

# Разработка модели прогнозирования технического состояния трубопроводов на объектах промышленной системы сбора и подготовки газа

**Погуляев С.И.**

Заместитель начальника лаборатории экспериментальных исследований ресурса производственных объектов КНТЦ управления техническим состоянием и целостностью производственных объектов ООО «Газпром ВНИИГАЗ»



**Обеспечение надежной эксплуатации трубопроводов**



**Формирование предложений в программы ДТОиР**



**Перспектива создания и развитие СУТСиЦ**

нормативная научно-методическая основа и информационная среда СУТСиЦ ПССиПГ на основе единых и взаимосвязанных для всех уровней управления подходах

(Департамент – дочерние газодобычные общества – ВНИИГАЗ – специализированные организации)



ПССиПГ – промышленная система сбора и подготовки газа;

СУТСиЦ – система управления техническим состоянием и целостностью

ДТОиР - техническое диагностирование, техническое обслуживание и ремонт

## ЕДИНЫЙ ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТЬЮ



### ЗАДАЧИ



**ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ И ОБЪЕМОВ РАБОТ**



**ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИФНОСТИ (КАЧЕСТВА ДАННЫХ)**



**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ РЕШЕНИЙ**

### ЕДИНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ



**МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ЕДИНСТВО**



**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСА, РАБОТОСПОСОБНОСТИ, РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ**

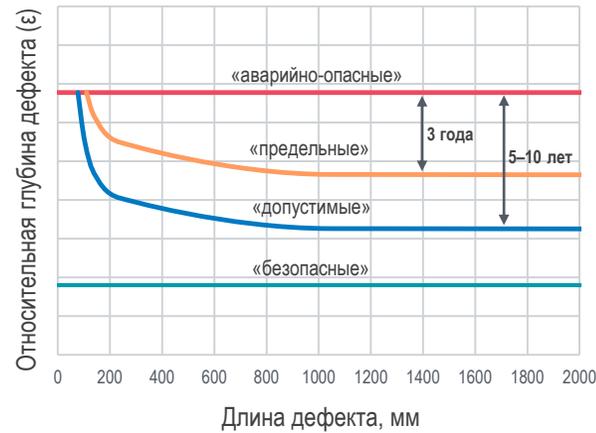


**АПРОБАЦИЯ РЕШЕНИЙ**

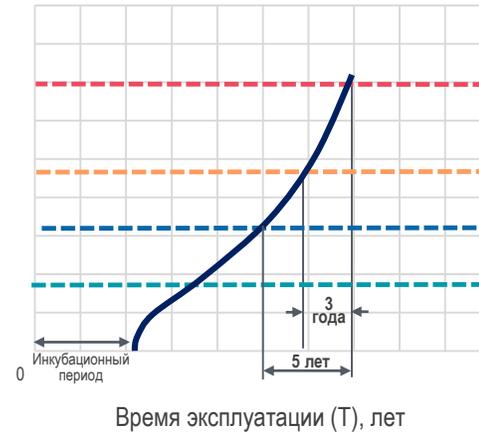


**ЦИФРОВИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ**

## Оценка опасности



## Прогноз скорости



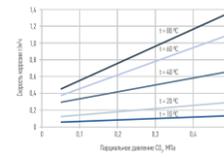
## Дефектоскопические требования



- КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
- РАНЖИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ



- КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ
- РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ



- АКТУАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ДЕФЕКТΟΣКОПИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ
- ИСПЫТАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЕ ОПЭ СРЕДСТВ ТД



Разработка модели технического состояния трубопроводов на объектах промышленной системы сбора и подготовки газа

# ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ. ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИИ



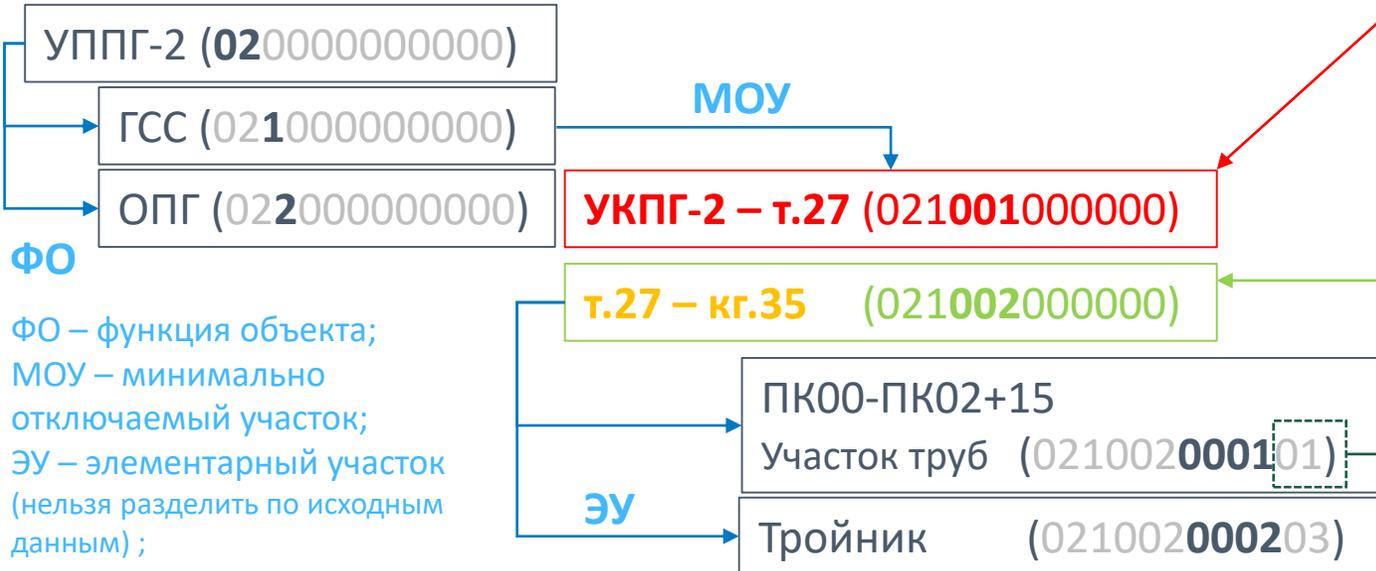
3 УКПГ/УППГ

Протяженность ГСС: 695 км

Протяженность ТТ УППГ: неизвестно

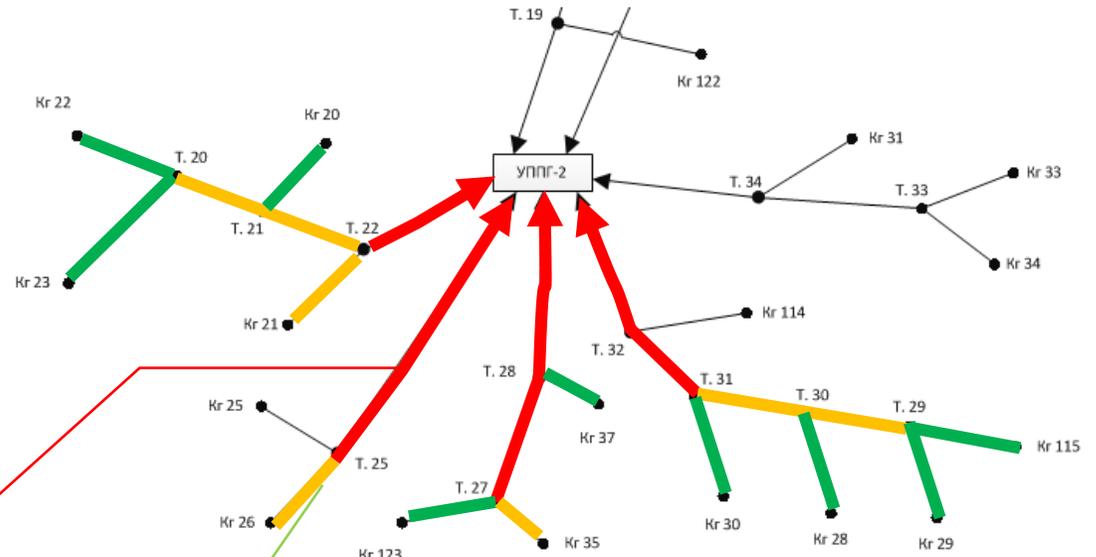
Диаметры: 168 ... 720 мм

## Иерархия: Заполняет эксплуатирующая организация



**ФО** – функция объекта;  
**МОУ** – минимально отключаемый участок;  
**ЭУ** – элементарный участок (нельзя разделить по исходным данным);

Схема ГСС

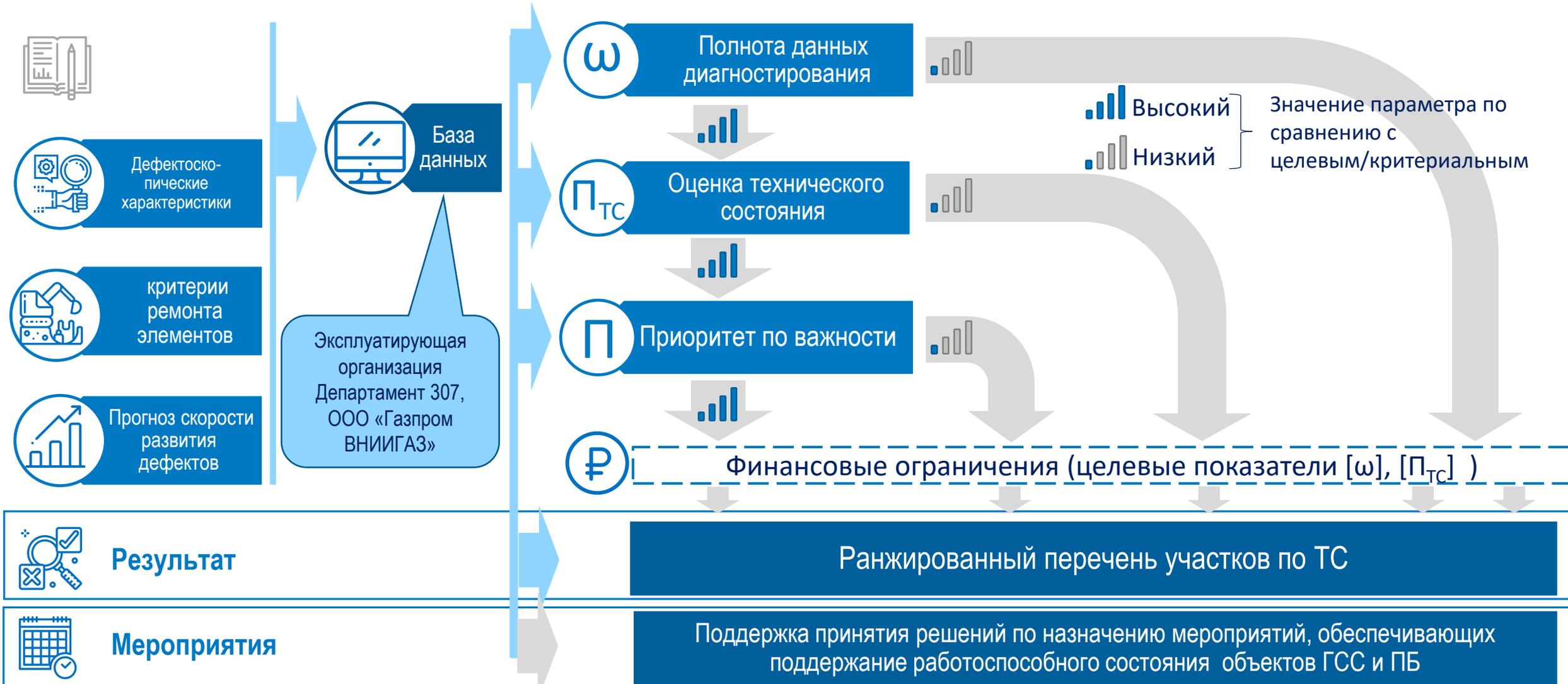


- Типы элементарных участков:
- 01 - Участок труб
  - 02 – труба
  - 03 – магистраль тройника
  - 04 – ответвление тройника
  - 05 – накладка тройника
  - 06 – отвод горячегнутый
  - 07 – переход
  - 08 – отвод холодного гнутья
  - 09 – компенсатор сильфонный
  - 10 – ЗРА
  - 11 – кольцевой шов
  - 12 – обечайка пылеуловителя

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Тип объекта	Критерий отнесения	Исходные данные		
		Измеряемые	Расчетные	Назначаемые
Объект верхнего уровня	УКПГ/ УППГ/ДКС	Производительность	Техническое состояние $P_{TC}$	Дата ввода в эксплуатацию; Проектная Производительность Целевое значение [ $P_{TC}$ ]
Функциональный объект	ПСС, ОПГ, МГ	Производительность	Полнота диагностических данных $\omega$	Проектные объемы производства ЭОД: технологическая схема Целевое значение [ $\omega$ ]
Минимально отключаемый участок	Участок от крана до крана, который можно перекрыть не стравливая газ с других участков	Если установлен КИП - расход, температура, состав среды, давление. Данные диагностических обследований труб.	Если не установлен КИП – расчетные значения: Расход, температура, состав среды, давление. Частные показатели $P_{TC}$	Проектное давление, расход; дата ввода в эксплуатацию; дата строительства; наличие, состав и эффективность ингибитора. ЭОД: копия проектного плана и профиля, копия журнала сварки
Элементарный участок	Участок, который нельзя разделить по имеющимся исходным данным (по типу элемента, диаметру, марке стали, углу наклона и т.д.)	Для измерительных катушек и объектов коррозионного мониторинга: Скорость коррозионно-эрозионного износа, расход, содержание механических примесей. Данные диагностических обследований	Скорость среды, температура, состав среды, влажность, давление. Ранг опасности по ремонтпригодности	Диаметр, толщина, конструкция, механические свойства; химический состав; сведения о ремонте; изоляция; наработка; ЭОД: паспорта, сертификаты

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТС



# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТС

Показатели технического состояния:

- $\Pi_{ТС}$  - **технического состояния**  $\Pi_{ТСi}$  и их целевого значения  $[\Pi_{ТС}]$ ;
- $\omega_i$  - параметр, учитывающих **полноту данных** диагностических обследований, и их целевого значения  $[\omega]$ ;
- $\Pi$  - ранжирование по приоритету важности.



$$\Pi_{ТСj} = \Pi_{ТСj}^{\Phi} + \Pi_{ТСj}^{пр}$$

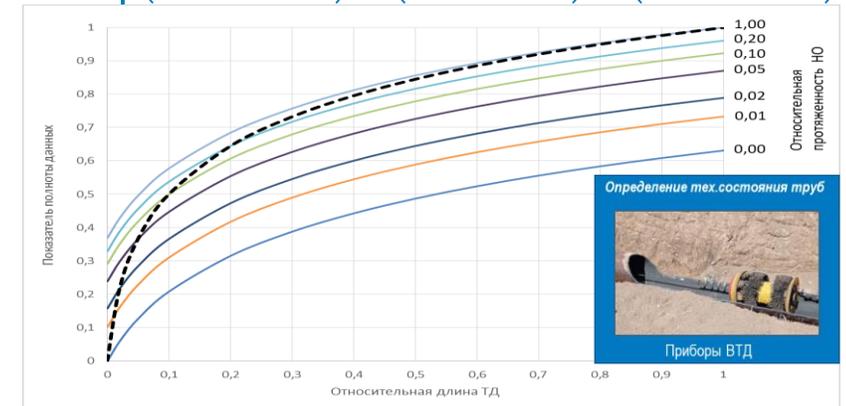
$$\Pi_{ТСj}^{\Phi} = \omega_j \cdot (\psi_T Y_T + \psi_{СДТ} Y_{СДТ} + \psi_{КСС} Y_{КСС})$$

$$\Pi_{ТСj}^{пр} = (1 - \omega_j) \cdot (\psi_T^{пр} Y_T^{пр} + \psi_{СДТ}^{пр} Y_{СДТ}^{пр})$$

## Порядок комплексной оценки ТС :

- расчет значений частных показателей  $\omega_j$ ;
- расчет фактически достигнутого значения полноты данных технического диагностирования объектов  $\omega_j$ ;
- назначение целевого показателя  $[\omega]$  для учета при расчете  $\Pi_{ТСj}$ ;
- расчет частных показателей  $\Pi_{ТСj}$ ;
- определение значения  $\Pi_{ТСi}$  для каждого объекта;
- расчет фактически достигнутого значения показателя ТС объектов;
- назначение целевого показателя  $[\Pi_{ТС}]$ ;
- ранжирование по приоритету важности.

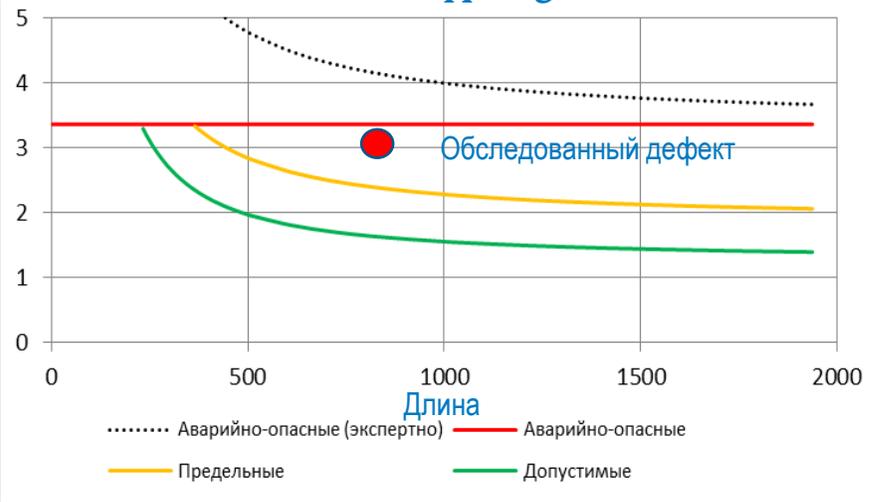
$$\omega_j = K \cdot \ln \left[ \left( 1 + k_1 \cdot \frac{L_j^{ДН}}{L_j} \right) \cdot \left( 1 + k_2 \cdot \frac{L_j^D}{L_j} \right) \cdot \left( 1 + k_2 \cdot \frac{L_j^{ДН}}{L_j} \right)^{-1} \right]$$



# ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

## Фактическое состояние

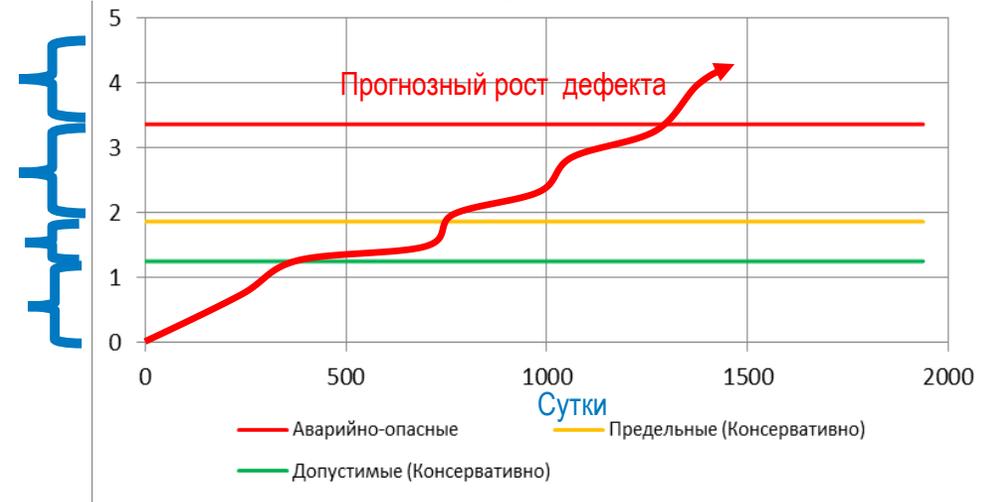
$$\lambda_d = \varepsilon \cdot \frac{A - 1}{A - \varepsilon}$$



- Замена участка  $R_i = 1,00$
- Ремонтные конструкции  $R_i = 0,75$
- Шлифовка  $R_i = 0,25$   
(для наружной коррозии)
- Без ремонта  $R_i = 0$

## Прогнозное состояние

$$\lambda_f = \frac{d_{пр}}{\delta}$$



### Адаптация методик ТТ КС на объекты ПССиПГ

- Оценка методов ремонта СТО Газпром 2-2.3-1225-2020
- Оценка показателей технического состояния по Р Газпром 2-2.3-1217-2020
- Составление ранжированного перечня по Р Газпром 2-2.3-1174-2019

$$[\lambda_{ав}] = 1 - \frac{\sigma_n}{\sigma_{0.2}}$$

$$[\lambda_{пр}] = [\lambda_{ав}] - \frac{t_d \cdot V_{изн}}{\delta}$$

$$[\lambda_{доп}] = 0,1$$

где:  $\sigma_n$  – номинальные кольцевые напряжения;  $\sigma_{0.2}$  – нормативный условный предел текучести (при пластической деформации 0,2 %);  $t_d$  – междиagnostический интервал, принимаемый равным 5 годам;  $V_{изн}$  – скорость износа из-за коррозии или эрозии, равная среднему фактическому значению  $V_{изн,ф}$  за последний год эксплуатации;  $\delta$  – толщина стенки трубы, мм.



Коррозионная модель :

$$V_{\text{корр},t} = \prod (p_k F_k^{n_k}) \cdot \frac{CR_{T,\text{фон}}}{365} \cdot \left(1 - \frac{Z}{100}\right),$$

$$CR_{T,\text{фон}} = K_T \cdot f_{CO_2}^{n_1} \cdot k_\tau \cdot f_{pH}$$

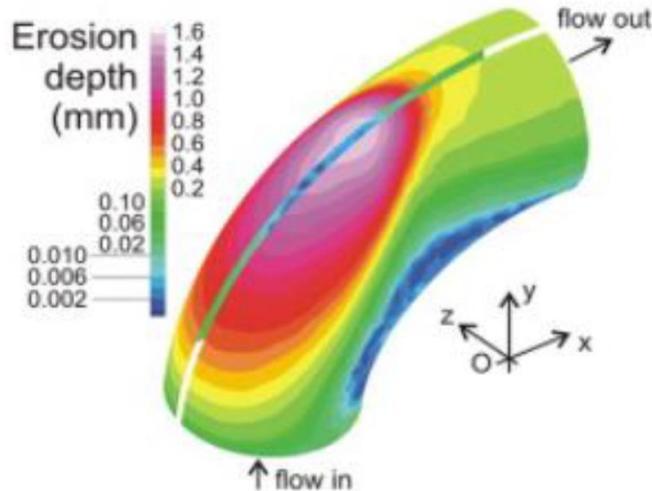
$K_T$  - постоянная, зависящая от температуры;  $f_{CO_2}^{0,62}$  - фугитивность углекислого газа, МПа;  
 $k_\tau$  - множитель зависящий от параметров потока среды;  $f(pH)_t$  - комплексный коэффициент, зависящий от pH и температуры;  $\prod (p_i F_i^{n_i})$  - произведение i-тых факторов с соответствующими весовыми коэффициентами, влияющими на скорость коррозии (состав среды, наличие воды и ингибитора, тип и марка стали трубы и т.д.); Z – степень защиты ингибитора коррозии по СТО Газпром 9.3-007-2010, %.

Весовые коэффициенты факторов устанавливаются по результатам корреляционного анализа данных обследований (толщинометрия, ВТД)

Эрозионная модель:

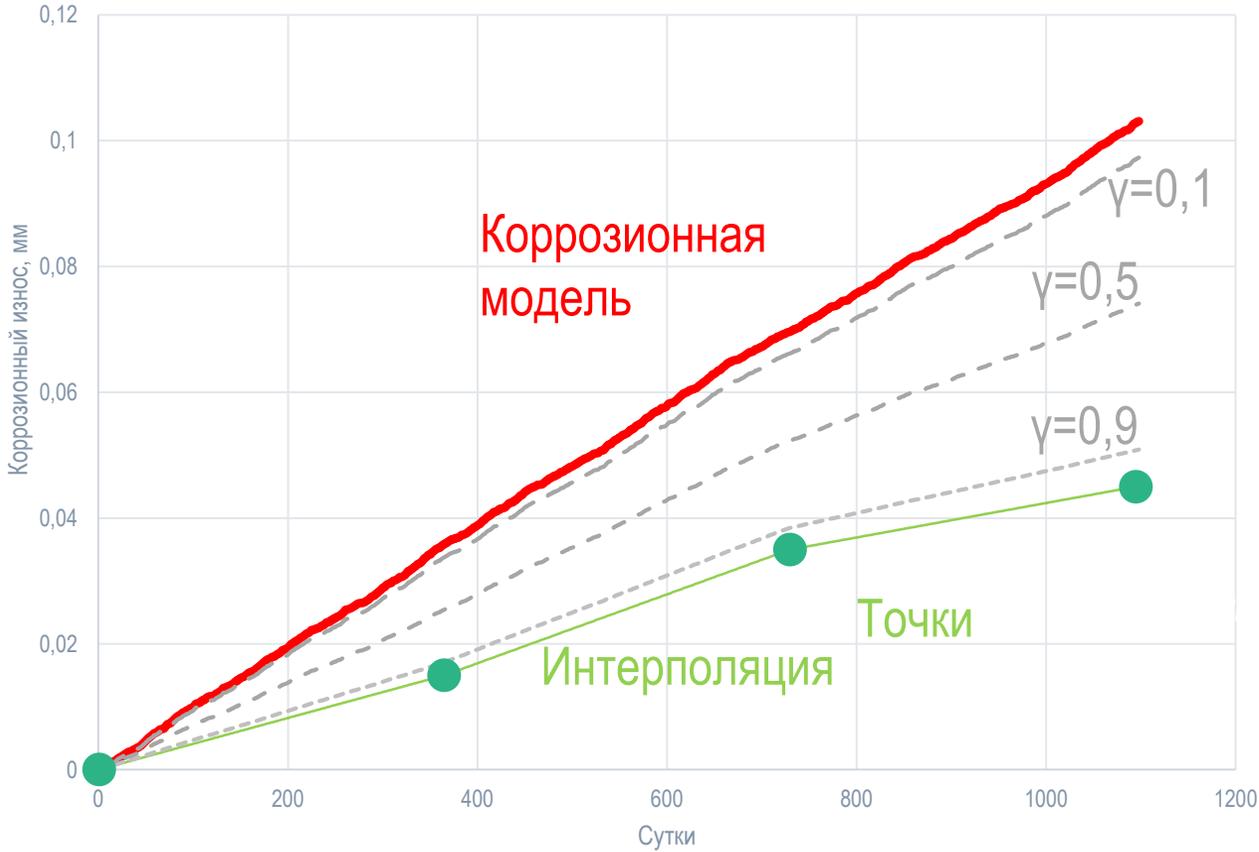
$$V_{\text{эр}} = \frac{\dot{m}_p \cdot K \cdot U_p^n \cdot F(\alpha)}{\rho_t \cdot A_t} C_\Gamma$$

$V_{\text{эр}}$  – скорость эрозии, м/с или мм/год;  $V_{\text{эр}}$  – скорость эрозии, мм/год;  $\dot{m}_p$  – массовый расход частиц песка, кг/с; K – константа материала, (м/с)<sup>-n</sup>;  $U_p$  – скорость частиц песка, м/с; n – экспонента скорости, безразм; F(α) – функция характеризующая пластичность материала, безразм.;  $\rho_t$  – плотность стали элемента, равная 7850 кг/м<sup>3</sup>;  $A_t$  – площадь элемента, подверженная износу, м<sup>2</sup>.  $C_\Gamma$  – переводной коэффициент из м/с в мм/год, равный 3,15·10<sup>10</sup>



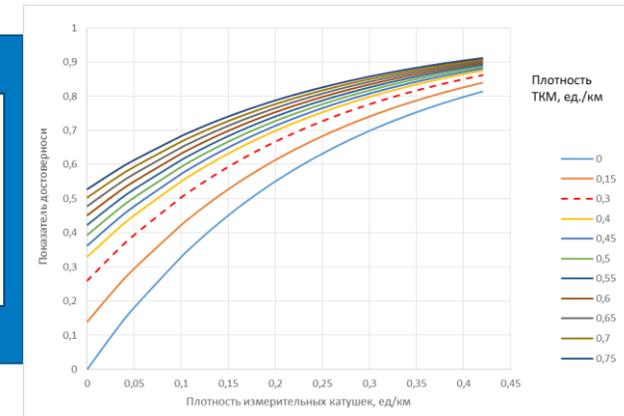
Разработка модели технического состояния трубопроводов на объектах промышленной системы сбора и подготовки газа

# ПОКАЗАТЕЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА



$$\gamma_j = 1 - \exp\left(-k_3 \frac{N_{ИК}}{L_j} - k_4 \frac{N_{ТКМ}}{L_j}\right)$$

где  $k_3$  – эмпирический коэффициент значимости измерительных катушек, равный 4;  $N_{ИК}$  – количество измерительных катушек на объекте, шт.;  $k_4$  – эмпирический коэффициент значимости точек мониторинга, равный 1;  $N_{ТКМ}$  – количество точек мониторинга на объекте, шт.;  $L_j$  – протяженность объекта, км.



Подразделение ПАО "Газпром" доводит значения целевых показателей  $[\omega]$  и  $[\Pi_{ТС}]$ ,  $[\gamma]$ , до ЭО, которые необходимо достичь по итогам выполнения программы ТД и ремонта.

### Рекомендации по назначению мероприятий программ ТД и ремонта объектов

Номер показателя	Значения показателей ТС		Программа ремонта/ Диагностики	Рекомендуемое мероприятие
	$\Pi_{ТС_i}$	$\omega_i$		
1	$\geq [\Pi_{ТС}]$	$\geq [\omega]$	Ремонт	Капитальный ремонт сплошной заменой труб
2	0..1	$< [\omega]$	Диагностика	ТД и ВР, дооснащение средствами мониторинга до обеспечения условия $\gamma \geq [\gamma]$
3	$< [\Pi_{ТС}]$	$< 0,9$		
4	$< [\Pi_{ТС}]$	$\geq 0,9$		

Приоритет ремонта или диагностики выше у того объекта, у которого произведение  $V_j \cdot \Pi_{ТС_i}$  больше

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**