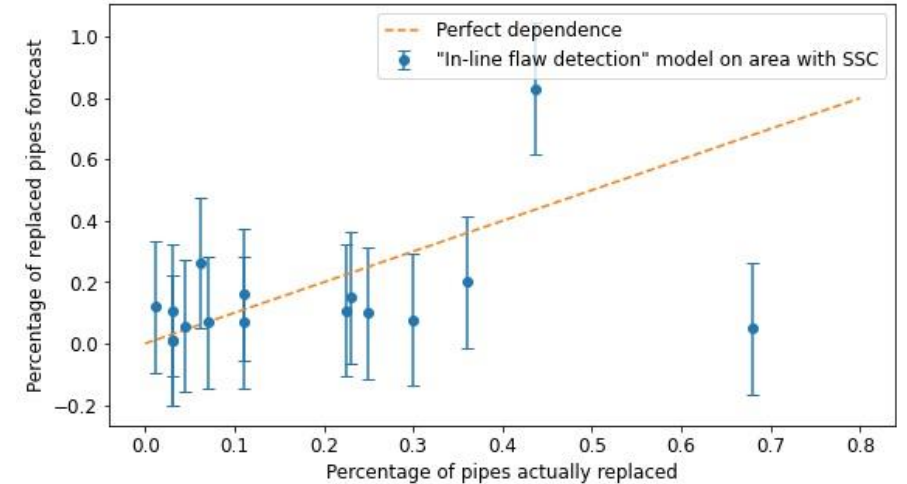


Practical recommendations for the pipeline field diagnostics and forecasting for culling pipes

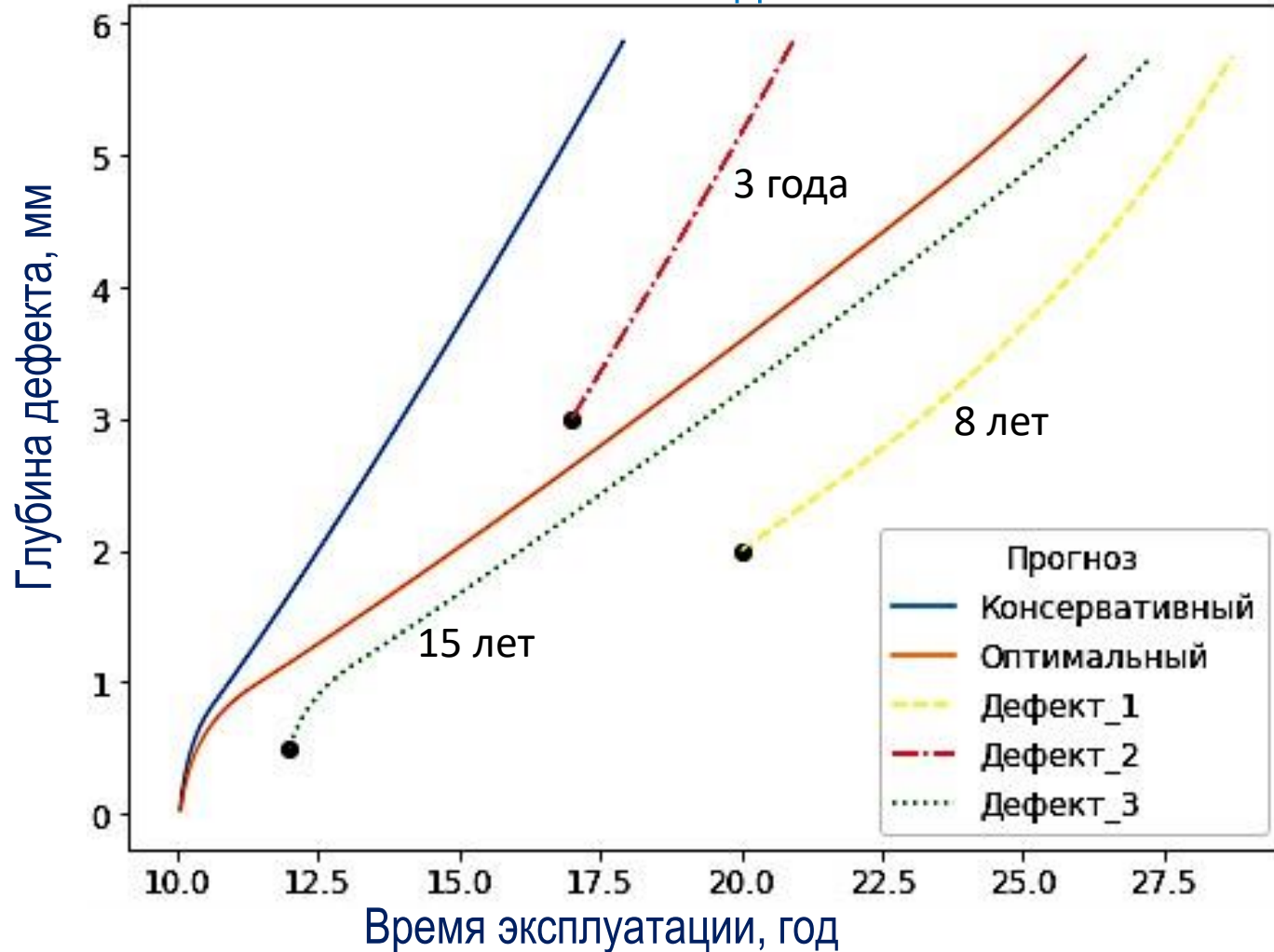
ECONOMIC EFFECT



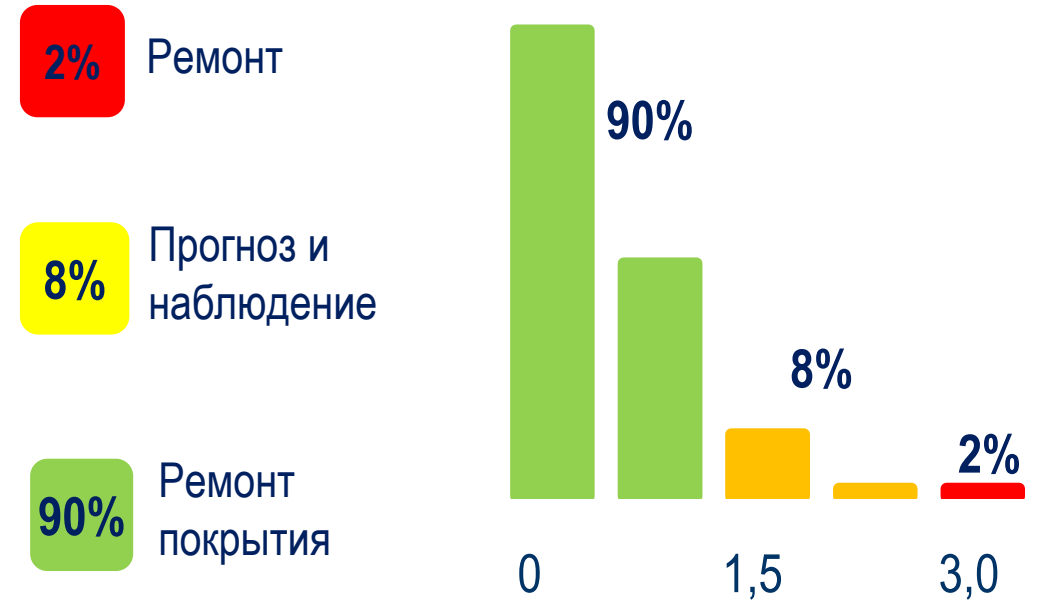
Increase efficiency and optimize costs for technical diagnostics of pipes with stress-corrosion damage



КИНЕТИКА РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУБ



ДОЛЕВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ТРУБ



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ



Снижение объемов вырезки труб при ремонте

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

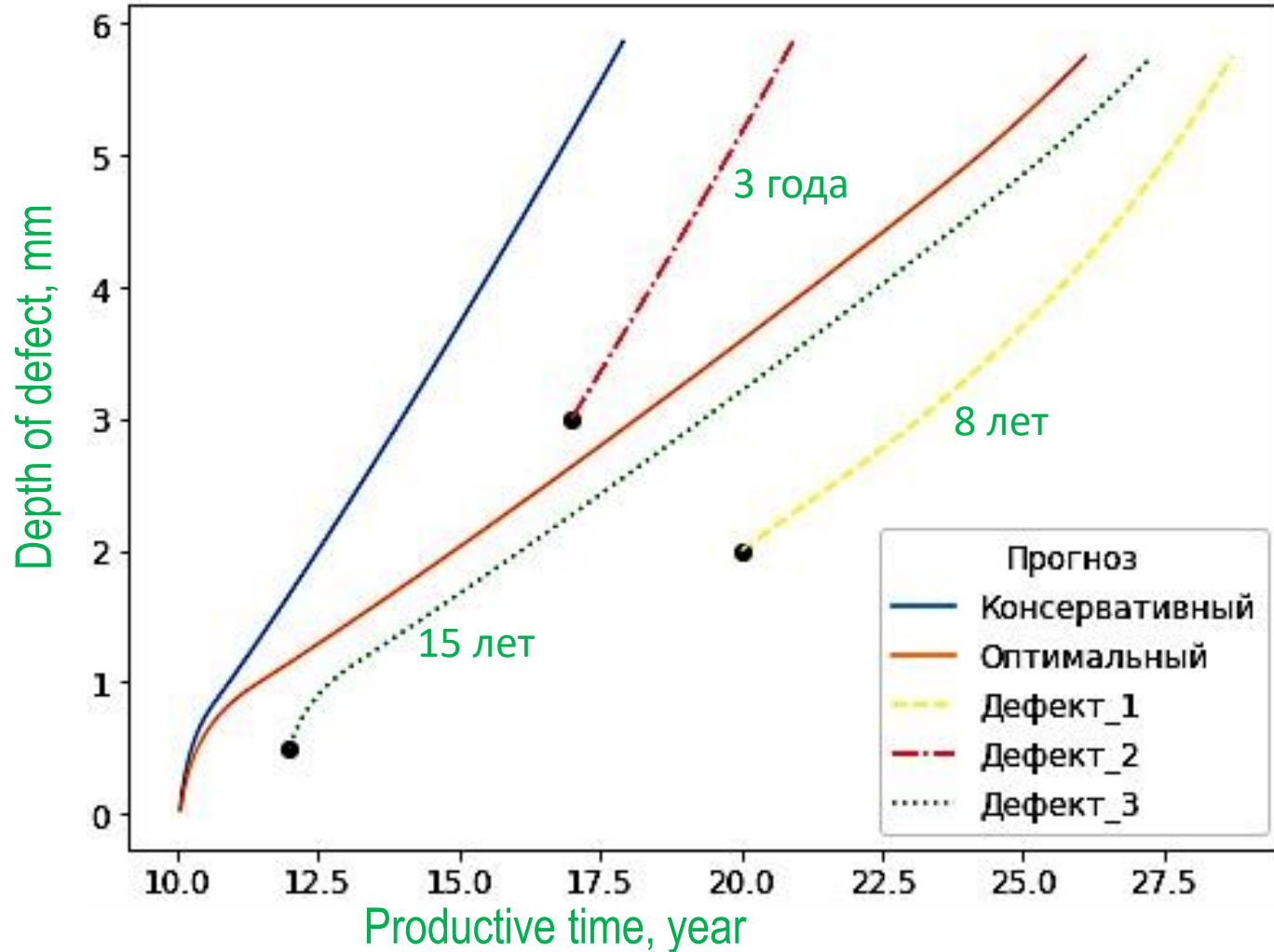


Снижение затрат на капитальный и выборочный ремонт МГ

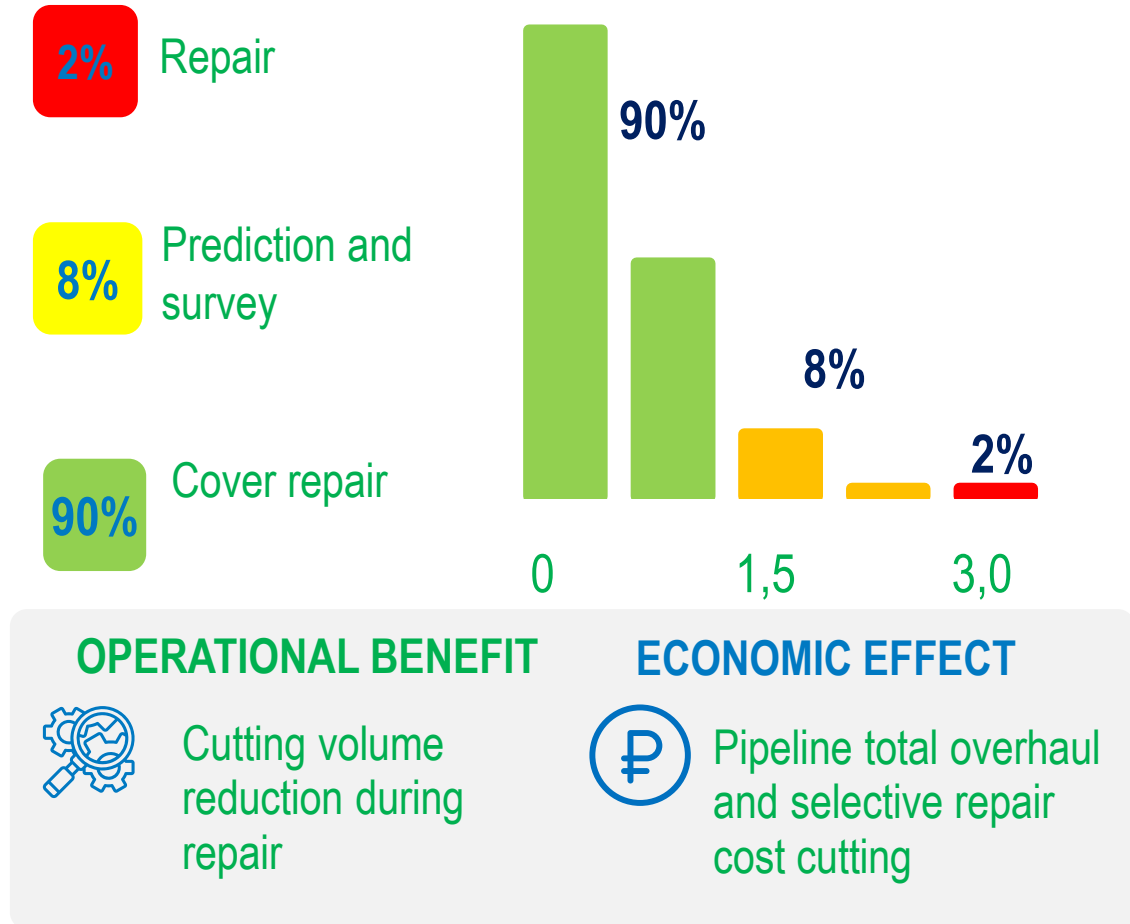
LIFE-TIME PREDICTION OF A PIPE WITH SCC

prediction of pipeline SCC damage

DEFECT GROWTH KINETICS OF PIPES

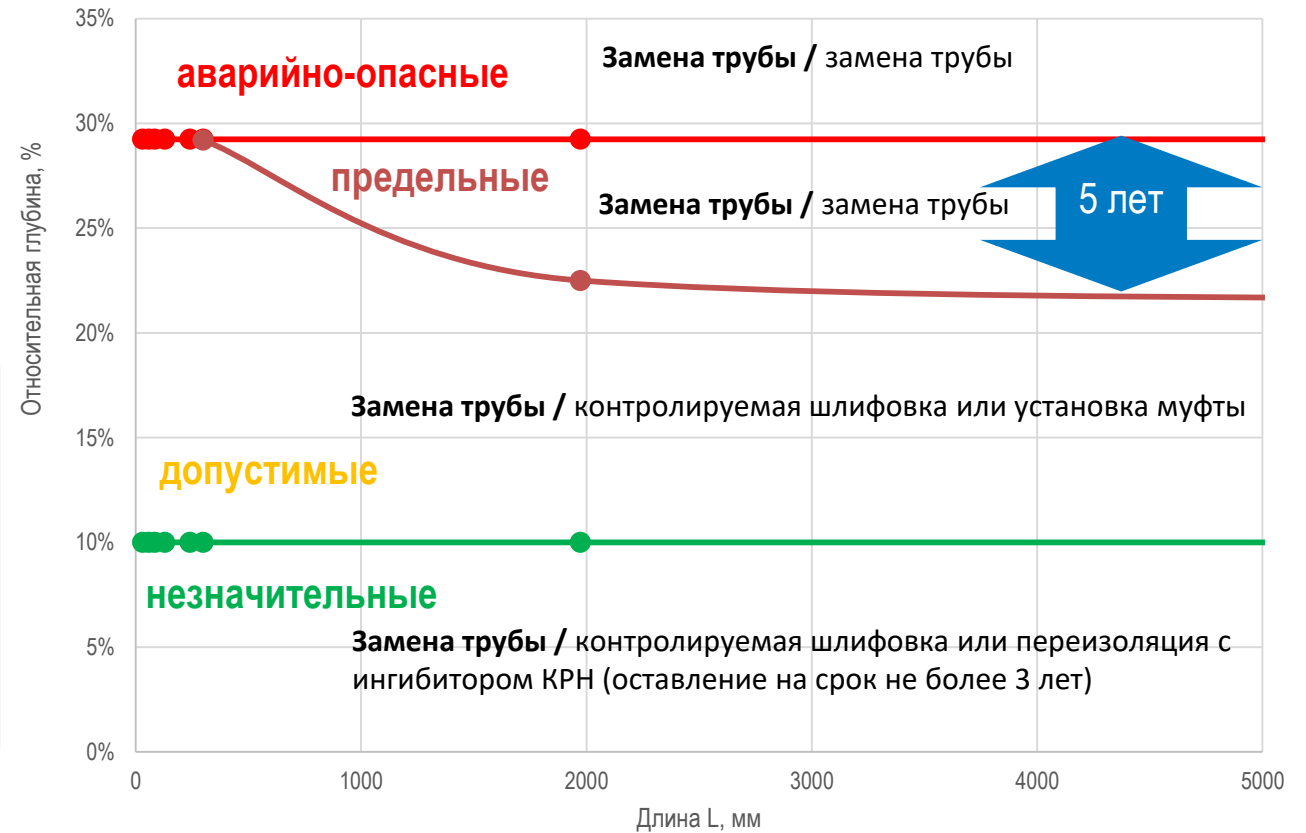


SHARED DEFECT PATTERN OF PIPES





НАЗНАЧЕНИЕ СПОСОБА КАПИТАЛЬНОГО/ ВЫБОРОЧНОГО РЕМОНТА ТРУБЫ С ТРЕЩИНОЙ - 1020X16 ММ; 7,5 МПА



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ



Обеспечение надежности и безаварийной работы



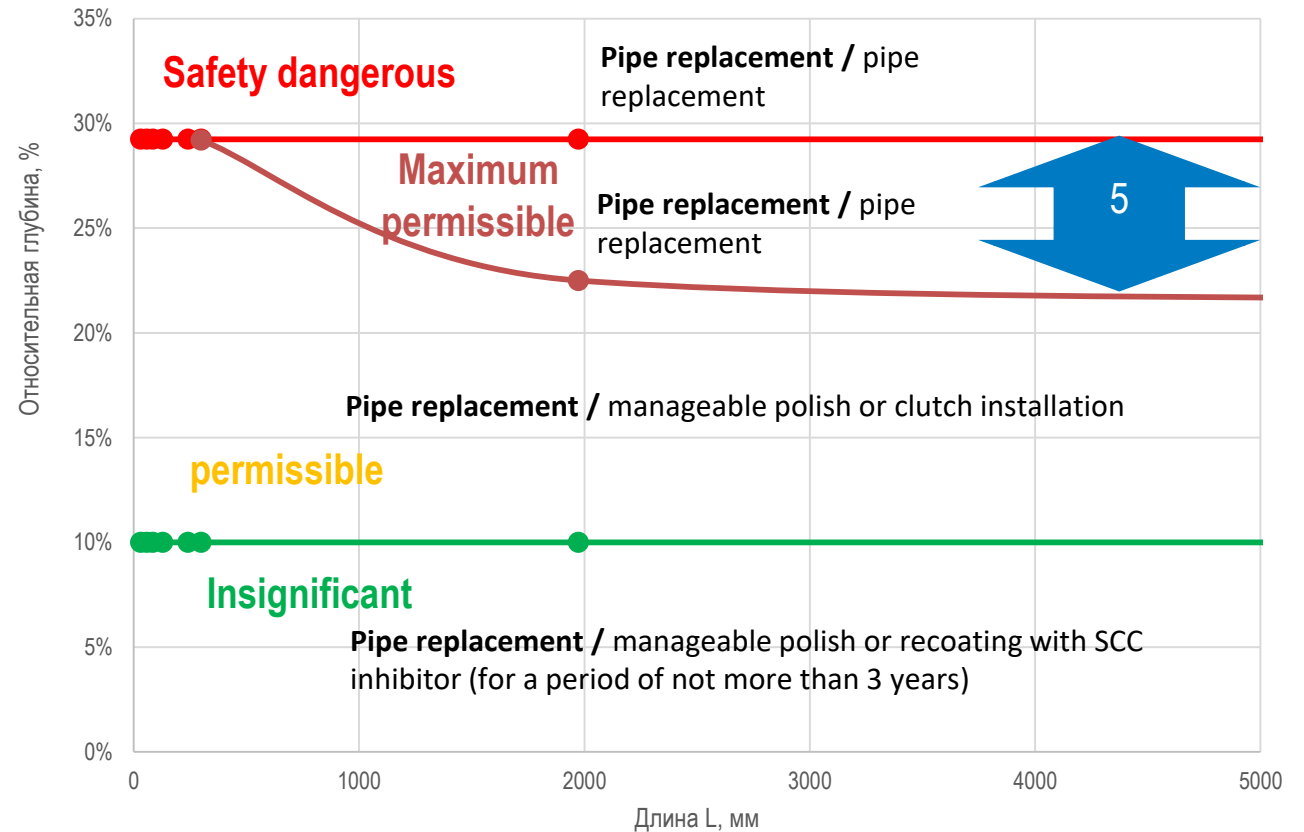
Снижение трудозатрат на подготовительные мероприятия

LIFE-TIME PREDICTION OF A PIPE WITH SCC

performance evaluation and pipe repair method dispatch



METHOD DISPATCH OF A TOTAL OVERHAUL / SELECTIVE REPAIR OF A PIPE WITH A CRACK - 1020X16 MM; 7,5 MPA



OPERATIONAL BENEFIT



Reliability assurance and trouble-free running

ECONOMIC EFFECT

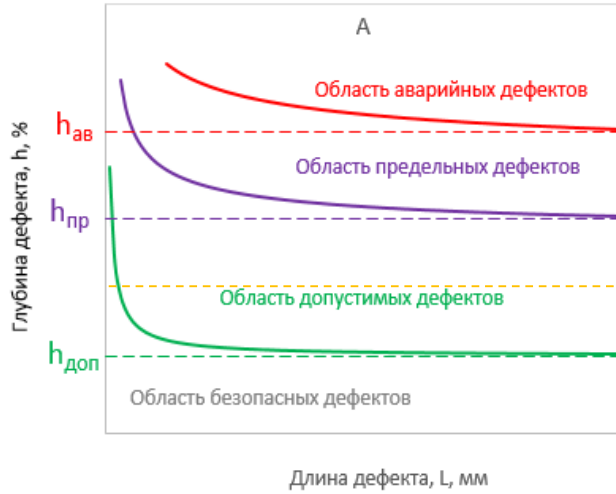


Cutting of labor contribution for preliminaries

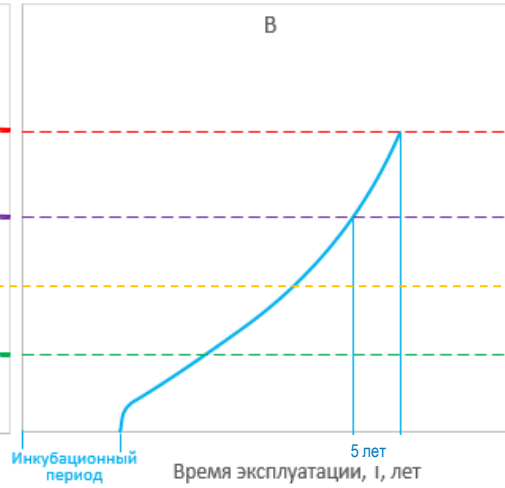
Дефекты КРН

Коррозионные дефекты

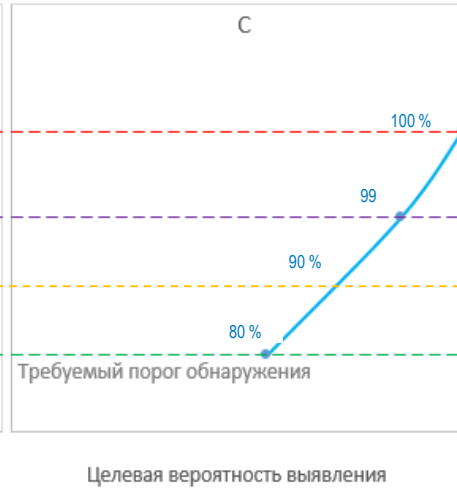
Критерии ремонта



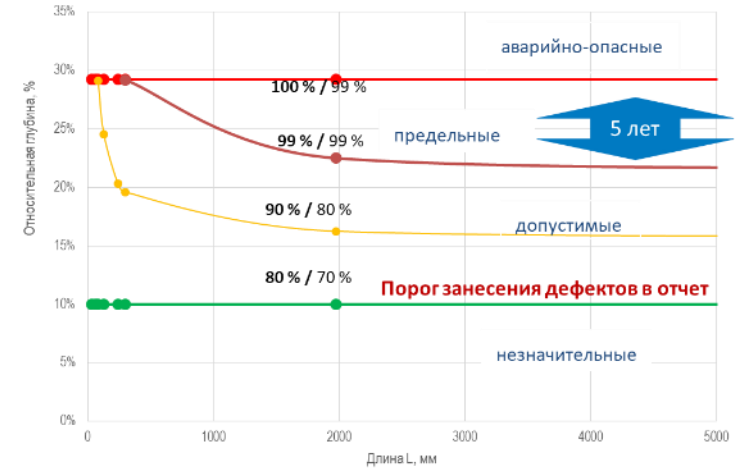
Скорости роста



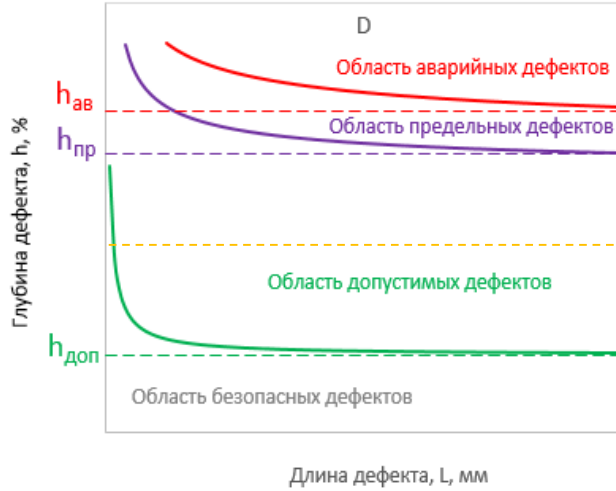
Обнаружение



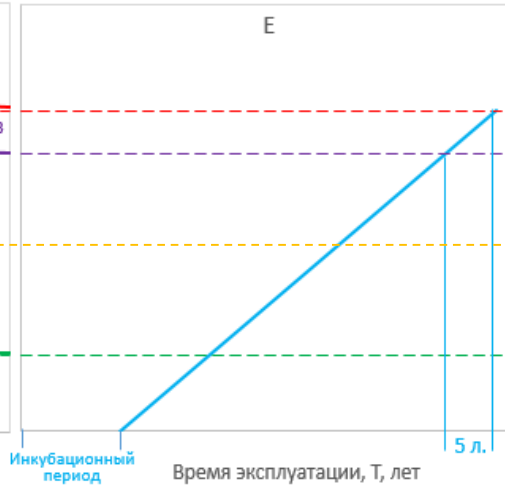
Для трубы 1020x16 мм; 7,5 МПа



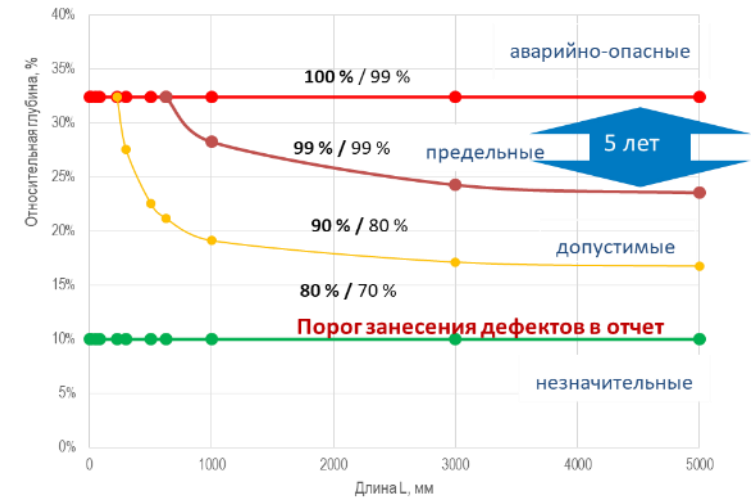
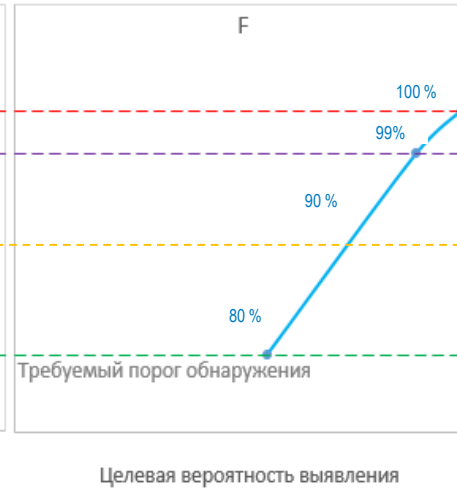
Критерии ремонта



Скорости роста

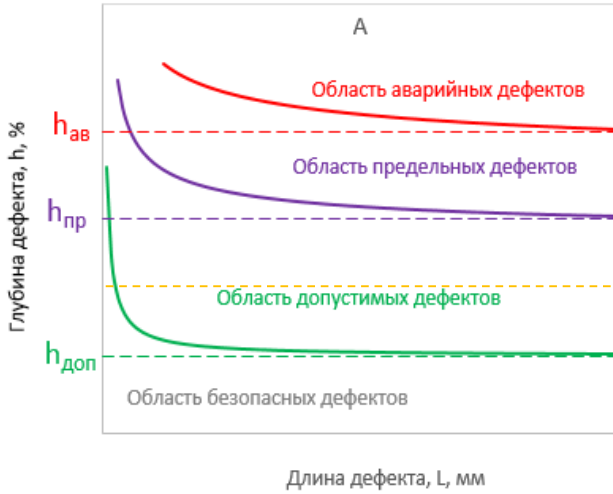


Обнаружение

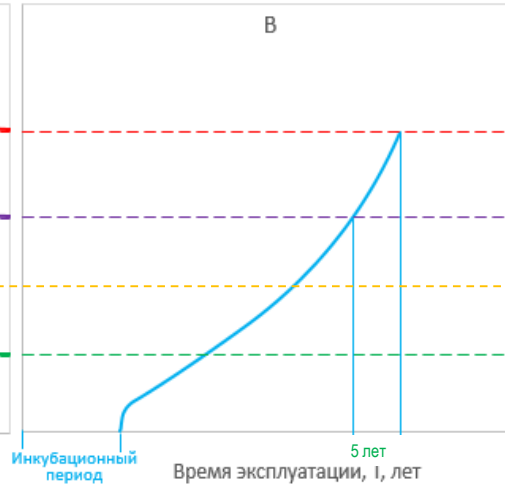


SCC defects

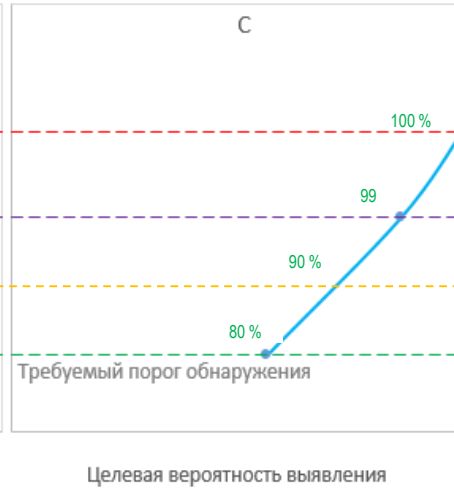
Repair criteria



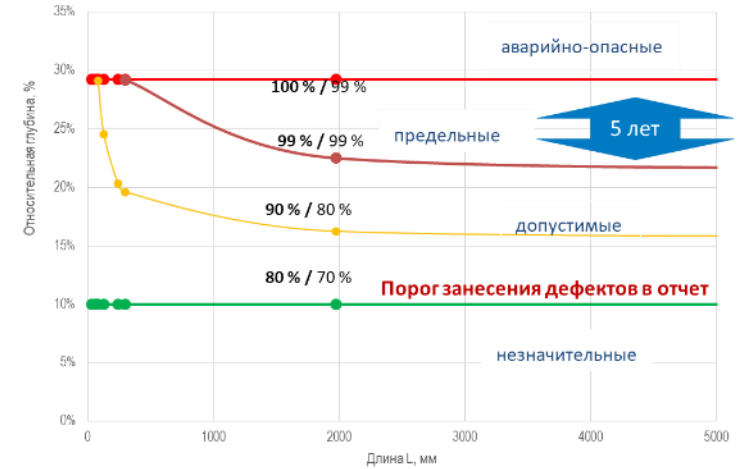
Rates of growth



Detection

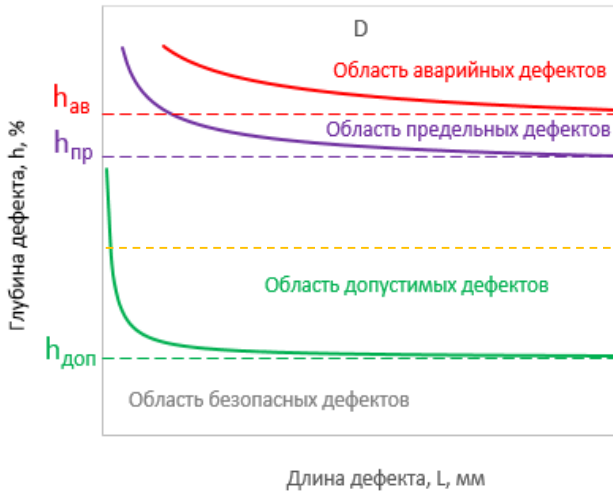


For a pipe of 1020x16 mm; 7,5 МПа

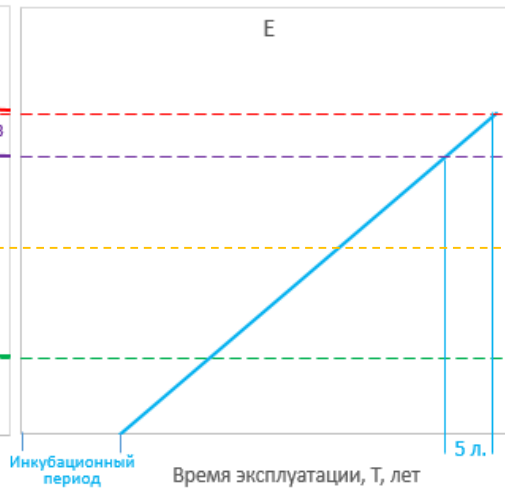


Corrosion defects

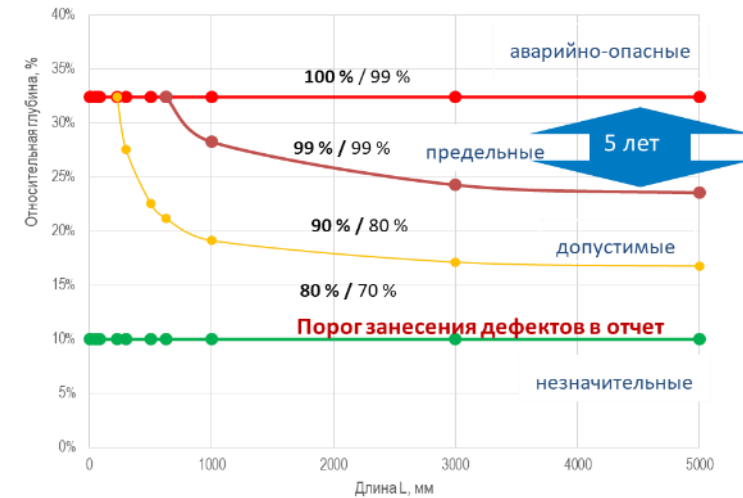
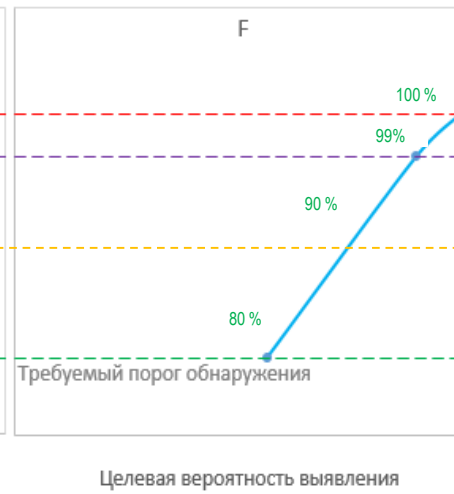
Repair criteria



Rates of growth



Detection



Автоматизированные диагностические комплексы

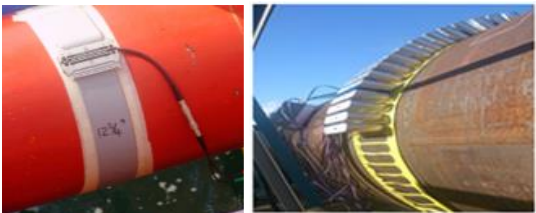
Внутритрубные самоходные АДК



Внешнетрубные самоходные АДК



Внешнетрубные стационарные АДК



Требования к АДК.

- дефектоскопические
- технические
- эксплуатационные

1. Контроль основного металла труб и СДТ

2. Толщинометрия стенок труб и СДТ

3. Контроль сварных соединений

4. Визуальное обследование трубопровода (при ВТД).

5. Профилеметрия труб и СДТ.

6. Определение пространственного положения трубопровода.

7. Контроль наличия отслоений изоляционного покрытия

Дополнительный дефектоскопический контроль

Визуальный и изм. контроль (ВИК) - 100 % зоны контроля

Вихретоковый контроль (ВК) - 100 % зоны контроля

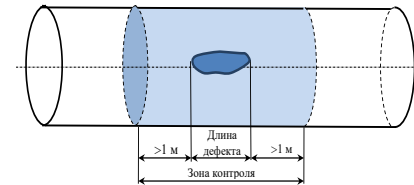
Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ)

Магнитопорошковый контроль (МПК) - По результатам ВИК и ВК

Ультразвуковой контроль (УК) - Контроль локальных участков

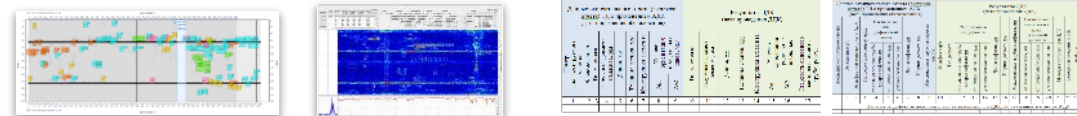
Измерения твердости металла труб и СДТ (ТВ)

НК кольцевых сварных соединений - по треб. СТО Газпром 2-2.4-083



Требования к отчетности

- Экспресс-отчет - не позднее 24 часов
- Окон. технический отчет - не позднее 30 раб. дней
- Сведения о ТД ТТ КС по формам Р Газпром 2-2.3-1174-2019
- Формат исходных данных гармонизирован с Интеллектуальной системой

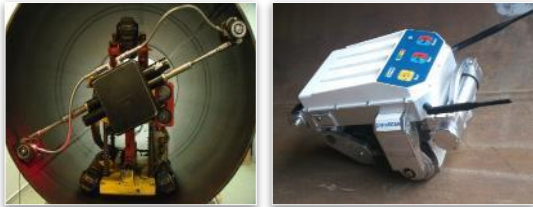


TECHNICAL DIAGNOSIS DEVELOPMENT

ILI inspection balanced requirements formation

Automated diagnostic complex

Intratubal self-feed ADC



Extratubal self-feed ADC



Extratubal fixed ADC



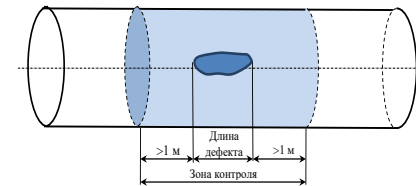
ADC requirements

- Flaw-detective
- Technical
- Operational

1. Pipes base metal control
2. Pipe wall thickness test
3. Welded joint control
4. Pipeline visual inspection (during in-field inspection).
5. Pipe profile logging.
6. Definition of three-dimensional position of pipeline.
7. Coating exfoliation control

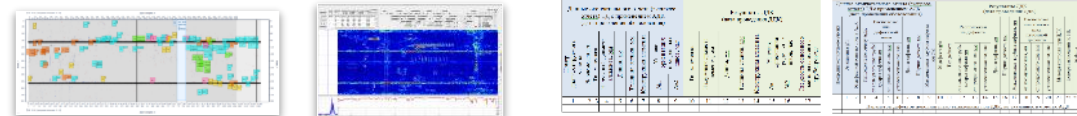
Additional flaw-detective control

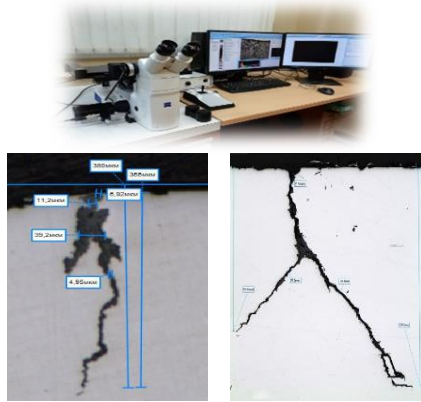
- Visual and dimensional inspection (VDI) - 100 % inspection area
- Eddy current testing (ECT) - 100 % inspection area
- Ultrasonic wall thickness test (UWTT)
- Magnetic particle test (МПК) - on the results of VDI and ECT
- Ultrasonic control (UC) – place-based areas control
- Metal hardness dimension
- NDC of welded circumferential joints – upon STO Gazprom 2-2.4-083 request



Report requirements

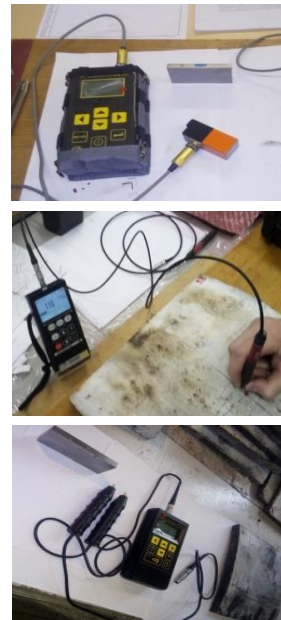
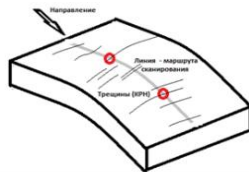
- Express report – not later than 24 hours
- Final technical report – not later than 30 business days
- Data about gas-compressor stations diagnosis pursuant to forms of R Gazprom 2-2.3-1174-2019
- Bench-mark data form is brought in synk with Intellectual system





Приборы НК:
 ультразвуковые (УЗК) дефектоскопы;
 электропотенциальные (ЭП) трещиномеры;
 вихретоковые (ВК) дефектоскопы,
 - ВТП с $D > 10$ мм (ВК(Б));
 - ВТП с $D 5-10$ мм;
 - ВТП с $D < 5$ мм (ВК(М)).

Объем измерений:
 63 образца с дефектами КРН
 105 точек контроля
 5 замеров в каждой точке
 более 7600 замеров



Экспериментально установленные относительные погрешности измерений

| Диапазон изм. значения глубины дефекта КРН прибором НК, мм | ВК ВТП $D >> 10$ мм | | ВК ВТП $D 5 \div 10$ мм | | ВК ВТП $D \leq 5$ мм | | ЭПК | |
|--|---------------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| | - δ , % | + δ , % | - δ , % | + δ , % | - δ , % | + δ , % | - δ , % | + δ , % |
| от 0 до 0,5 | - | 205 | 50 | 100 | 40 | 65 | - | 210 |
| от 0,5 до 1,0 | 60 | 200 | 50 | 90 | 40 | 60 | 45 | 30 |
| от 1,0 до 1,5 | 45 | 60 | 45 | 45 | 45 | 40 | 40 | 35 |
| от 1,5 до 2,0 | 60 | 65 | 45 | 60 | 45 | 55 | 40 | 40 |
| от 2,0 до 2,5 | 50 | 65 | 50 | 30 | 50 | 30 | 20 | 20 |
| от 2,5 до 3,0 | 55 | 60 | 45 | 35 | 45 | 45 | 20 | 30 |
| от 3,0 до 3,5 | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 20 | 35 |
| от 3,5 до 4,0 | 60 | - | 40 | - | 50 | - | 30 | - |
| более 4,0 | 60 | - | 50 | - | 55 | - | 15 | - |

Уменьшение затрат на контроль труб с КРН





Технические параметры

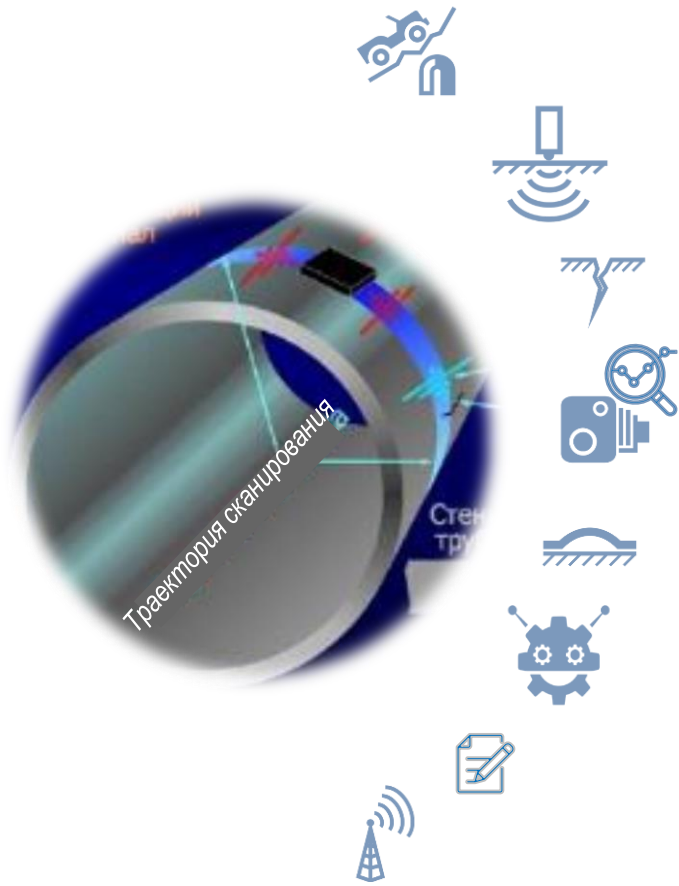


Функциональные возможности

- Комплексирование методов НК
- Визуализация результатов контроля
- Обработка результатов НК с применением технологий машинного обучения
- Оценка размеров и классификация дефектов по степени опасности и ремонтпригодности
- Категорирование и освидетельствование трубы
- Формирование цифрового паспорта
- Присвоение уникального номера, маркировка труб
- Интеграция данных в Интеллектуальную систему сопровождения технического диагностирования

TECHNICAL DIAGNOSIS DEVELOPMENT

Automated external diagnostic complex for SCC «ScanRing»



Integration of methods of NDC

Visualization of control's results

Processing of NDC's results with the use of laser-based vision and machine learning technologies

Size estimation and defect classification by hazard and reparability

Pipe categorization and inspection

Formation of a digital certificate

One-of-a-kind number assignment, pipe marking

Data integration in the Intellectual system of technical diagnosis support

OPERATIONAL BENEFIT



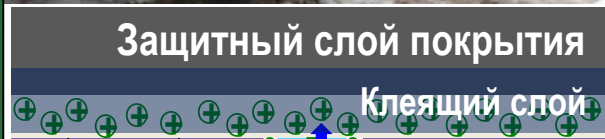
Providing of goal performance measures in process of SCC-defects categorization during pipeline in-field repair

ECONOMIC EFFECT



The effect makes dependent on optimization of costs associated with technical diagnosis of pipelines, categorization, inspection, certification and marking of pipes during the total overhaul

Процесс нанесения покрытия с ингибитором в трассовых условиях



Оставленная влага содержит ионы – OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , HS^-

Ингибитор блокирует поверхность металла от воздействия ионов

- повышает обобщенный показатель сопротивления КРН в электролите на 16 % (SSRT)
- снижает скорость роста уже существующей трещины в электролите в 3 раза (при стат. нагр.)
- повышает время до зарождения трещин в трубной стали в электролите в 1,2 раза (при цикл. нагр.)
- снижает скорость роста трещины в электролите в 1,53 раза (при цикл. нагр.)
- не снижает адгезию защитного покрытия
- добавка ингибитора не влияет на стоимость покрытия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ



Снижение объемов вырезки труб до 50% и ремонта до 90% дефектов КРН

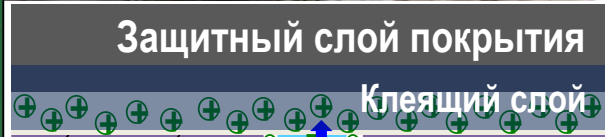


Снижение стоимости ремонта на 19,4 млн руб./км



Патент №2663134
Битумно-полимерная грунтовка, ПАО «Газпром» и АО «Делан»

Field coating with inhibitor process



Ингибитор блокирует поверхность металла от воздействия ионов

Оставленная влага содержит ионы – OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , HS^-

- Increases stress-corrosion resistance composite index in electrolyte by 16% (SSRT)
- Reduces growth rate of existing crack in electrolyte in 3 times (by static load)
- Increases time period before crack initiation in pipe steel in electrolyte in 1,2 times (by cyclic load)
- Reduces growth rate of existing crack in electrolyte in 1,53 times (by cyclic load)
- No influence on coat adhesion
- Inhibitor addition has no influence on coat price

OPERATIONAL BENEFIT



Снижение объемов вырезки труб до 50% и ремонта до 90% дефектов КРН

ECONOMIC EFFECT



Снижение стоимости ремонта на 19,4 млн руб./км



Patent №2663134
Bitumen-polymer primer,
PAO «Gazprom» и
АО «Delan»

1. Модуль сбора, хранения, архивирования и первичной обработки данных АДК

Функции:

- **Первичная оценка качества** данных АДК
- Оценка **соответствия** данных об участке **нормативным документам**
- **Визуализация**, агрегация разнородных данных и построение логической модели ТТ
- **Хранение** данных
- Генерирование **отчетности**

ТТ КС

ЛЧ МГ

2. Модуль распознавания и определения геом. размеров аномалий и элементов

Функции:

- Определение **характеристик дефектов**, раскладки трубных секций ТТ
- **Выгрузка** результатов автоматической обработки данных

Функции:

- **Оценка достоверности** данных об участке трубопровода
- **Анализ дефектоскопических параметров** и ограничений АДК
- Формирование **перечня** труб, требующих **ДДК** в шурфах

Функции:

- Прогнозирование доли труб с **невыявленными дефектами** КРН
- Прогнозирование **скоростей** развития дефектов типа коррозия и КРН
- **Расчет показателей** для УТСЦ ТТ КС
- **Выгрузка** результатов



1. ADC data acquisition, storage, backup and primary processing module

Functions:

Initial assessment of ADC data quality

Evaluation of compliance of data about division with standard documentation

Visualization, heterogeneous data aggregation and building the logical model of pipeline

Data storage

Report generation

2. Anomalies and elements size dimension identification and definition module

Functions:

Definition of defects' characteristics, pipe lengths arrangement

Upload results of automated processing data

3. Check, map and evaluation of ADC data quality module

Functions:

Data confidence rating about division

Flow-detective parameter and ADC limits evaluation

Listing of pipes, demanding in pits

4. Corrosion and stress-corrosion state prediction module

Functions:

Prediction of quantity of pipes with undetected SCC defects

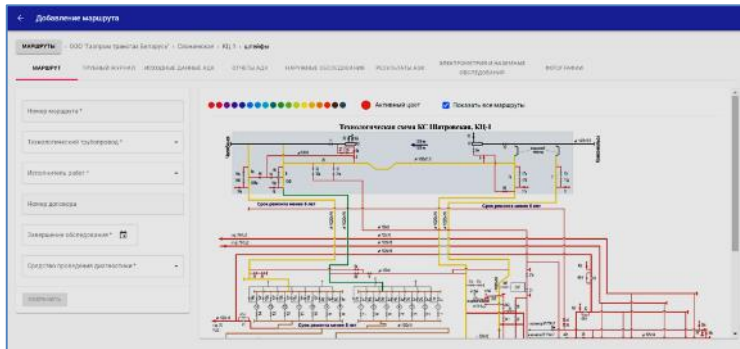
Prediction of rate of corrosion and SCC defects growth

Calculation for **PIMS**

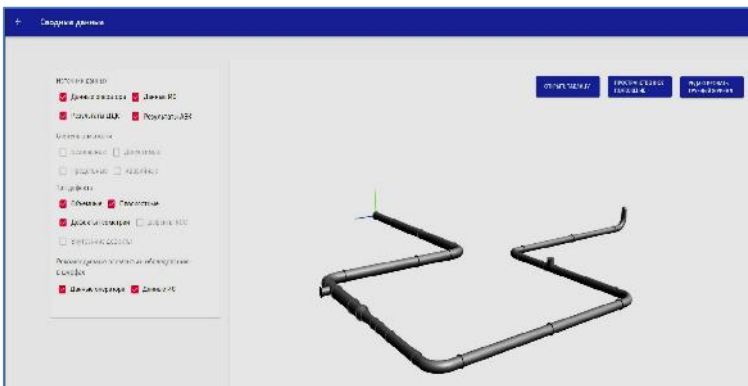
Results upload

Интеллектуальная система сопровождения технического диагностирования трубопроводов. Интерфейс системы

Привязка данных к сложным маршрутам



Построение 3D модели газопровода



Совмещение данных ВТД, обследований в шурфах и параметров труб

результатирующая таблица

Данные по результатам обработки ИИС исходных данных ВТД

| № ТС | № ДЗ | Тип дефекта | Расположение ДЗ от первого по ходу газа кольцевого шва трубы до края дефекта, мм | Расположение ДЗ от продольного шва, мм | Расположение ДЗ от угла, час | Длина дефекта, мм | Ширина дефекта, мм | Глубина дефекта, мм | Вероятность определения ДЗ, % | Вероятность определения типа дефекта, % | Оценка работоспособности |
|------|------|-------------|--|--|------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3 | 1 | Коррозия | 1710 | 2400 | 3,6 | 690 | 320 | 0,3 | 92 | 96 | Безопасный |
| 3 | 2 | Коррозия | 1920 | 2490 | 2 | 530 | 150 | 0,4 | 87 | 85 | Допустимый |
| 3 | 3 | Коррозия | 3490 | 4270 | 3,9 | 780 | 190 | 0,3 | 90 | 91 | Безопасный |
| 3 | 4 | Коррозия | 11400 | 12010 | 2,9 | 610 | 190 | 0,3 | 91 | 90 | Допустимый |

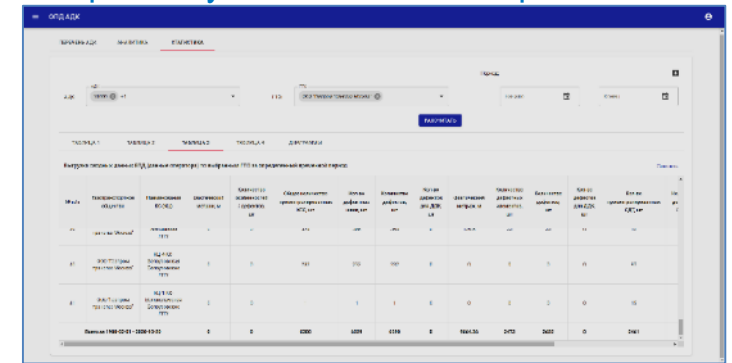
2D - РАЗВЕРКА

РЕЗУЛЬТАТЫ СКАНИРОВАНИЯ НАКЛОННЫМ ДАТЧИКОМ

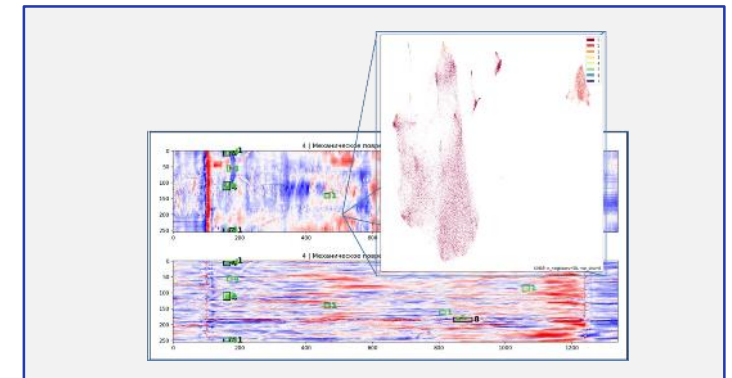
дефектограммы

- Данные оператора
 - Безопасные
 - Допустимые
 - Предельные
 - Аварийные
- Данные ИИС
- ДДК
 - I
 - II
 - III
- АЭК
 - I
 - II
 - III

Расчет показателей тех. состояния ТТ КС; формирование перечня ТТ КС подлежащих ремонту и техн. диагностированию



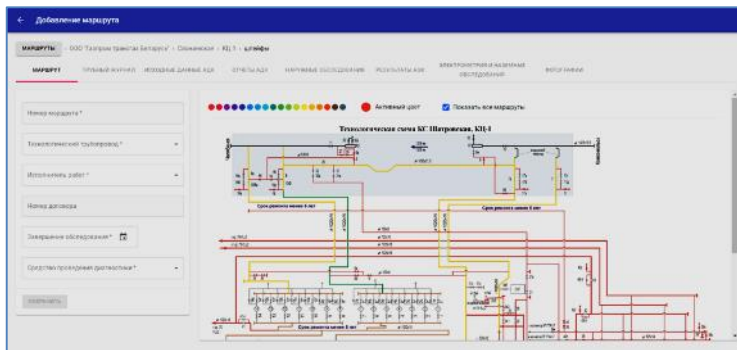
Визуализация и идентификация аномалий



DEVELOPMENT OF DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEM intellectual system

Intellectual system of pipeline technical diagnosis support. System's interface.

Data binding to complex routes



Linking of in-field inspection data, inspections in pits data and pipes' parameters

Данные

РЕЗУЛЬТИРУЮЩАЯ ТАБЛИЦА УЗКИ УЗКА НАРУЖНЫЕ ОСЛЕДОВАНИЯ ВНИ АЭК ПАРАМЕТРЫ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДА ТРУБНЫЙ ЖУРНАЛ

Данные по результатам обработки ИИС исходных данных ВТД

| № ТС | № ДЗ | Тип дефекта | Расположение ДЗ от первого по ходу газа кольцевого шва трубы до края дефекта, мм | Расположение ДЗ от продольного шва, мм | Расположение ДЗ от условного положения, час | Длина дефекта, мм | Ширина дефекта, мм | Глубина дефекта, мм | Вероятность определения ДЗ, % | Вероятность определения типа дефекта, % | Оценка работоспособности |
|------|------|-------------|--|--|---|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3 | 1 | Коррозия | 1710 | 2400 | 3,6 | 690 | 320 | 0,3 | 92 | 96 | Безопасный |
| 3 | 2 | Коррозия | 1920 | 2490 | 2 | 530 | 150 | 0,4 | 87 | 85 | Допустимый |
| 3 | 3 | Коррозия | 3490 | 4270 | 3,9 | 780 | 190 | 0,3 | 90 | 91 | Безопасный |
| 3 | 4 | Коррозия | 11400 | 12010 | 2,9 | 610 | 190 | 0,3 | 91 | 98 | Допустимый |

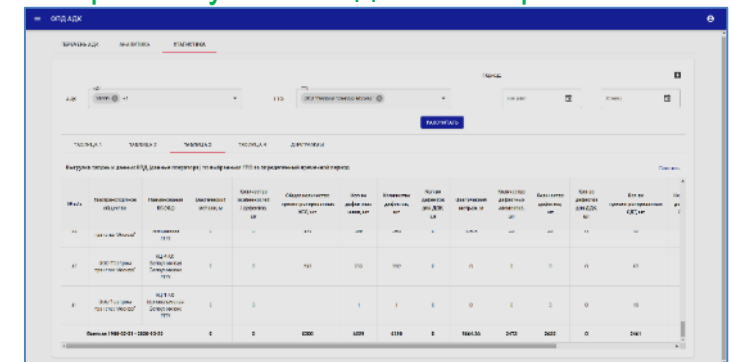
2D - РАЗВЕРТКА

ДЕКОНТОГРАММЫ

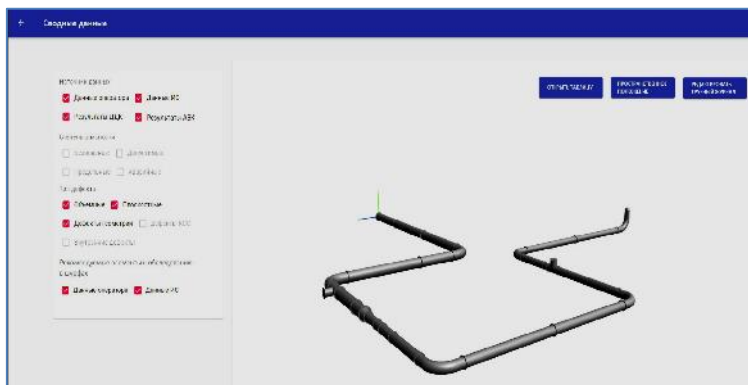
- Данные оператора
 - Безопасные
 - Допустимые
 - Предельные
 - Аварийные
- Данные ИИС
- ДДК
 - I
 - II
 - III
- АЭК
 - I
 - II
 - III

Результаты сканирования наклонным датчиком

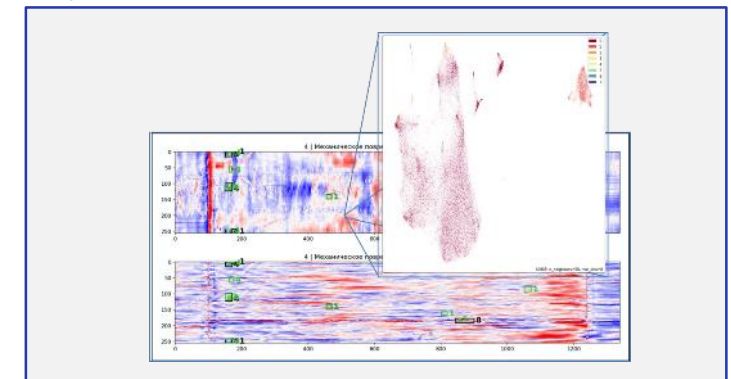
Расчет показателей тех. состояния ТТ КС; формирование перечня ТТ КС подлежащих ремонту и техн. диагностированию



Построение 3D модели газопровода



Визуализация и идентификация аномалий



Автоматизированные диагн.
Комплексы (АДК)



ТДК-400-М-Л
ООО «Газпроект ДКР»

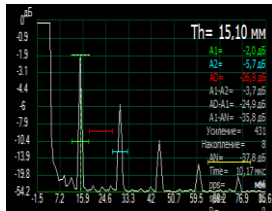


А 2072 «IntroScan»
АО «ИнтроСкан
Технолоджи

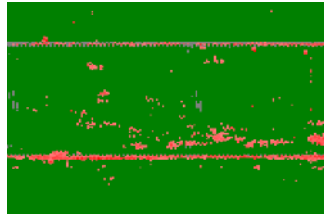
1 Исходные данные АДК

ТДК-400-М-Л

А-сканы в каждой
точке тела трубы

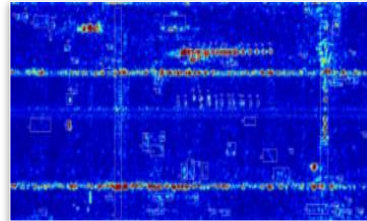


С-сканы: развертка
трубы 0-360 гр.



А 2072 IntroScan

С-сканы: развертка
трубы 0-360 гр.



2 Данные ДДК



Результаты обработки ИС
данных АДК (обучение по ДДК)

| Категория дефекта | Обнаружение и распознавание дефекта ИС отн. ДДК |
|--------------------------|---|
| Коррозия | 73 % |
| Коррозия (язва, каверна) | 95 % |
| Трещины | 96 % |
| Мех.повреждение | 82 % |
| Расслоение | 73 % |

PIPELINE GAS-COMPRESSOR STATIONS SUPPORT MODUL

With the use of automated diagnosis complexes (ADC). *Intellectual system*

ADC



ТДК-400-М-Л
Gazproject DKR, Ltd



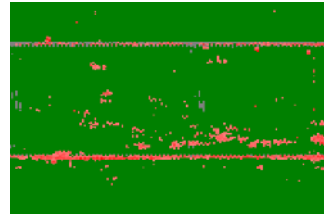
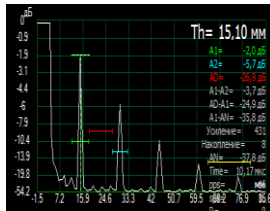
A 2072 «IntroScan»
IntroScan Technology,
JSC

1

ADC bench-mark data

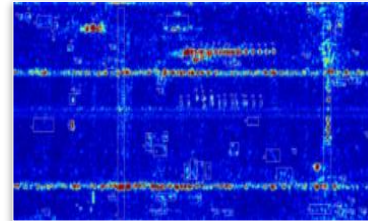
ТДК-400-М-Л

A-scans in every point C-scans: pipe developed
of pipe body view 0-360 гр.



A 2072 IntroScan

C-scans: pipe developed
view 0-360 гр.



2

Additional diagnosis control data



Intellectual system ADC data processing result
(training on additional diagnosis control)

| Defect rate | Defect detection and identification by Intellectual system, regarding additional diagnosis control |
|---------------------------------|--|
| Corrosion | 73 % |
| Corrosion (pit, surface cavern) | 95 % |
| Cracks | 96 % |
| Mechanical damage | 82 % |
| Exfoliation | 73 % |

Внутритрубные Инспекционные Приборы (ВИП)



Профилемер



Дефектоскоп продольного намагничивания (MFL)

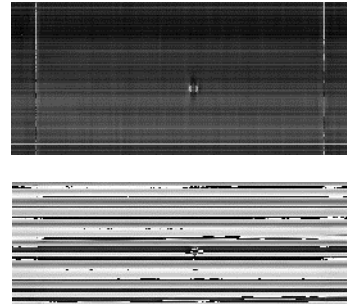


Дефектоскоп поперечного намагничивания (TFI)

ООО НПЦ «ВТД»

1

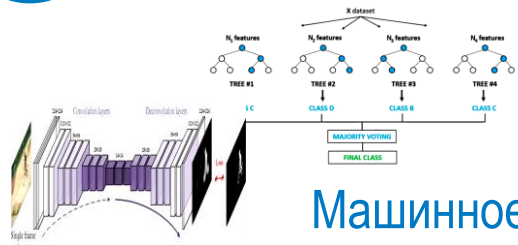
Исходные данные ВТД



Магнитограммы MFL + TFI

2

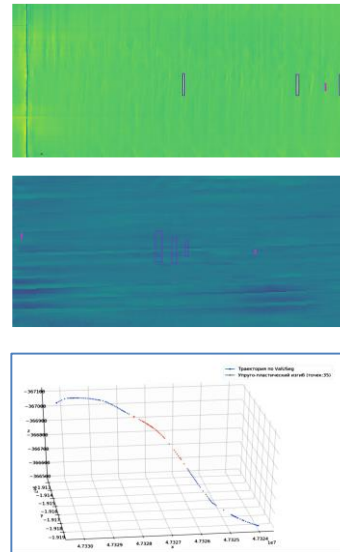
Обработка, анализ качества данных ВТД



Машинное обучение

3

Обработанные данные ВТД



Результаты обработки ИС данных ВИП

| Категория дефекта | Обнаружение и распознавание дефекта ИС отн. оператора |
|----------------------------------|---|
| Коррозия (язва, каверна) | 100 % |
| Коррозия (поперечн. паз/канавка) | 97,3 % |
| Коррозия (прод. паз/канавка) | 98,3 % |
| Коррозия обширный | 92,9 % |
| Аномалия св. соединения | 96,1 % |
| Трещина св. соединения | 100 % |
| Мех.повреждение | 94,9 % |
| Зона трещин | 99,1 % |
| Дефект геометрии трубы | 96,4 % |

PIPELINE GAS-COMPRESSOR STATIONS SUPPORT MODUL (with the use of smart PIG). *Intellectual system*

Smart PIG



Geometry tool



MFL

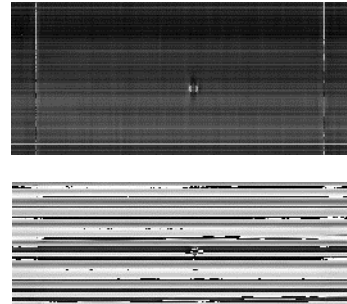


TFI

NPC "VTD", Ltd

1

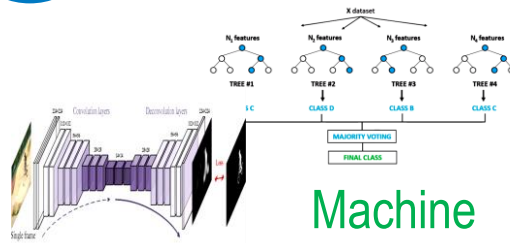
In-line inspection
bench-mark data



Magnetic records
MFL + TFI

2

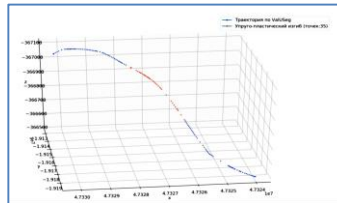
Processing, ILI data
quality analysis



Machine
learning

3

ILI final data



Intellectual system smart PIG data
processing result

| Defect rate | Defect detection and identification by Intellectual system, regarding operator |
|-------------------------------------|--|
| Corrosion (pit, surface cavern) | 100 % |
| Corrosion (transverse slot/track) | 97,3 % |
| Corrosion (longitudinal slot/track) | 98,3 % |
| Huge corrosion | 92,9 % |
| Welded joint anomaly | 96,1 % |
| Crack of welded joint | 100 % |
| Mechanical damage | 94,9 % |
| cracks | 99,1 % |
| Pipe geometry defect | 96,4 % |

Организационное
обеспечение

Нормативное и инструментальное
обеспечение

Программно-аналитическое
обеспечение

Внедрение результатов

ЭТАП 1

1. Программа развития корпоративного экспериментального комплекса для оценки работоспособности труб с дефектами КРН

ЭТАП 2

1. Методики лабораторных испытаний металла труб МГ на КРН»

ЭТАП 3

1. Методика испытания кольцеобразных образцов труб МГ на КРН
2. Экспериментальный стенд для проведения испытаний кольцеобразных образцов стальных труб с дефектами КРН
3. Техническая документация на экспериментальный стенд для проведения испытаний кольцеобразных образцов стальных труб с дефектами КРН

ЭТАП 4

1. Методика гидравлических испытаний труб МГ с дефектами КРН
2. Техническая документация на экспериментальный стенд для проведения гидравлических испытаний труб

ЭТАП 5

1. Типовая программа опытно-промышленной эксплуатации труб с дефектами КРН в составе МГ

ЭТАП 6

1. Методика классификации дефектов КРН МГ по степени опасности, оценки ресурса труб и назначения способа ремонта»
2. Программа для ЭВМ по классификации дефектов КРН МГ по степени опасности, оценки ресурса труб и назначения способа ремонта

ЭТАП 7

1. Программа комплексных испытаний труб с дефектами КРН, эксплуатируемых в составе МГ ПАО «Газпром», на 2022-2025гг.

ЭТАП 1

Создание центра компетенций по разработке и оценке эффективности технологий в области КРН на базе ООО «Газпром ВНИИГАЗ» с участием ведущих российских и зарубежных научных центров

ЭТАП 2

Комплексные испытания труб с дефектами КРН и формирование базы данных для расчетной оценки ресурса труб МГ

ЭТАП 3

Корректировка НД ПАО «Газпром» и программ реконструкции, ремонта, диагностирования ГТС с учетом оценки ресурса труб с КРН и инновационных технологий ремонта

Organizational support

Regulatory and tool support

Software and analytical support

Implementation of results

STAGE 1

1. Development program of an experimental complex for evaluation of resources of pipes with SCC defects

STAGE 2

1. SCC A-test methods of pipe steel for main gas pipelines

STAGE 3

1. SCC ring-shaped specimens of pipes for main gas pipelines
2. Test bench for tests of SCC defects ring-shaped specimens of steel pipes
3. Engineering documentation of the test bench for tests of SCC defects ring-shaped specimens of steel pipes

STAGE 4

1. Hydrotest methods for SCC defects pipes of main gas pipelines
2. Engineering documentation of the hydrotest for tests of SCC defects ring-shaped specimens of steel pipes

STAGE 5

1. Program Experimentally industrial operation of pipes with SCC defects as a part of main gas pipelines

STAGE 6

1. Classification of main gas pipelines' SCC defects by hazard rate and resources evaluation
2. Software for classification of main gas pipelines' SCC defects by hazard rate, resources evaluation and repair method dispatch

STAGE 7

1. Complex tests of pipes with SCC defects as a part of main gas pipelines Program

STAGE 1

Creation of SCC technologies development and evaluation competence center based on Gazprom VNIIGAZ, Ltd with the involvement of the top Russian and foreign scientific centers

STAGE 2

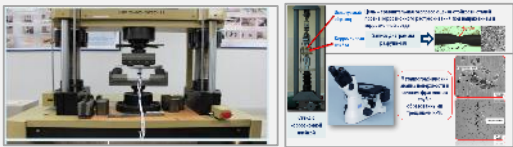
Complex tests of pipes with SV+CC defects and formation of data base for evaluation of resources of pipes

STAGE 3

Review of regulatory documentation of PAO Gazprom and reconstruction, repair and diagnosis of main gas pipelines programs regarding to evaluation of resources of pipes with SCC defects and repair innovations

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДОЛЖЕН ОБЕСПЕЧИВАТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ:

Лабораторные исследования и испытания фрагментов труб



Стендовые гидроиспытания труб и трубных плетей



Опытно-промышленная эксплуатация



1. Образцы:

- полнотолщинные образцы (без дефектов; с трещинами КРН, пропилами)
- балочные (с усталостной трещиной)
- компактные (с пропилом)
- цилиндрические (гладкие)

2. Режимы и нагрузки:

- статическая, циклическая (от K_{iscc} до K_s , частота $1,0 \div 10^{-4}$ Гц)
- постоянная медленная скорость деформации ($10^{-6} \div 10^{-9}$ с⁻¹)

3. Исследование и моделирование электролитов различного состава, в т.ч. с различными концентрациями водорода

4. Металлографические, фрактографические, рентгеноструктурные и коррозионно-электрохимические исследования образцов труб до и после испытаний

Образцы (без дефектов; с трещинами КРН, пропилами):

- кольцеобразные Дн 700-1420 мм x 200 мм на ОЭБ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- трубы трубные плети Дн 700-1420 мм до 25 м

Режимы и нагрузки:

- воспроизведения режимов эксплуатации МГ (частота цикла $3 \cdot 10^{-2} \div 4.6 \cdot 10^{-5}$ Гц)
- приложения изгибных нагрузок (до σ_T)
- подведение электролитов различного состава и потенциала (до - 2,0 В)

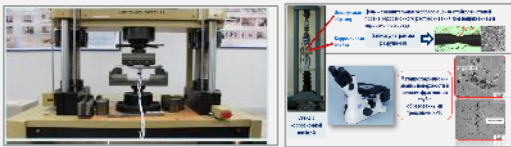
Не менее 3-х труб одного типоразмера в год

Участки действующих МГ

- Дн 700-1420 мм
- требования к дистанционному контролю напряжений и деформаций в области стресс-коррозионных повреждений
- требования к организации мониторинга и технического диагностирования
- критерии принятия решения о технической эффективности ремонтной технологии

TEST COMPLEX MUST PROVIDE RESEARCHABILITY

Laboratory research and tests of components of pipes



1. Specimens:
 - Full thickness specimens (no defects; with SCC cracks, saw cuts)
 - Beamed (with fatigue crack)
 - Compact (with saw cut)
 - Tubular (flat)
2. Modes and loadings:
 - Static, cyclic (from K_{ISCC} to K_c, frequency 1,0 ÷ 10⁻⁴ Гц)
 - Permanent slow strain rate (10⁻⁶ ÷ 10⁻⁹ с⁻¹)
3. Test and simulation of electrolytes of different composition, including different hydrogen concentration
4. Metallographic, fractographic, X-ray diffractational and corrosion-electrochemical studies of pipes before and after tests

Bench hydrotests of pipes and pipe strings



- Specimens (no defects; with SCC cracks, saw cuts):
- Ring-shaped full diameter 700-1420 mm x 200 mm on experimental base of Gazprom VNIIGAZ, Ltd
 - Pipes pipe strings full diameter 700-1420 mm to 25 m
- Modes and loadings:
- Main gas pipelines operating mode simulation (cycle frequency 3·10⁻² ÷ 4.6·10⁻⁵herz)
 - Application of moment load (till σ_T)
 - Different composition (till- 2,0 B)
- Minimum 3 pipes of the same typical size per year

Experimentally industrial operation



- Areas of running main gas pipelines
- Full diameter 700-1420 mm
 - Requirements to remote supervision of stress and deformation in locations of stress-corrosion damages
 - Requirements to monitoring and technical diagnosis organization
 - Repair technology technical effectiveness decision-making criteria

1. Межотраслевая платформа для обмена знаниями - семинар КРН :

- с 2015 по 2018 гг. организовано 5 Международных Семинаров
- в работе семинаров приняли участие более 350 человек за 6 лет
- представлено более 130 докладов
- В 2020 г. семинар включен в перечень мероприятий Концепции развития корпоративной системы подготовки научных кадров ПАО «Газпром» и его ДО

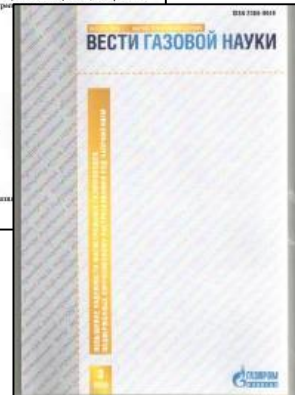
2. Публикационная платформа для ученых и специалистов научно-технический сборник «Вести газовой науки», посвященного тематике КРН МГ, в перечне ВАК

3. Платформа для повышения квалификации Типовой учебный план и программа ПАО «Газпром» «Повышение надежности МГ, подверженных КРН», согласованные Департаментом (В.А. Михаленко), утвержденные Департаментом (Е.Б. Касьян):

- повышение квалификации 70 молодых специалистов газовой отрасли
- проф. стандарт «Специалист по диагностике трубопроводов ...», трудовая функция «Идентификация и профилактика КРН трубопроводов газовой отрасли»

4. Платформа для обучения студентов и аспирантов по теме КРН:

- защитили дипломы 5 чел., в н/в дипломная практика 2 чел.
- защитил диссертацию 1 чел., в н/в в аспирантуре обучаются 2 чел.



1. Inter-industry platform for knowledge sharing – SCC seminar:

- During the period from 2015 to 2018 гг. were organized **5 international seminars**
- More than **350 persons** took part at the seminars over **6 years**
- More than **130 reports** presented
- In **2020 seminar** is included in the list of events of the Roadmap of scientific staff training corporate system for PAO Gazprom and its' subsidiaries

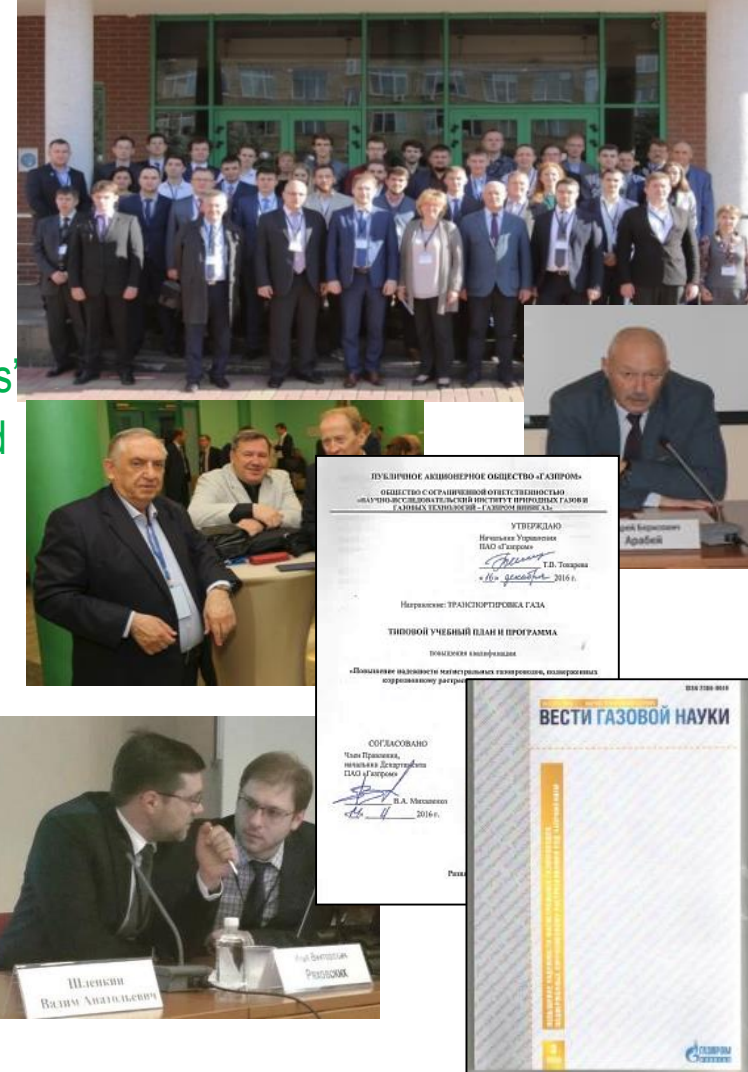
2. Publishing platform for scientists and specialists Scientific-technical Digest “Gas Science News” addressed to subject area of SCC, is included in list of the State Commission for Academic Degrees and Titles

3. Advanced training platform PAO Gazprom standard curriculum and program “Improvement of reliability of main gas pipelines subject to stress corrosion cracking”, agreed by the Department (V.A. Mikhalevko), approved by the Department (E.B. Kasian).

- advanced training of **70 young specialists** of gas sector
- **Occupational standard** “Pipeline diagnosis specialist”, labor function “**Identification and maintenance prevention of SCC on gas sector pipelines**”

4. Studying platform for students and candidates for the topic SCC:

- 5 persons defended graduation theses, 2 persons are undertaking internship at the moment
- 1 person passed a viva, 2 persons are getting research degree at the moment



ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ В ПРОТОКОЛ

I. Участникам семинара подготовить и направить на SCC@vniigaz.gazprom.ru предложения по организации НИОКР по следующим основным направлениям:

Seminar attendees shall draft and e-mail (SCC@vniigaz.gazprom.ru) proposals on organization of Research and Advanced Development in following fields:

| | |
|---|---|
| 1 | Моделирование КРН МГ (Main gas pipelines SCC simulation) |
| 2 | Развитие в области технического диагностирования КРН (Technical diagnosis development of pipes with SCC defects) |
| 3 | Расчет ресурса труб с КРН (Life-time prediction of pipes with SCC defects) |
| 4 | Инновационные технологии ремонта труб с КРН Pipe repair innovations of pipes with SCC defects |
| 5 | Развитие систем поддержки принятия решений по эксплуатации трубопроводов с КРН Support decision making systems development of pipes with SCC defects |
| 6 | Развитие системы оценки работоспособности труб с КРН Development of pipe work capacity evaluation system of pipes with SCC defects |

II. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проанализировать предложения по организации НИОКР и по согласованию с потенциальным функциональным заказчиком ПАО «Газпром» включить в рамочный договор НИОКР

Gazprom VNIIGAZ, Ltd shall analyze proposals on organization of Research and Advanced Development and insert in the RAD framework contract by agreement with the end customer PAO Gazprom

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!
THANKS FOR ATTENTION!

Илья Ряховских,
заместитель начальника КНТЦ
коррозионного мониторинга и
защиты от коррозии
I_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru
Моб.: + 7 (926) 574-35-88
Газ.: (700) 5-67-30

Ilya Ryakhovskikh,
Chief Deputy, Corrosion Monitoring &
Protection Scientific Center, Gazprom
VNIIGAZ, Ltd
I_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru
Моб.: + 7 (926) 574-35-88
Газ.: (700) 5-67-30