

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗА ПОВРЕЖДЕННОСТИ ТРУБ ДЕФЕКТАМИ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ И КИНЕТИКИ ИХ РАЗВИТИЯ

Малеева М.А., Маршаков А.И., Игнатенко В.Э.,
Богданов Р.И., Ряховских И.В.



План доклада

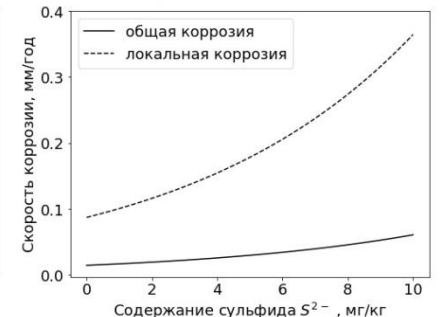
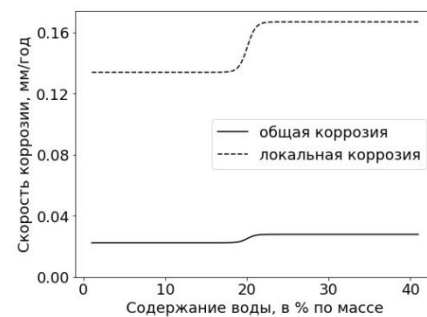
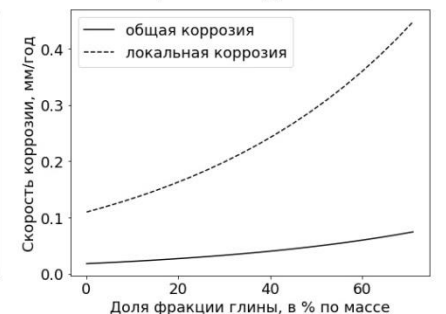
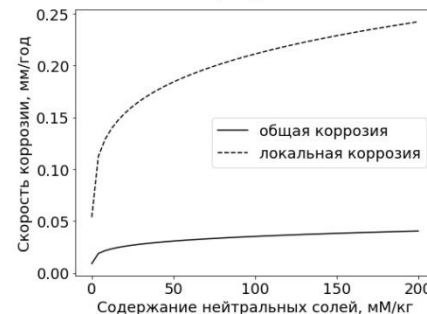
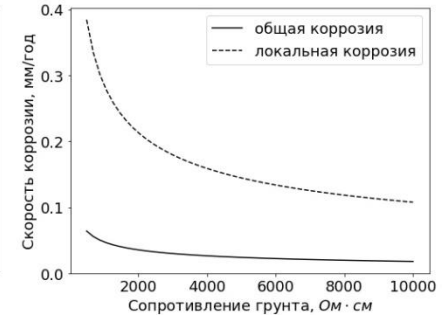
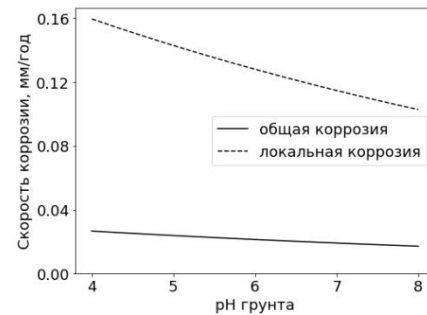
- ПО для прогноза скоростей роста дефектов подземной и атмосферной коррозии, КРН, усталостного разрушения.
- Статистически-вероятностный прогноз протяженности замены труб на участке МГ с учетом информации о участке-аналоге.

Прогноз скорости коррозии

- Скорость подземной коррозии (стандарт DIN 50929 part 3)
- Скорость атмосферной коррозии (ГОСТ ISO 9223-2017)
- Скорость КРН
- Скорость усталостного разрушения

Прогноз скорости подземной коррозии

- pH грунта
- сопротивление грунта
- содержание солей
- содержание сульфида
- доля фракции глины
- влажность
- гетерогенность



Прогноз скорости атмосферной коррозии

SO_2 - среднегодовая концентрация диоксида серы в воздухе, $\mu\text{кг}/\text{м}^3$

Cl - среднегодовая скорость осаждения хлоридов, $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$

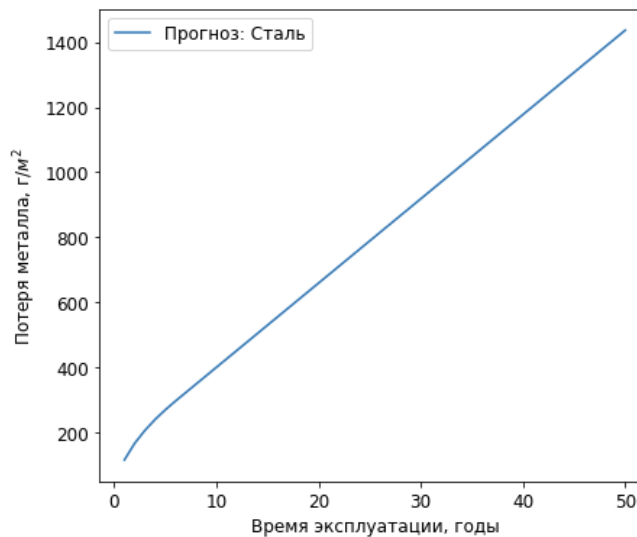
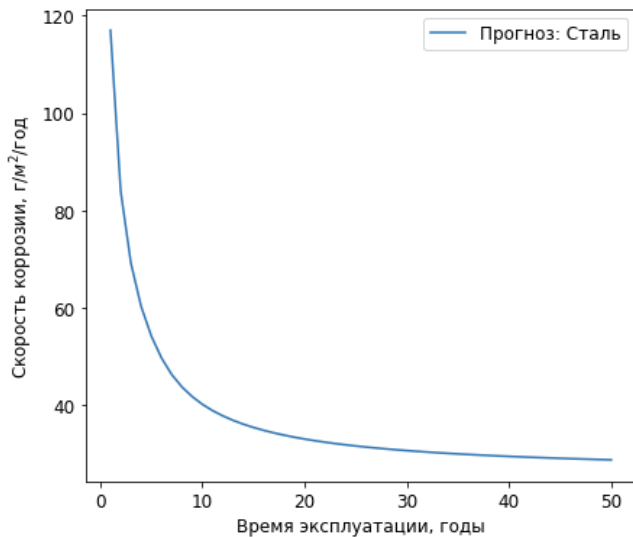
RH - среднегодовая относительная влажность воздуха, %

T - среднегодовая температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$

Прес - суммарное количество осадков за годовой период, мм

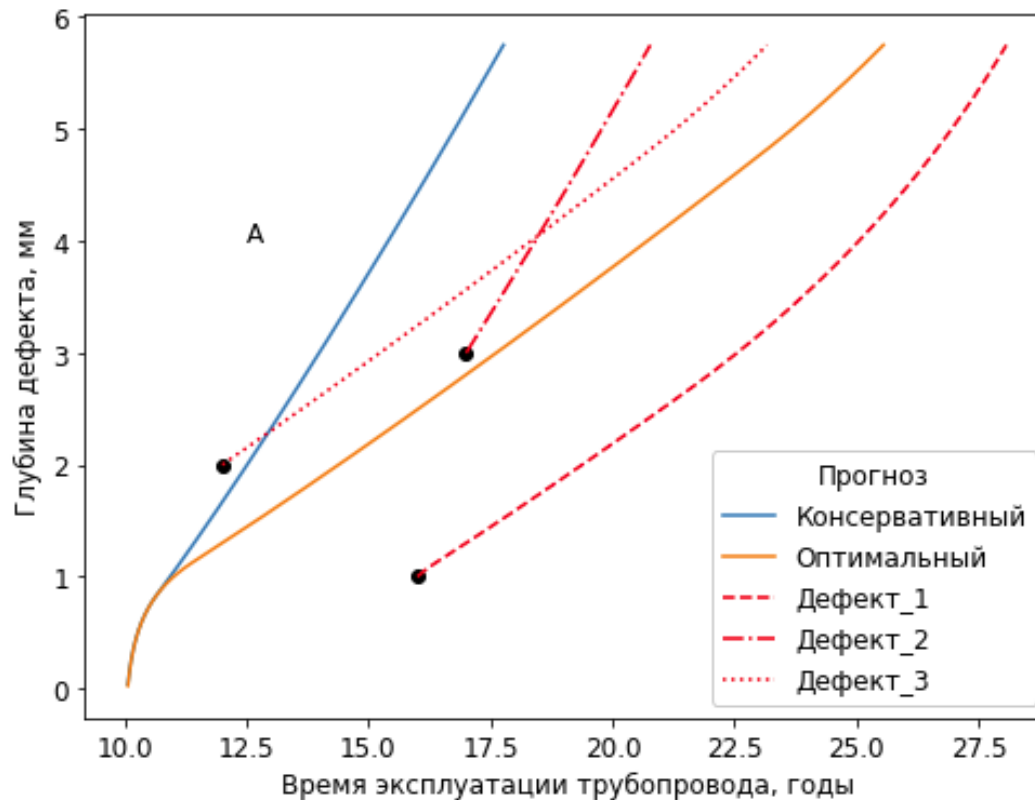
Ta - тип атмосферы

Time - срок предполагаемой экспозиции металлоизделия, лет

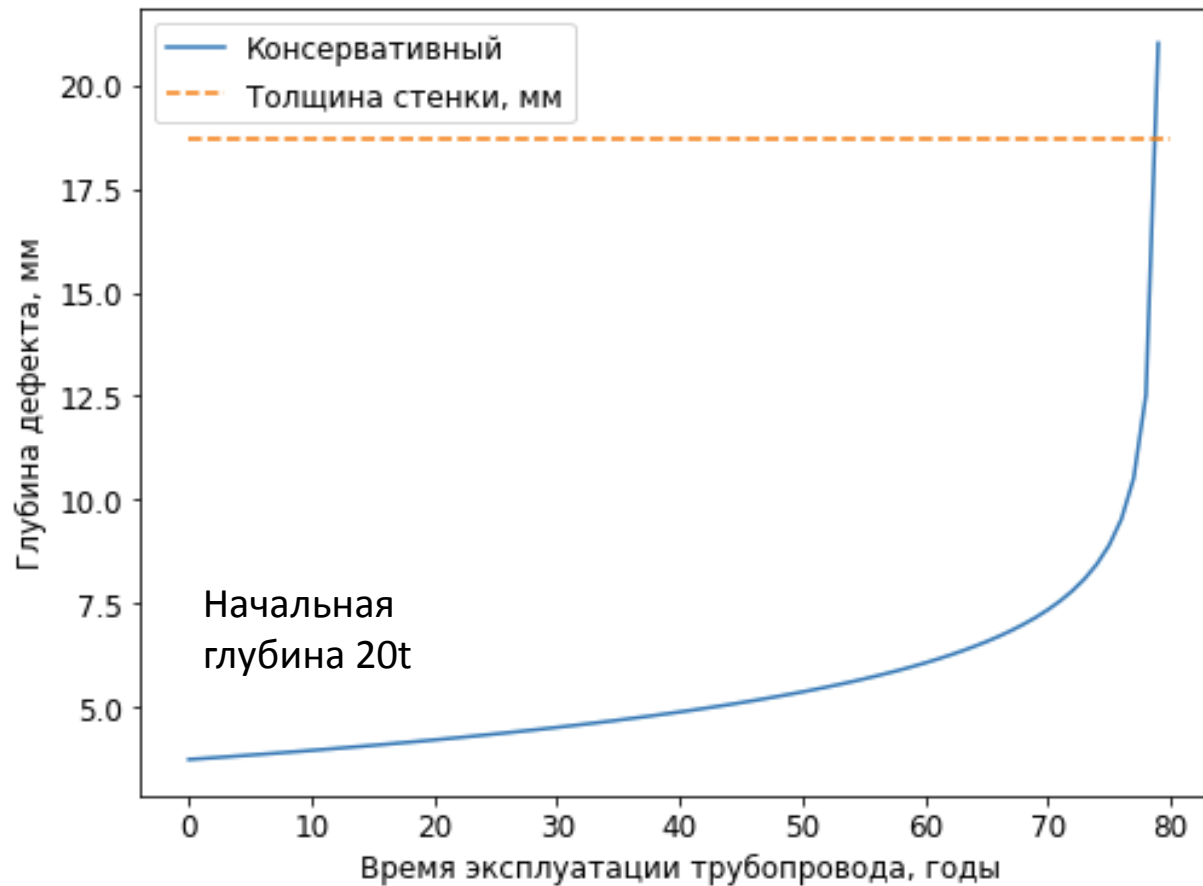


Прогноз глубины трещины КРН

Время достижения аварийной глубины для дефекта 1 составляет 12 лет
Время достижения аварийной глубины для дефекта 2 составляет 3 года
Время достижения аварийной глубины для дефекта 3 составляет 11 лет



Прогноз роста усталостной трещины



Вывод по первой части

- Алгоритмизированы модели роста типичных дефектов
- Создано ПО, позволяющее прогнозировать глубину различного рода дефектов в рамках контрольных сроков

Статистическо-вероятностное прогнозирование протяженности замены труб



Частота обнаружения дефектов различного типа по данным ВТД

Диапазоны глубин	Частота обнаружения, %			
	$0.20 \cdot t \div 0.25 \cdot t$	$0.25 \cdot t \div 0.30 \cdot t$	$0.30 \cdot t \div 0.35 \cdot t$	$\geq 0.35 \cdot t$
Коррозия	93.1	65.9	86.2	81.1
КРН	28.6	70.8	86.7	90.9
Механические повреждения	21.8			
Дефекты геометрии	23.4			

Проблема ВТД обследований

- Нестандартное заполнение документации
- Не точная идентификация дефектов
- Ошибка в оценке глубины дефектов
- Отсутствие данных о дефектах глубиной менее 20t

Модель газпровода-аналога



Исходные данные

- 10 реальных участков МГ, протяженностью от 4 до 40 км
- Данные ВТД исследований
- Данные ремонтных ведомостей

Модель

- Участки разделили на подучастки
- Весовые коэффициенты для трех диапазонов глубин дефектов (6 факторов)
- 20 шурфов
- Наиболее вероятные сценарии

Данные ВТД и ремонта

Номер участка	1	2
Пикеты	30001.29 - 39996.97	40008.42 - 49992.19
Протяженность в м/трубах	9995 м/ 909 шт	9983 м/ 908 шт
Модель с учетом КРН по ВТД	252	143
Фактическая длина замены труб, м	300 м	288.53 м
Доля замененных труб	0.03	0.03
Число труб с КРН более 20t по данным шурфовки	0	0
Число труб с КРН менее 20t по данным шурфовки	21	22
Замена труб по причине КРН менее 20t, м	234.45	243.38

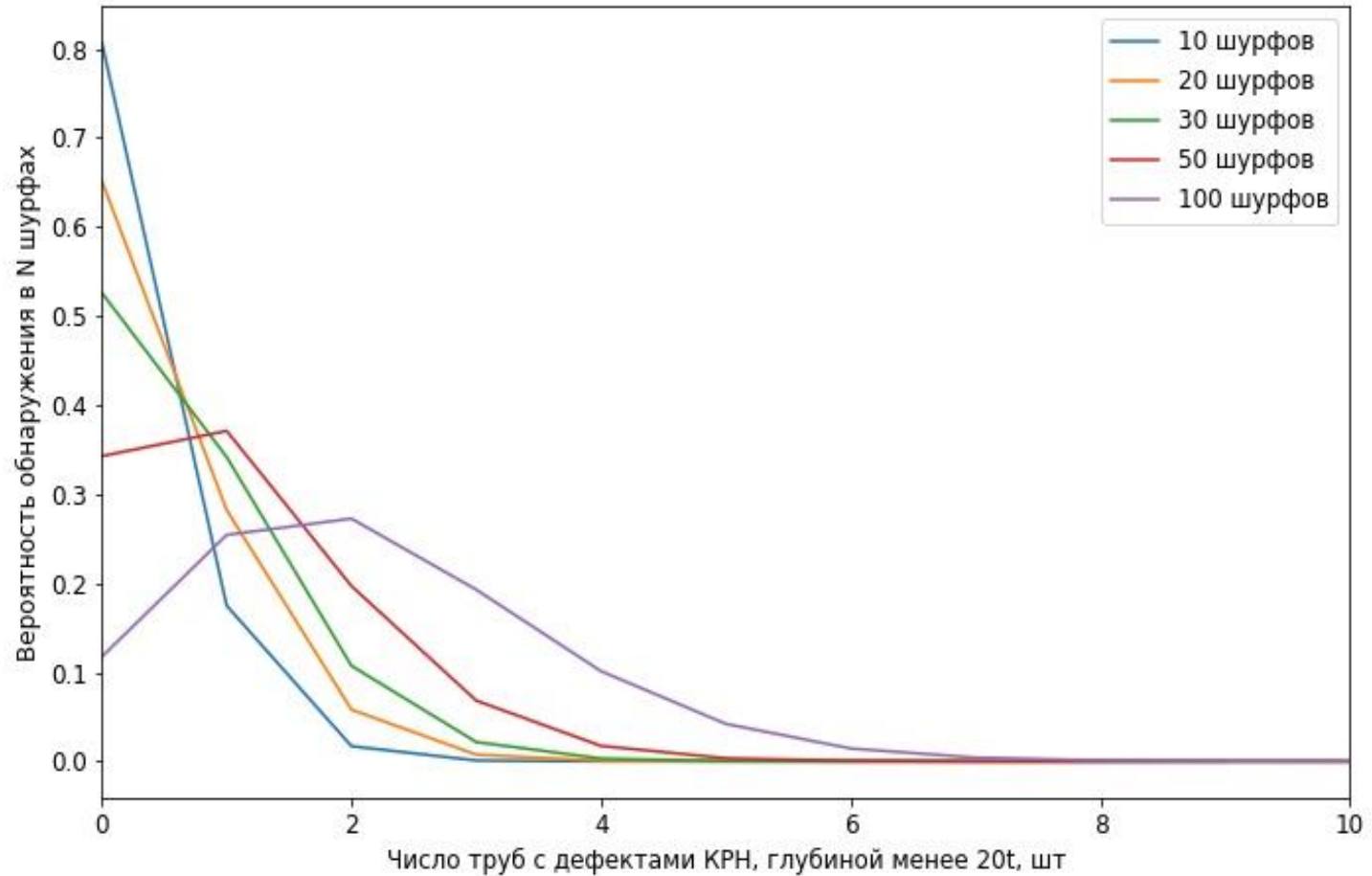
Входящие параметры и модель

$$u^{\text{крн}} = (1 - \omega) \cdot u_{\text{крн}}^a + \omega \cdot (L^{\text{кр}} - u_j) \cdot \frac{L^{\text{крн}}}{L_j^{\text{дн}}} \quad u_{\text{крн}}^a = L_a^{\text{крн}} \cdot \frac{\prod_{k=1}^n \psi_k}{\prod_{a=1}^n \psi_a} \cdot (L^{\text{кр}} / L^a)$$

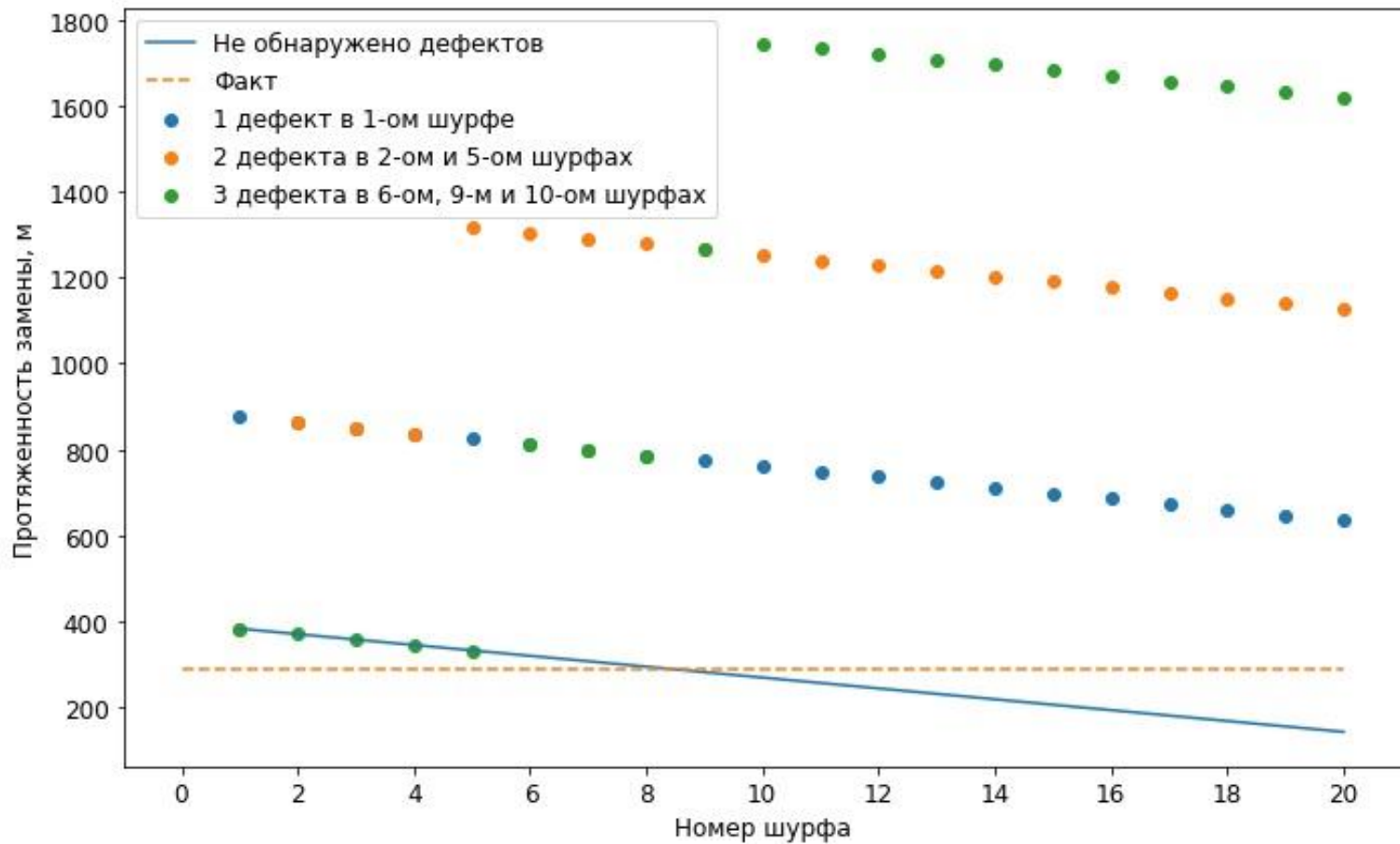
$$u = u_j + \sum_{j=1}^k u^{\text{крн}}$$

$L_a^{\text{крн}}$	$L^{\text{кр}}$	L^a	u_j	$L_j^{\text{дн}}$	Ψ_a	Ψ_k	ω	$u_{\text{крн}}^a$	p
231	9983	9995	143	110	0.42	0.46	$\frac{n_{\text{ш}}}{N_{\text{ш}}}$, где $N_{\text{ш}} = 20$	521	2.5%

Алгоритм расчета



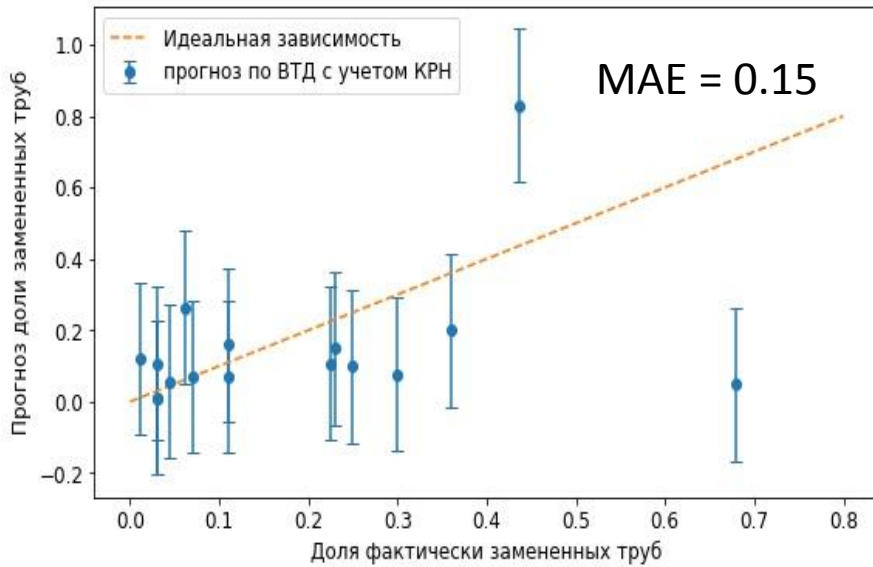
Рассмотрение сценариев



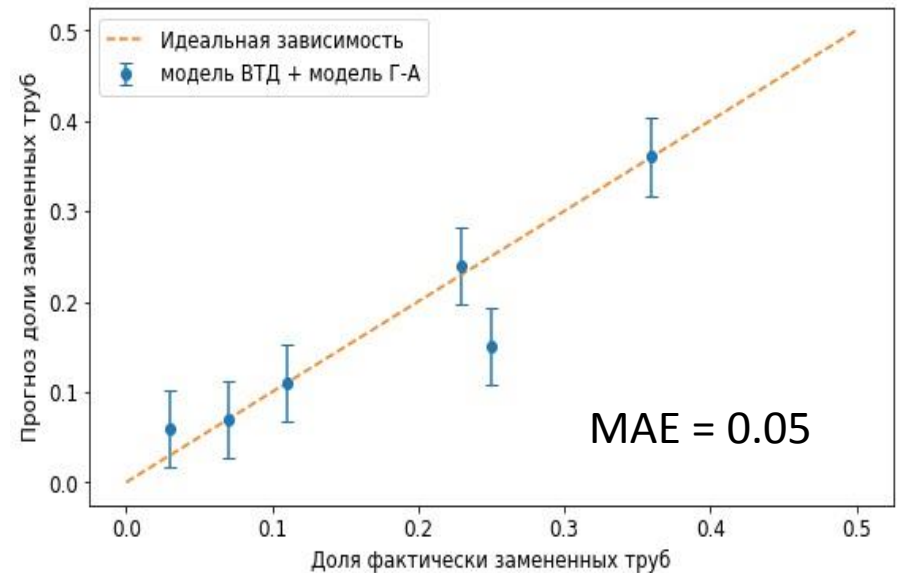
Расчет величины прогноза

Номер сценария	Описание (всего 20 шурфов)	Суммарное число дефектов	Вероятность сценария	$u_{крн}, М$	$u, М$
1	Отсутствие дефектов КРН, глубиной менее 20t	0	0.61	0	143
2	1 дефект в 1-ом шурфе	1	0.31	492	635
3	2 дефекта в 2-ом и 5-ом шурфах	2	0.07	984	1127
4	3 дефекта в 6-ом, 10-м и 15-ом шурфах	3	0.01	1476	1619

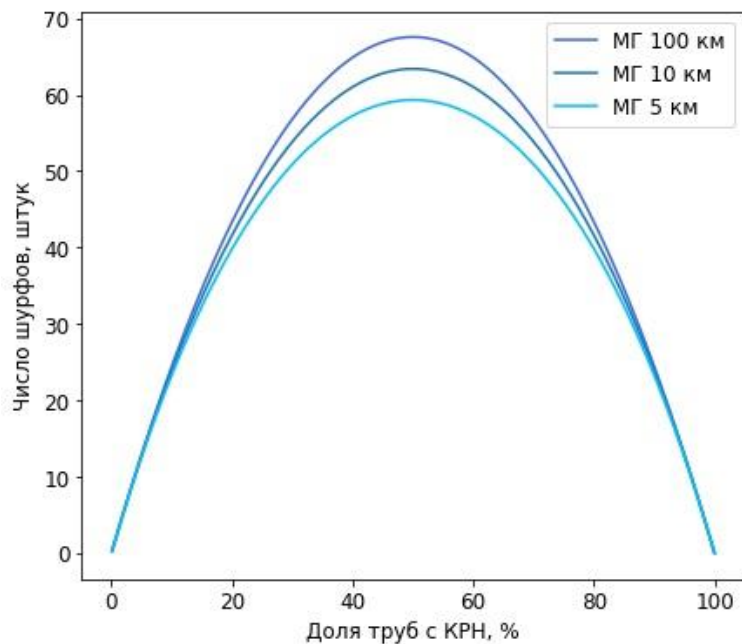
Ошибка прогноза



$$MAE = \frac{1}{n_{\text{samples}}} \sum_{i=0}^{n_{\text{samples}}-1} |y_i - \hat{y}_i|$$



Расчет количества дополнительных шурфов



$$n = \frac{\frac{z^2 p_i (1 - p_i)}{\delta^2}}{1 + \frac{\frac{z^2 p_i (1 - p_i)}{\delta^2} - 1}{N}}$$

Число шурфов зависит от оценки доли труб с КРН на основе модели, протяженности участка МГ, желаемого уровня надежности и точности оценки.

Выводы по второй части

- Проведен анализ ремонтных ведомостей и данных ВТД.
- Предложено уравнение расчета протяженности замены труб МГ.
- Проведено статистическо-вероятностное моделирование и рассчитана ошибка прогноза.
- При реализации наиболее вероятного сценария, точность прогноза составляет 90%.