

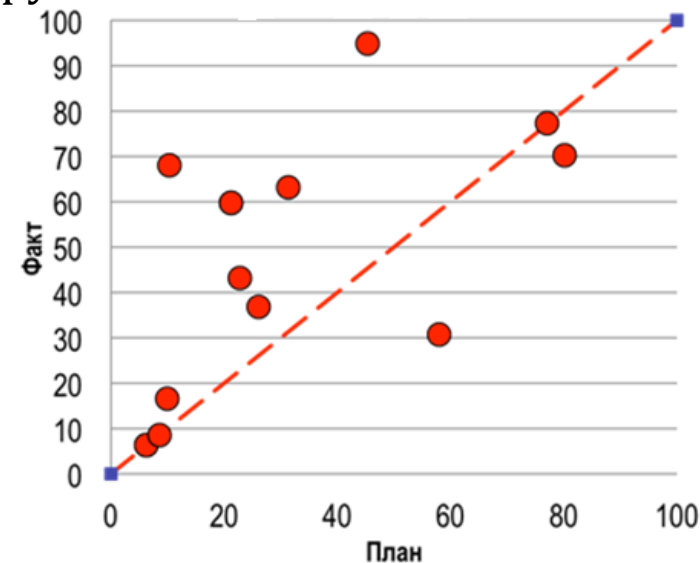
НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ УЧАСТКОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

**С.С. Машуров, А.М. Мирзоев, М.С. Иващенко (ЗАО «АМТ»),
А.И. Маршаков (ООО «Центр коррозионных испытаний»),
И.В. Ряховских, Р.И. Богданов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)**

**II Научно-практический семинар
Повышение надежности магистральных газопроводов,
подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением**

п. Развилка 24-26 мая 2016 г.

- ❑ Необходимость учета большого количества разнородных факторов, определяющих стресс-коррозионную ситуацию вдоль газопровода.
- ❑ Большая статистика накопленных данных по результатам диагностических обследований и НК при капитальном ремонте газопроводов.
- ❑ Несовершенство существующих методических подходов к оценке стресс-коррозионной ситуации вдоль газопровода, обусловленных:
 - балльной оценкой факторов, влияющих на процесс КРН;
 - ограниченными возможностями внутритрубных приборов по выявлению мелких дефектов КРН (до 20%) с высокой достоверностью, и, как следствие, большой погрешностью при прогнозировании материально-технических ресурсов для проведения капитального ремонта участков газопроводов.



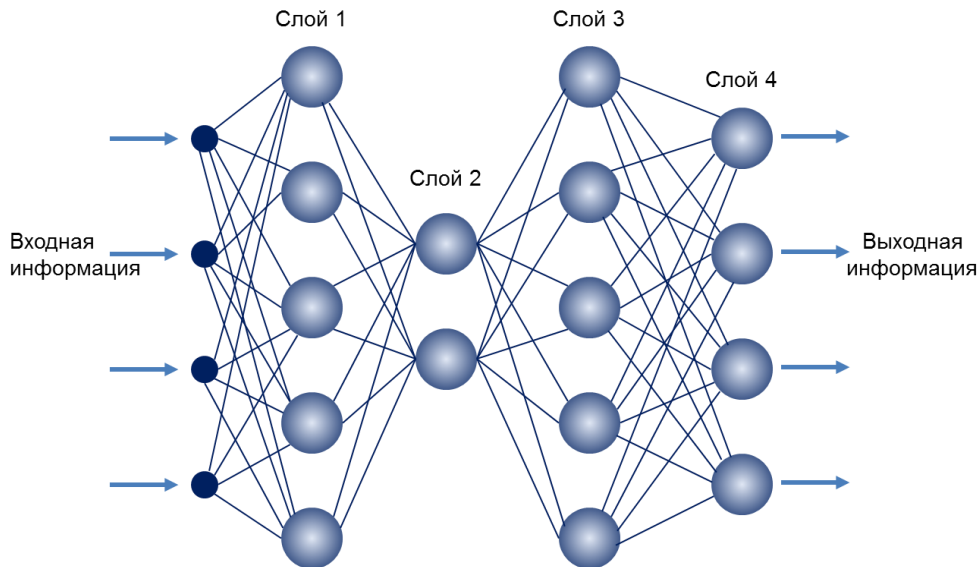
Цель

Повышение достоверности прогнозируемого числа труб, необходимых для ремонта участков МГ, подверженных КРН, за счет применения комбинации технологии нейросетевого моделирования и измерений параметров околотрубной среды, провоцирующих стресс-коррозию.

Задачи

- Анализ и систематизация данных о стресс-коррозионной поврежденности газопроводов по результатам предремонтного обследования.
- Построение нейросетевой модели качественной оценки стресс-коррозионного состояния участков магистральных газопроводов.
- Разработка предложений по повышению точности прогнозирования стресс-коррозионной поврежденности труб.

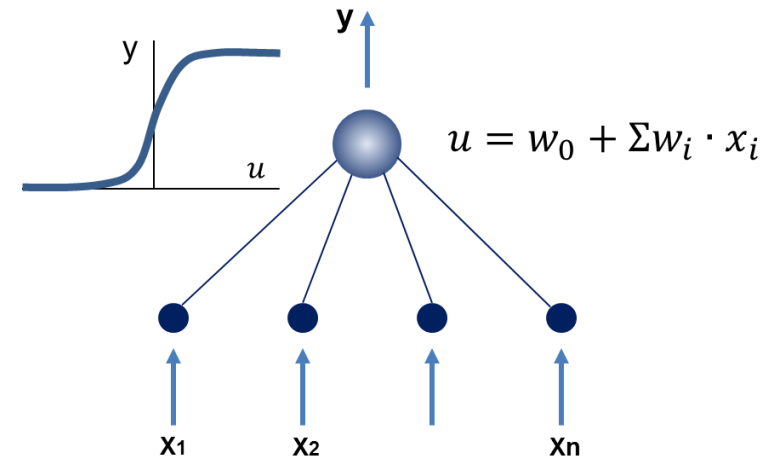
Многослойная нейронная сеть



Нейронная сеть представляет собой систему, состоящую из совокупности связанных между собой элементов, которые называются нейронами.

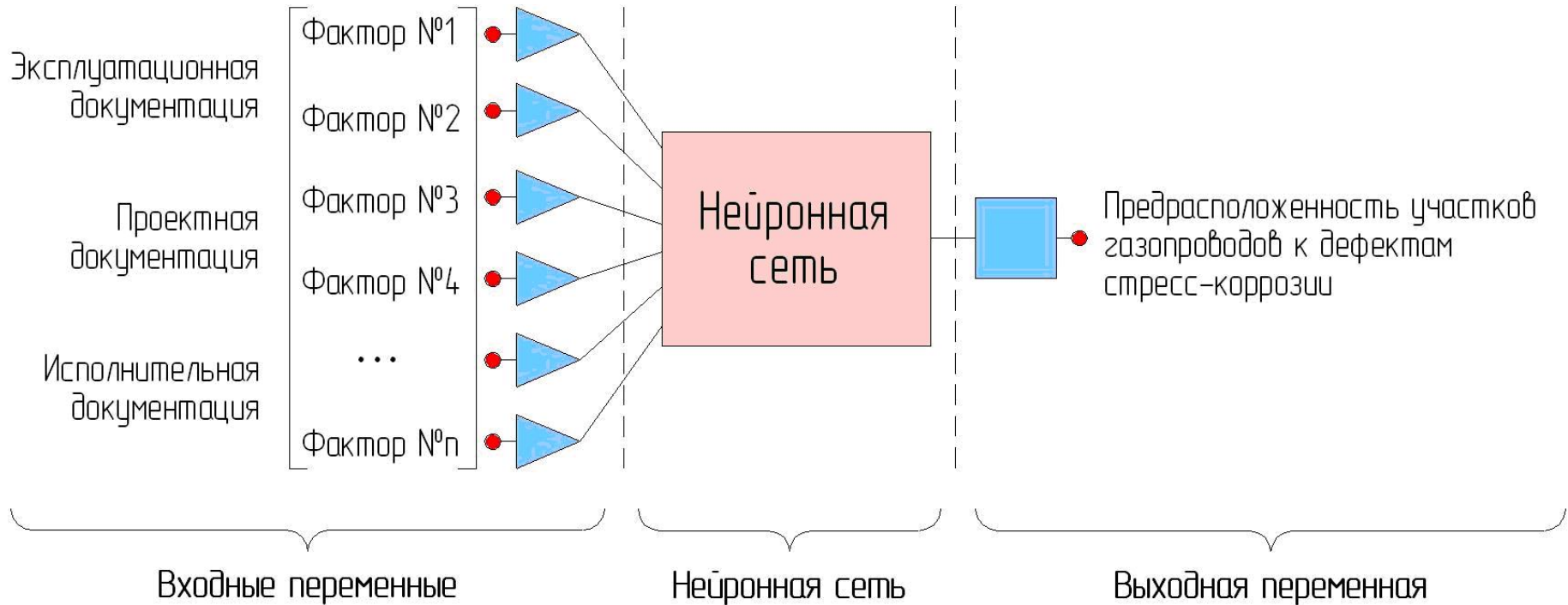
Эта система способна обрабатывать информацию, поступающую на ее вход, и генерировать выходную информацию в ответ на входное воздействие.

Математическая модель нейрона



Каждый нейрон представляет собой ячейку, на вход которой по каналам, имеющим определенный весовой коэффициент w_i , поступают воздействия $x_1, x_2 \dots x_n$. Нейрон суммирует все внешние воздействия, поступившие на его вход, и с помощью заложенной в него математической функции $y = f(u)$ выдает выходное значение.

Значения весовых коэффициентов подбираются на этапе обучения нейронной сети, которое заключается в ее адаптации к внешним воздействиям путем минимизации ошибки отклика сети.

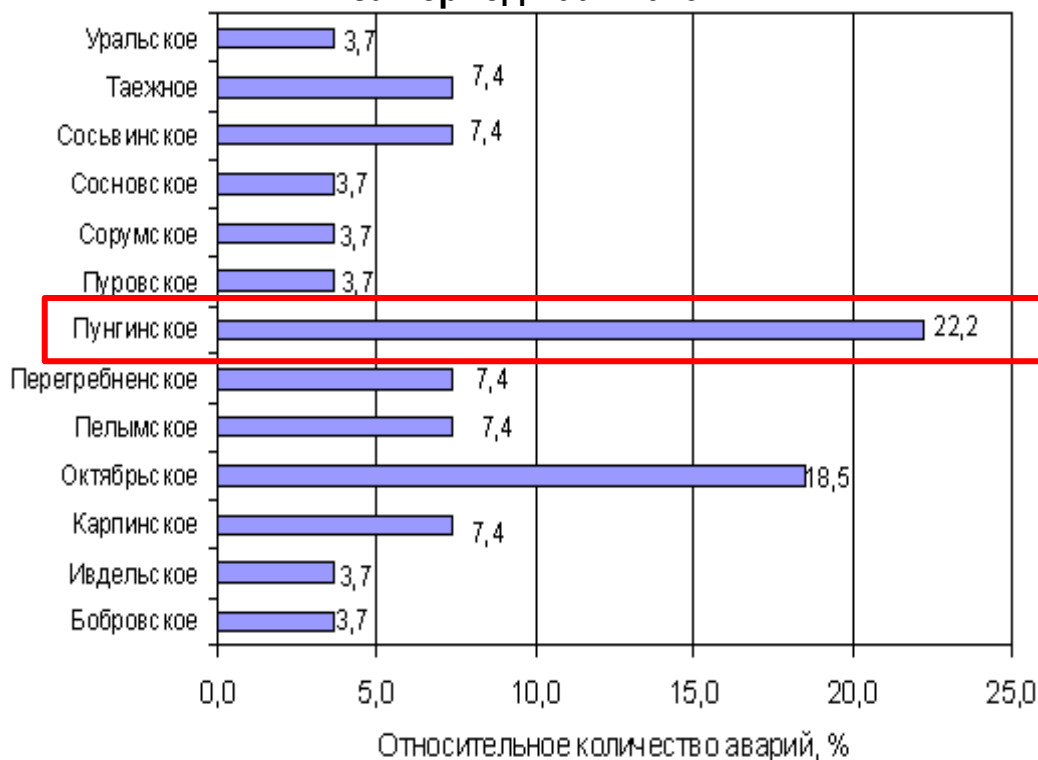


Нейронные сети способны воспроизводить чрезвычайно сложные и нелинейные по своей природе зависимости, к которым относится взаимодействие технической и природной подсистем геотехнической системы «газопровод – окружающая среда».

В структуре нейросетевой модели можно выделить три основных блока: входные переменные, нейронная сеть, выходная переменная. На вход нейронной сети поступают входные переменные, представляющие собой значения факторов, влияющих на величину выходной переменной. Средний блок (нейронная сеть) устанавливает зависимость между входными и выходными переменными.

Работы выполнялись в 2015-2016 гг. совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в рамках НИР «Разработка метода прогнозирования потенциально опасных в отношении коррозионного растрескивания под напряжением участков линейной части магистральных газопроводов на основе данных диагностических обследований и эксплуатационных параметров магистральных газопроводов для нужд ООО «Газпром трансгаз Югорск».

Распределение относительного количества аварий в ООО «Газпром трансгаз Югорск» по причине КРН за период 2004-2013 гг.



- Получены и проанализированы данные о выявленных в рамках капитального ремонта 2013-2014 гг. дефектах КРН по 20-ти ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск».
- Общее количество выявленных дефектов КРН составило более 35 000 шт.

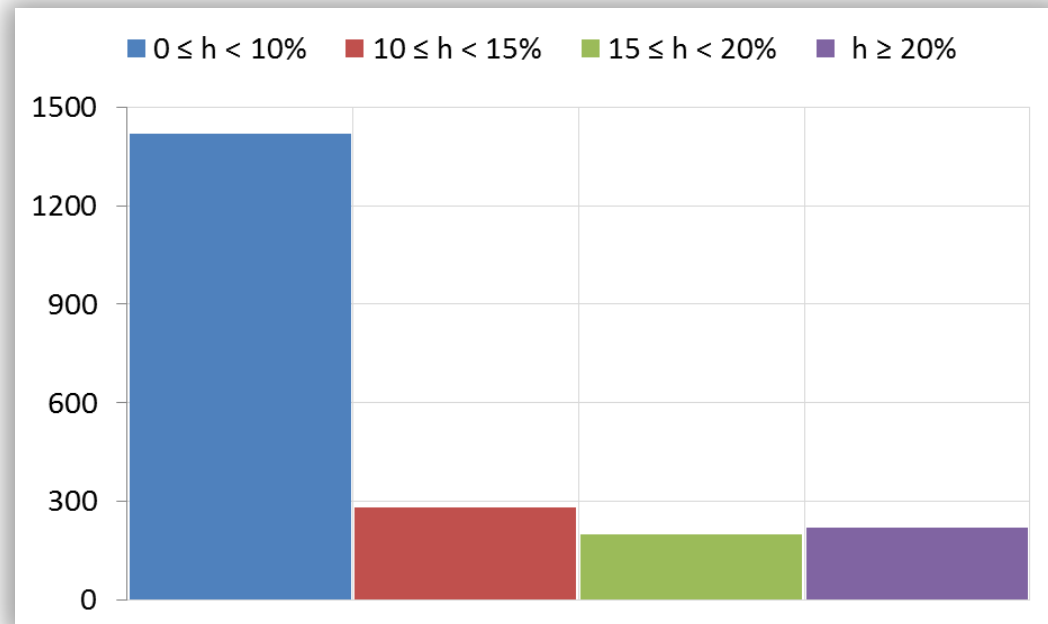
Выбор участка

Для выполнения работ по нейросетевому моделированию стресс-коррозионного состояния участков газопроводов выбран МГ «Пунга-Вуктыл-Ухта-1» (0-57 км) Пунгинского ЛПУ МГ, пролегающий на территории ХМАО.

Основные характеристики МГ «Пунга-Вуктыл-Ухта-1»:

- Год ввода в эксплуатацию – 1997;
- Протяженность участка – 57 км;
- Рабочее давление – 55 кг/см²;
- Диаметр трубы – 1220 мм;
- Толщина стенки – 12-15,4 мм;
- Тип изоляции – пленочная;
- Факт. производительность -13,1 млрд.м³/год.

Распределение количества дефектов КРН по глубине по результатам КР (2013-2014 гг.)



Сбор исходных данных

Перечень исходных данных для построения нейросетевой модели

Общие данные о газопроводе	Результаты капитального ремонта	Результаты электрометрического обследования	Результаты измерений характеристик грунта	Результаты геотехнической диагностики
<ul style="list-style-type: none"> • Расстояние от КС • Рабочее давление • Наружный диаметр трубы • Толщина стенки трубы • Конструкция трубы • Тип защитного покрытия • Срок службы защитного покрытия • Метод нанесения защитного покрытия • Конструкция защитного покрытия 	<ul style="list-style-type: none"> • Данные о дефектах КРН (номер трубы, дистанция) 	<ul style="list-style-type: none"> • $U_{Т-3}^{вкл}$ • $U_{Т-3}^{выкл}$ • Наличие сквозных дефектов изоляционного покрытия 	<ul style="list-style-type: none"> • Тип грунта • Удельное электрическое сопротивление грунта • Величина рН грунта • Концентрация сульфидсодержащих соединений • Концентрация карбонатсодержащих соединений • Проникновение водорода • Катодный ток • Анодный ток 	<ul style="list-style-type: none"> • Наличие подземных водотоков • Наличие наземных водотоков (река, ручей, озеро, болото и др.) • Уровень грунтовых вод • Наличие участков в непроектном положении

По результатам обработки исходных данных были выбраны следующие участки с наиболее полным объемом данных:

№ п/п	Начало, км	Конец, км	Протяженность, км
1	24,5	27,5	3
2	31	32	1
3	38,7	43,7	5

Нормализация исходных данных

Исключенные факторы*

Наименование фактора	Значение фактора
Наружный диаметр трубы, мм	1220
Толщина стенки трубы, мм	12
Конструкция трубы	Двухшовная
Рабочее давление, МПа	5,4
Тип защитного покрытия	Пленочное
Срок службы защитного покрытия, лет	10
Метод нанесения защитного покрытия	Трассовый
Конструкция защитного покрытия	Усиленная
Наличие сквозных дефектов на участке	Нет
Защитные потенциалы трубопровода ($U_{Т-З}^{вкл}$ и $U_{Т-З}^{выкл}$)	ниже -0,85 В (трубопровод защищен средствами ЭХЗ)
Тип грунта	Песок

* Данные факторы не влияют на классификацию, т.к. принимают одинаковые значения

Исходные факторы

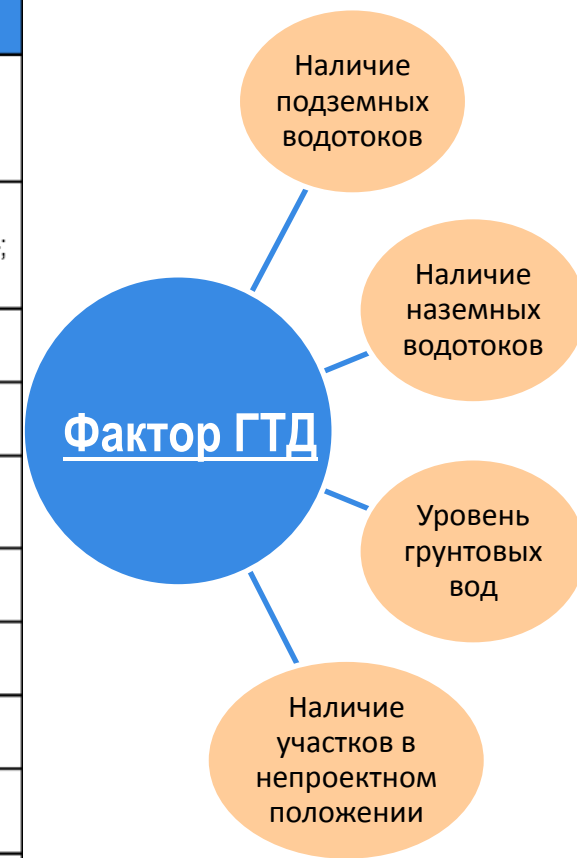
Классификация фактора	Фактор	Единица измерения
Данные по грунтам	Удельное электрическое сопротивление грунта	Ом·м
	Величина pH	-
	Концентрация сульфидсодержащих соединений (S)	М
	Концентрация карбонатсодержащих соединений (С)	М
	Проникновение водорода	мкА
	Катодный ток	А
	Анодный ток	А
Данные о трубе	Расстояние от КС	м
Результаты геотехнической диагностики	Наличие подземных водотоков	да/нет
	Наличие наземных водотоков	да/нет
	Уровень грунтовых вод	да/нет
	Наличие участков в непроежном положении	да/нет

Понижение размерности входного вектора данных

Шкалирование переменных

Название переменной	Тип переменной	Метод шкалирования	Примечание
Уд. электрическое сопротивление грунта	Номинальная	Преобразование в числовую переменную	<ul style="list-style-type: none"> • От 20 до 50 Ом·м – средняя агрессивность (значение «0»); • >50 Ом·м - низкая агрессивность (значение «1»).
Значение величины pH	Номинальная	Кодирование 1-из-N	<ul style="list-style-type: none"> • $4,1 < \text{pH} \leq 5$ - кислая среда (значение {1;0;0}); • $5 < \text{pH} < 6,5$ - слабокислая среда (значение {0;1;0}); • $6,5 < \text{pH} < 7$ - нейтральная среда (значение {0;0;1});
Концентрация C	Относительная	Алгоритм минимакса	Значение умножено на 10^5
Концентрация S	Относительная		Значение умножено на 10^6
Проникновение водорода	Интервальная		-
Анодный ток	Интервальная		-
Катодный ток	Интервальная		-
Расстояние от КС	Относительная		-
ГТД	Номинальная	Преобразование в числовую переменную	<ul style="list-style-type: none"> • Присутствие фактора ГТД – значение «1»; • Отсутствие фактора ГТД – значение «0»;
Наличие на секции дефекта КРН	Номинальная		<ul style="list-style-type: none"> • Дефект КРН присутствует – значение «1»; • Дефект КРН отсутствует – значение «0»;

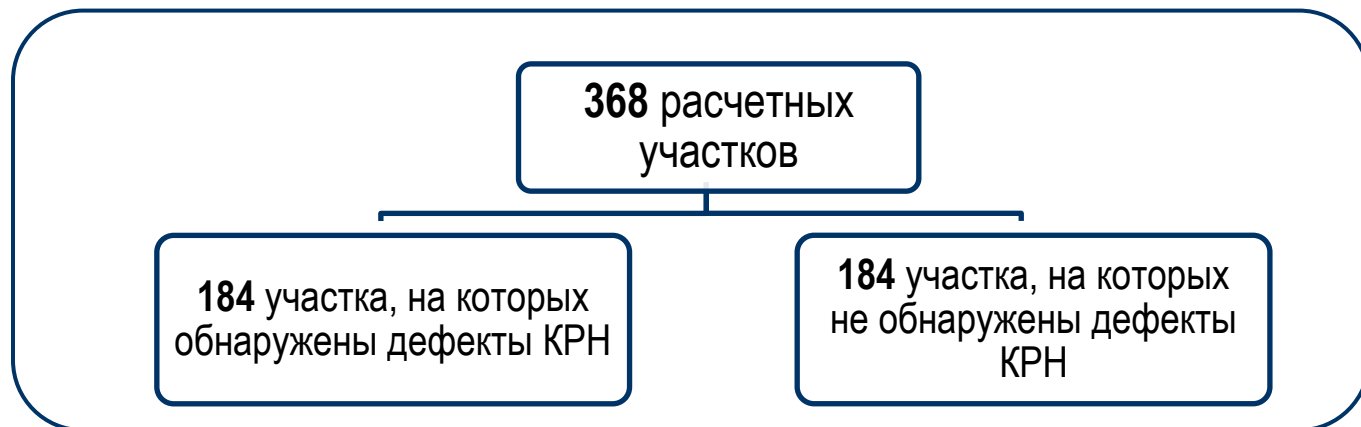
Понижение размерности



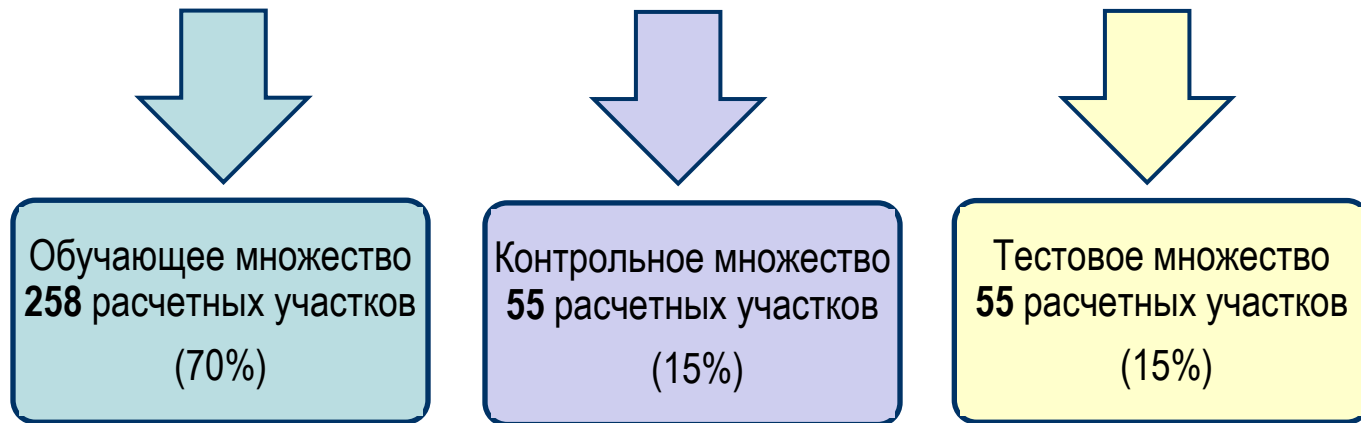
Формирование перечня расчетных участков

Рассматриваемые участки были разбиты на расчетные участки, протяженность которых соответствует длинам труб по трубному журналу ВТД.

Сбалансированный набор данных



Разбиение на множества



Выбор архитектуры нейронной сети и ее обучение

Настройки для автоматического поиска нейросетей

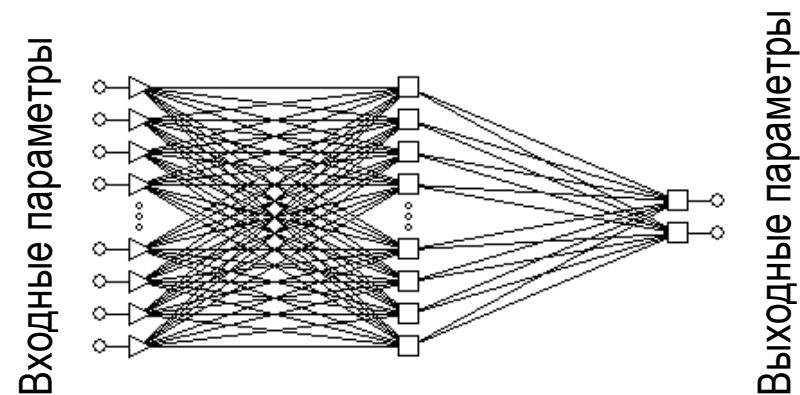
Network types		Train/Retain networks	
<input checked="" type="checkbox"/> MLP:		Networks to train:	200
Min. hidden units:	4	Networks to retain:	10
Max. hidden units:	20		
<input checked="" type="checkbox"/> RBF:		Error function	
Min. hidden units:	21	<input checked="" type="checkbox"/> Sum of squares	
Max. hidden units:	30	<input checked="" type="checkbox"/> Cross entropy	

Результаты автоматического поиска

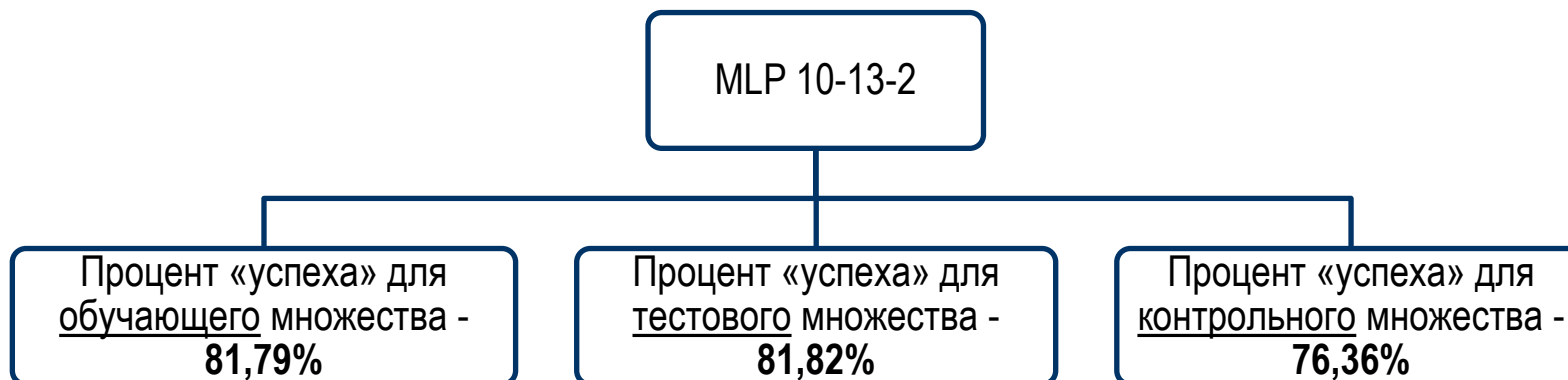
№ п/п	Наименование нейросети	Процент «успеха» обучающего множества, %	Процент «успеха» тестового множества, %	Процент «успеха» контрольного множества, %
1	MLP 10-4-2	69,77	83,64	69,09
2	MLP 10-20-2	71,31	81,82	72,82
3	MLP 10-6-2	69,98	78,18	72,82
4	RBF 10-30-2	61,24	67,27	72,82
5	MLP 10-10-2	70,15	81,82	72,82
6	MLP 10-6-2	76,74	81,82	72,82
7	MLP 10-4-2	77,13	80	74,55
8	MLP 10-4-2	75,59	81,82	76,36
9	MLP 10-5-2	79,46	83,64	72,73
10	MLP 10-13-2	81,79	81,82	76,36



Лучшая сеть: многослойный персептрон с 13 нейронами в скрытом слое (MLP 10-13-2)



Анализ работы нейросетевой модели и ее верификация



Гистограмма частоты распределения уровня значимости для случаев правильной классификации



Нейросетевая модель верно классифицирует стресс-коррозионное состояние МГ с уровнем значимости более 0,8 в 66% случаев.

- ❑ Повышение точности прогнозирования стресс-коррозионной поврежденности труб может быть достигнуто за счет:
 - увеличения количества учитываемых в нейросетевой модели факторов, ответственных за процесс КРН, с наиболее широким диапазоном изменения их значений;
 - увеличения количества подаваемых на вход нейронной сети наблюдений (расчетных участков);

- ❑ Повышение устойчивости нейросетевой модели может быть достигнуто за счет применения в математической модели комбинации других методов машинного обучения и статистической обработки данных (таких как градиентный бустинг, композиция через признаки, логическая регрессия и др.).

Прогноз наличия КРН на участке газопровода

Импорт данных | Сохранить результаты | Экспорт результатов

Газпром трансгаз Беларусь | Газпром трансгаз Волгоград | Газпром трансгаз Екатеринбург | Газпром трансгаз Запад | Газпром трансгаз Казань | Газпром трансгаз Краснодар | Газпром трансгаз Махачкала | Газпром трансгаз Москва | Газпром трансгаз Нижний Новгород | Газпром трансгаз Самара | Газпром трансгаз Санкт-Петербург | Газпром трансгаз Саратов | Газпром трансгаз Ставрополь | Газпром трансгаз Сургут | Газпром трансгаз Томск | Газпром трансгаз Уфа | Газпром трансгаз Ухта | Газпром трансгаз Чайковский | Газпром трансгаз Югорск

Данные | Анализ

Unpadded: 0	№ трубы	Начало секции	Конец секции	Удельное электрическое сопротивление грунта	Значение величины pH	Концентрация сульфидсодержащих соединений	Концентрация карбонатсодержащих соединений	Проникновение водорода	Катодный ток	Анодный ток
2	2303	24531.03	24542.6	128	5.33	0.000017	0.022491	39	9	47
3	2304	24542.6	24554.23	128	5.352667	0.000016	0.021391	40.4	9.4	47.2

Данные | Анализ

➊ Модель 1: Результаты применения модели прогноза наличия КРН на трубной секции

➋ Модель 2: Результаты применения модели классификации для обнаружения трубных секций с КРН

Класс риска возникновения КРН (кластеры)	Количество секций в кластере (шт)	Реальная доля КРН в кластере	Средняя расчетная вероятность КРН в кластере
Критичный (0.5-1)	109	0.69	0.67
Высокий (0.3-0.5)	99	0.37	0.39
Средний (0.18-0.3)	129	0.24	0.23
Умеренный (0.08-0.18)	258	0.14	0.12
Низкий (0-0.08)	198	0.05	0.08
Всего трубных секций	783		

Доля КРН реальная и расчетная по классам риска возникновения КРН

Распределение секций по классам риска возникновения КРН (%)

Доля секций с КРН на участках газопровода

Р	24531 м	24817 м	25104 м	25392 м	25768 м	26200 м	26801 м	26885 м	27146 м	31020 м	31705 м	31791 м	36682 м	38040 м	39305 м	39900 м	39775 м	40661 м	40700 м	40838 м	40927 м	41114 м	41452 м	41779 м	42039 м	42316 м	42690 м	42889 м	43174 м	43463 м
Р	0.68	0.48	0.26	0.56	0.06	0.48	0.16	0.48	0.52	0.2	0.4	0.22	0.12	0.08	0.16	0.04	0	0	0.08	0	0.24	0.08	0	0.2	0.08	0.16	0.26	0.04	0.04	0.22
П	0.57	0.46	0.27	0.57	0.12	0.46	0.22	0.42	0.47	0.17	0.41	0.22	0.11	0.14	0.13	0.08	0.06	0.04	0.1	0.05	0.18	0.12	0.05	0.18	0.08	0.2	0.21	0.12	0.1	0.16

1 В рамках НИР разработана методология и прототип программного комплекса оценки стресс-коррозионной поврежденности участков линейной части магистральных газопроводов для нужд ООО «Газпром трансгаз Югорск»

2 По результатам верификации **точность** нейросетевой модели составила **80%**, при этом обучение нейронной сети выполнено на 368 расчетных участках по 10 факторам, определяющим стресс-коррозионную ситуацию вдоль газопровода

3 Запланирована **реализация в 2017-2018 гг. программного комплекса** на основе прототипа, **адаптированного** под задачи газотранспортного предприятия, **с учетом предложений по повышению точности прогноза и устойчивости модели**



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Адрес в Москве:

123007, г. Москва,

2-й Силикатный проезд, д. 14

Телефон/факс: +7 (495) 727-35-41

WWW: <http://www.amt-rus.com>

email: info@amt-rus.com

