

О возможности прогнозирования различных видов стресс- коррозионных повреждений магистральных газопроводов ПАО «Газпром»



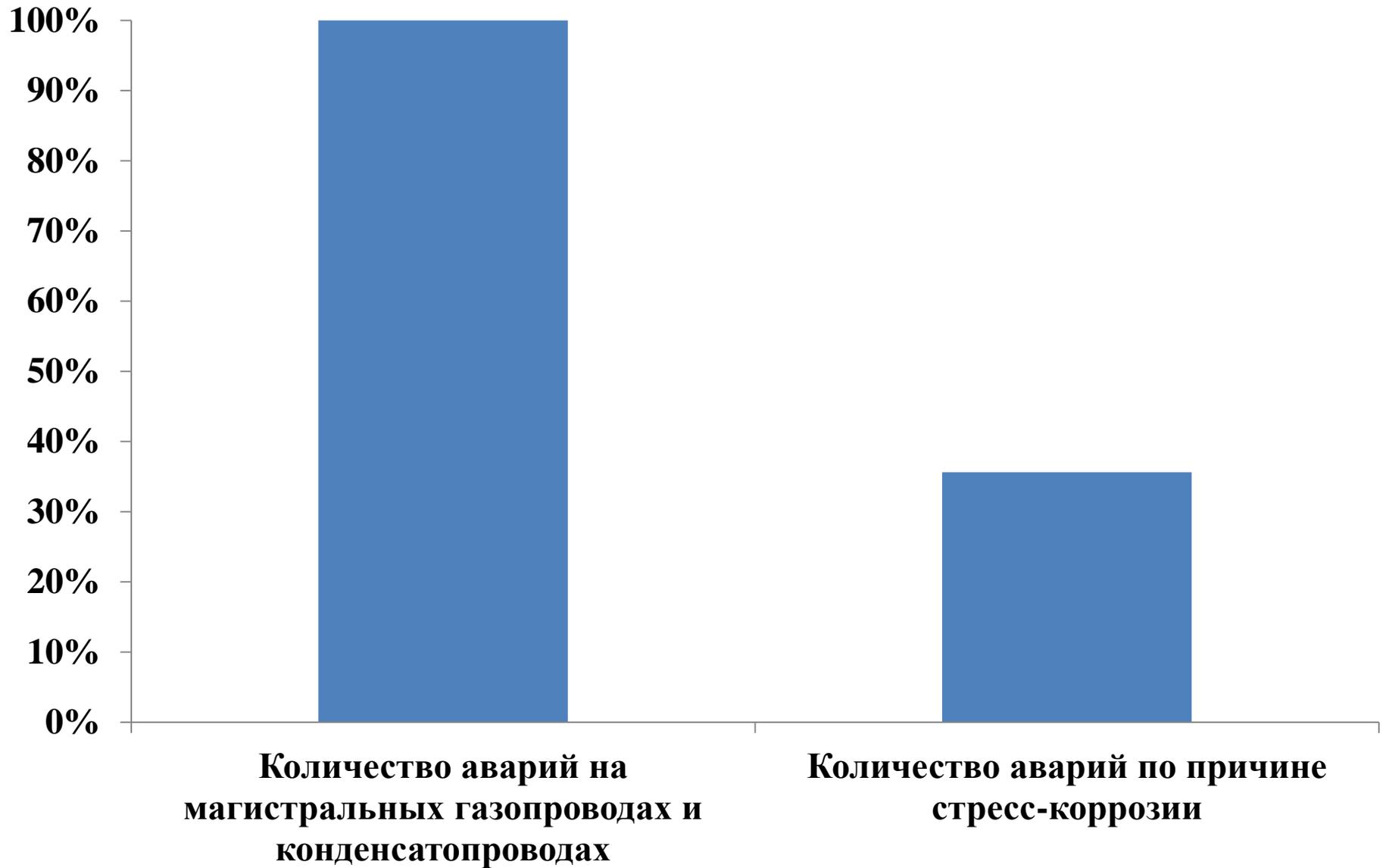
К.Т.Н.

Шапиро Владимир Дмитриевич

2016 г.

г. Москва

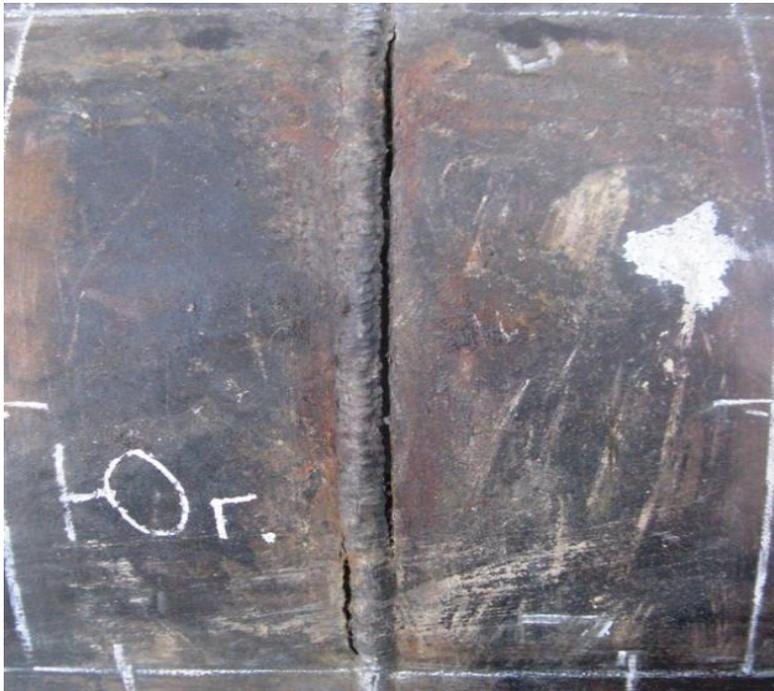
**Статистика стресс-коррозионных аварий за период 20 лет
(с 1996 г. по 2015 г.)**



Аварии на объектах ЕСГ ПАО «Газпром», при которых комиссиями по расследованию зафиксированы поперечные трещины КРН, за период с 1996 по 2016 г.г.

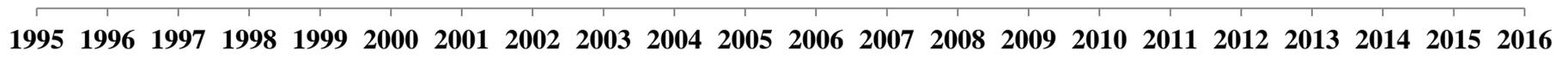
№ п/п	Отказавший элемент	«Возраст» уч-ка т-да к моменту аварии (лет)	Характеристика очагового дефекта					Значимость дефекта
			Вид дефекта	Расположение дефекта		Вид разрушения		
				На конструкции	По условным часам	Излом	Долом	
1	Трубы ВТЗ спиральношовные, 1220х10,5	20	Поперечная трещина КРН	По основному металлу	В материалах расслед. не указано	Вязк. с хруп. участками	Вязкий	Сопутствующая трещина
2	Трубы импорт 1020х9	18	Поперечная трещина КРН	По монтажному шву	На 12 часов	Квазихрупкий	Вязкий	Очаговая трещина
3	Труба ХТЗ 1420х16,5	16	Поперечная трещина КРН	По основному металлу	На 6 часов	Хрупкий	Вязкий	Очаговая трещина
4	2 кривые хол. гнутья по 4° (1420х15,7)	16	Поперечная трещина КРН	По основному металлу	На 4-6 часов	Хрупкий	-	Очаговая трещина
5	Монтажный сварной стык труб ХТЗ 1420х16,5	21	Поперечная трещина КРН	По монтажному сварному шву	В материалах расслед. не указано	Хрупкий	Вязкий	Очаговая трещина
6	Монтажный сварной стык труб ЧТПЗ 1220х11	24	Поперечная трещина КРН	По основн. металлу трубы с перех. на монтажн.стык	В материалах расслед. не указано	Не указано	Не указано	Очаговая трещина
7	Труба ЧТПЗ 1220х12	27	Поперечная трещина КРН	По основн. металлу трубы	4-6 часов	Квазихрупкий	Не указано	Очаговая трещина
8	Труба импорт 1420х18,7	20	Поперечная трещина КРН	По основн. металлу трубы	На 6 часов	Вязкий	Вязкий	Очаговая трещина
9	Труба ВТЗ (спиральношов.) 1020х9	20	Поперечная трещина КРН	По основн. металлу трубы	Вдоль спиральн.шва на 3-6 часов	Хрупкий	Не указано	Сопутствующая трещина
10	Труба импорт 1020х12,9	21	Поперечная кольцевая трещина	По основн. металлу трубы	На 5-6 часов	Не указано	Не указано	Сопутствующая трещина
11	Катушка из трубы 1420х18,7	22	Поперечная трещина КРН	По основн. металлу	На 6 часов	Не указано	Не указано	Сопутствующая трещина
12	Монтажный сварной стык импортн. труб	30	Поперечная трещина КРН	По линии сплавления монтаж. свар. шва	На 6-8 часов	Не указано	Вязкий	Очаговая трещина

Отказы по причине поперечной стресс-коррозии



● Инцидент

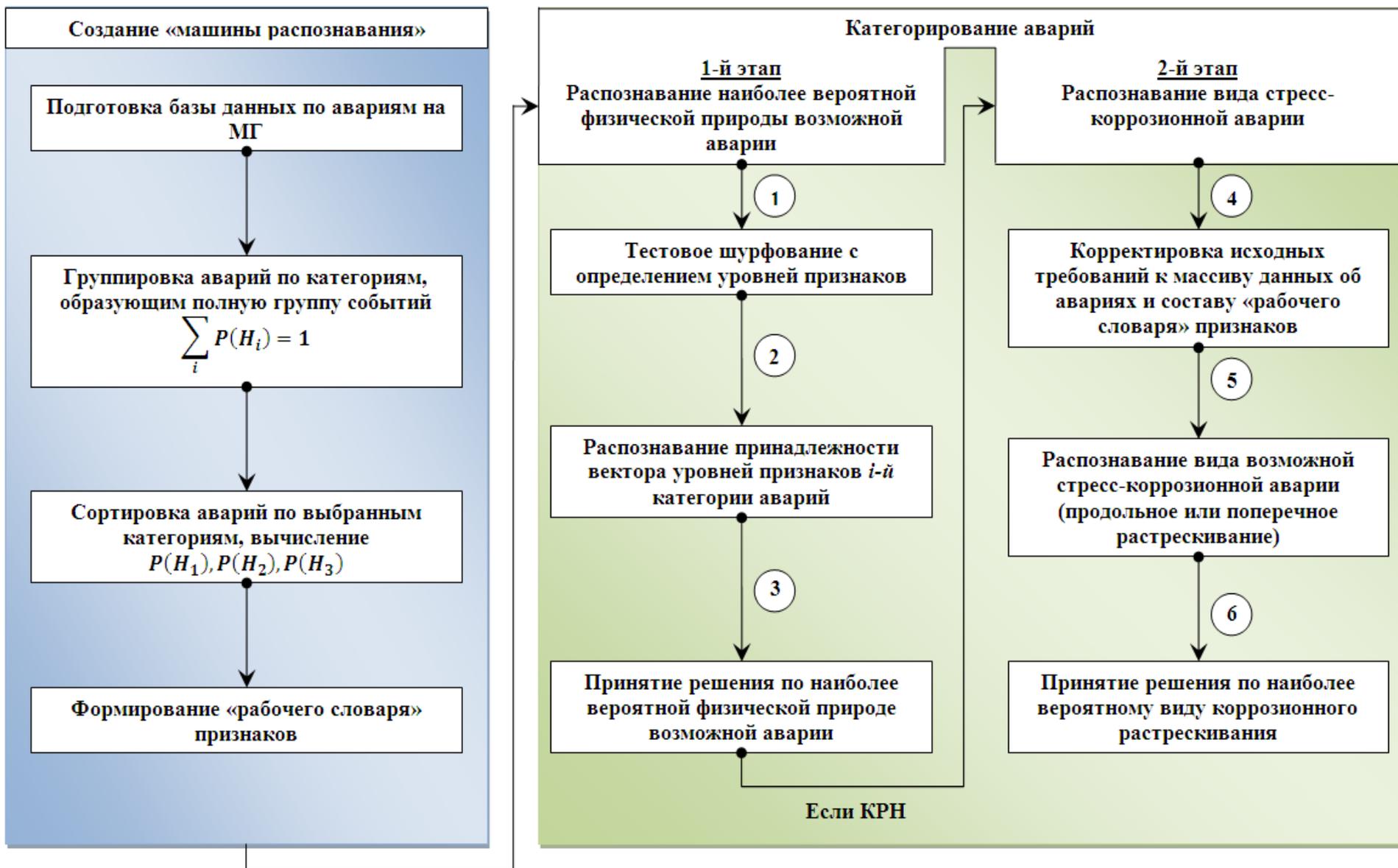
● Авария



**Публикации по вопросу исследования различных видов КРН
на магистральных трубопроводах**

- 1. Коррозионное растрескивание под напряжением труб магистральных газопроводов. Атлас. Под общей редакцией А.Б. Арабея и З. Кношински. М.; «Наука», 2006.-105 с.**
- 2. С.В. Алимов, И.А. Долгов, В.А. Горчаков, А.Ю. Сурков, Ю.П. Сурков, В.Г. Рыбалко. Диагностика коррозионного растрескивания газопроводов. Атлас. РАН, Уральское отделение, Институт физики металлов, ОАО «Газпром» Тюментрансгаз. Екатеринбург, 2004.-7,35 печ. л.**
- 3. М.В. Чучкалов, Р.М. Аскарлов. Особенности проявления поперечного коррозионного растрескивания под напряжением//Газовая промышленность. – 2014. - №3.- С.37-39.**
- 4. Шарипов Ш.Г., Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Аскарлов Р.М. Дефекты поперечного КРН на газопроводах большого диаметра// Газовая промышленность.. – 2013. - №6 .- С.63-65.**
- 5. Усманов Р.Р. Разработка технологии выявления и ремонта потенциально опасных участков газопроводов по признаку поперечного коррозионного растрескивания под напряжением/ Р.Р. Усманов, М.В. Чучкалов, Р.М. Аскарлов// Территория НЕФТЕГАЗ. -2014. - №12. – С.74-77.**

Прогнозирование физической природы и вида аварии на примере КРН



Распределение аварий, входящих в базу данных, по категориям (настройка «машины распознавания» на 1-м этапе)

- **Категория 1** («отсроченные проявления дефектов») - аварии, обусловленные внешними или внутренними дефектами и повреждениями элементов ОПО, внесенными на каком-либо из этапов их жизненного цикла, не приведшими к немедленному разрушению, взрыву или выбросу опасных веществ, но способствующими накоплению повреждений, усталости, старению металла, развитию коррозии или эрозии элементов (труб, соединительных деталей и т.д.) ОПО.
- **Категория 2** («внезапные аварийные воздействия») - аварии из-за внезапного, непланового силового воздействия на неповрежденный объект, связанного с диверсией или неумышленным повреждением, скачком нагрузок при нарушении правил эксплуатации объекта, стихийным бедствием и т.д.
- **Категория 3** («стресс-коррозионные проявления») - аварии, обусловленные стресс-коррозией, т.е. локальным растрескиванием металла труб, развивающимся под действием коррозионной среды и механических напряжений.

Виды признаков, сопутствующих авариям

Признаки, сопутствующие информации об авариях, фиксируемые в БД:

✓случайные величины (дискретные и непрерывные, приводимые к дискретному виду);

✓случайные факторы (количественные переменные, принимающие конечное число нечисловых значений уровней, обладающие рядом распределения но не имеющие числовых характеристик: среднего значения, дисперсии и т.д.).

Принципы оценки уровня снижения степени неопределенности распознавания

$$I = I_1 - I_2$$

$$\Delta I = I(y_i|x_j)(y_i) - I(y_i|x_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L [p(x_j, y_i) \log_2 \frac{p(x_j, y_i)}{p(x_j)p(y_i)}]$$

в котором:

$p(x_j)$ – вероятность j -го значения дискретной случайной величины k -го признака (случайного фактора), содержащего L уровней;

$p(y_i)$ – вероятность i -го значения случайной величины реализации определенной категории (в нашем случае - одной из трех категорий) аварии при условии выбора какого-либо значения (уровня) \tilde{x}_j в рамках рассмотрения совокупности данных по k -му признаку, имеющих в базе данных, т.е. условная случайная величина $y_i | x_j$;

$p(x_j, y_i)$ – обозначение совместных вероятностей $[p(x_j)p(y_i | x_j)]$, характеризующих безусловные вероятности наступления аварии i -й категории на основе изучения каждого из L уровней k -го признака.

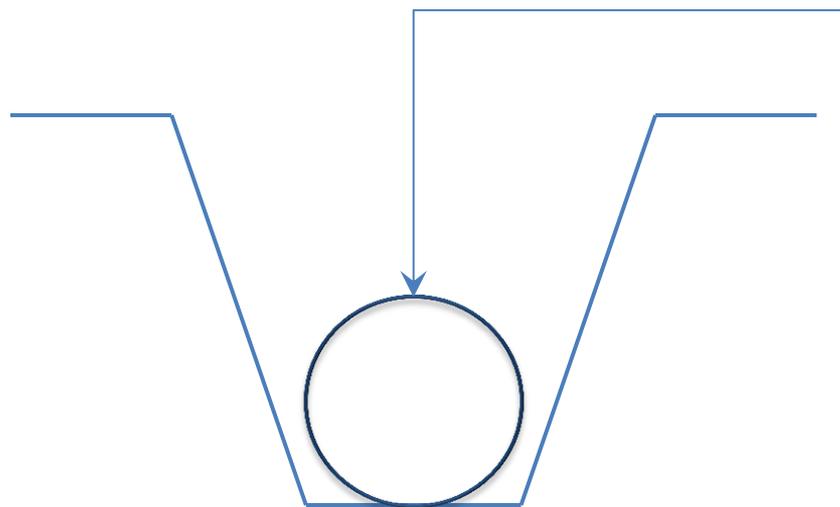
Для применения в задаче распознавания отбираются признаки с более высокой информационной характеристикой ΔI .

Выбор состава «рабочего словаря» для 1-го этапа решения задачи

№ п/п	Признаки, входящие в базу данных	Выбранные информативные признаки
1	Возраст объекта, лет	+
2	Организация, эксплуатирующая объект	+
3	Вид объекта	
4	Узел	+
5	Конфигурация трубопровода в месте аварии	
6	Категория трубопровода в месте аварии	
7	Глубина заложения объекта, м	+
8	Тип изоляции трубопровода	
9	Конструкция изоляции трубопровода	+
10	Вид изоляции объекта	
11	Вид пригрузки	
12	Давление в точке аварии	+
13	Вид грунта	+
14	Влажность грунта	+
15	Свойства грунта	
16	Расстояние до нагнетательной КС, км	+
17	Температура газа в месте аварии	+
18	Условный диаметр узла, мм	+
19	Толщина стенки, мм	+
20	Второй условный диаметр тройника, мм	
21	Вторая толщина стенки тройника, мм	
22	Тип аварийного узла	+
23	Состояние изоляции трубопровода в месте аварии	
24	Сезон	
25	Класс прочности стали	+
26	$P_{\text{рабочее}}/P_{\text{разрешенное}}$, МПа	
27	Федеральный округ	+
28	Плотность населения	+
29	Климат	

Исходная информация для распознавания (категорирования аварии)

1. Данные тестового шурфования:



III-1		
№ п/п	Признаки	
	Наименование	Значение (уровень)
1	A	A ^o
2	B	B ^o
3	C	C ^o
...
N	L	L ^o

2. Возможные категории гипотетической аварии (полная группа несовместимых событий):

$$H_1, H_2, H_3$$

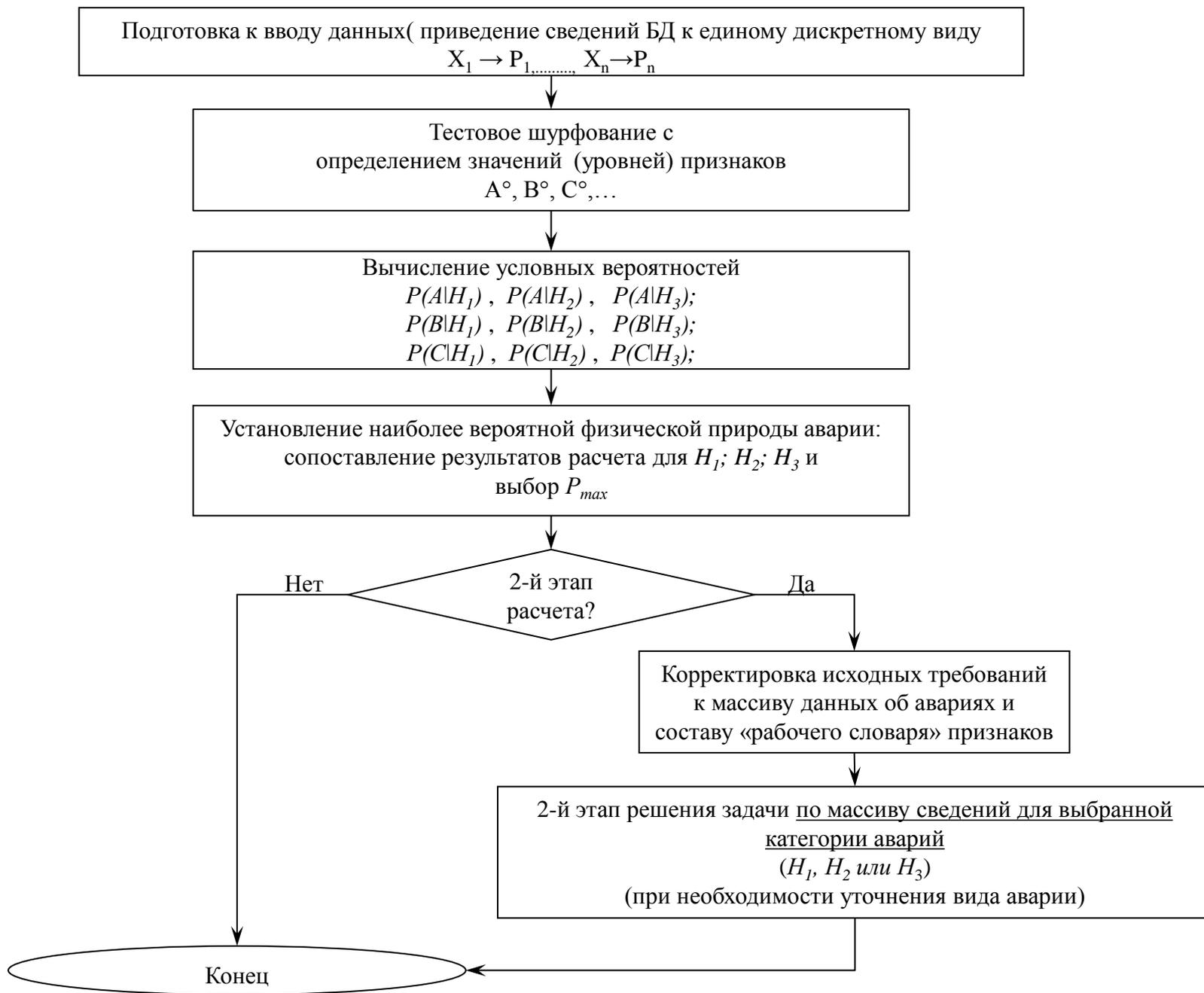
3. Априорные вероятности появления событий (гипотез):

$$P(H_1), P(H_2), P(H_3)$$

$$\sum_{i=1}^3 P(H_i) = 1$$

4. Совокупность N признаков, соответствующих каждому случаю аварий, зарегистрированных в БД.

Алгоритм определения наиболее вероятной природы возможной аварии



Прогнозирование вероятной физической природы гипотетической аварии

1. Вычисление безусловной вероятности события $V_{ABC\dots}$:

$$P(V_{ABC\dots}) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(V_{ABC\dots}|H_i)$$

где:

$V_{ABC\dots}$ – событие, состоящее в реализации тестового вектора признаков $\overrightarrow{V_{ABC\dots}}$;

$V_{ABC\dots}|H_i$ – событие, состоящее в том, что тестовый вектор признаков $\overrightarrow{V_{ABC\dots}}$

отражает свойства категории аварий H_i ;

$P(V_{ABC\dots}|H_i)$ – вероятность события $V_{ABC\dots}|H_i$.

2. Вычисление вероятности события $V_{ABC\dots}|H_i$ по критерию «попадания в категорию» хотя бы одного признака:

$$P(V_{ABC\dots}|H_i) = 1 - \left((1 - P(A|H_i)) \cdot (1 - P(B|H_i)) \cdot \dots \right)$$

где:

$P(A|H_i), P(B|H_i), \dots$ – вероятности реализации независимых событий (значений признаков) A^o, B^o, \dots при условии выбора тестового вектора признаков из массива аварий H_i .

3. Вычисление вероятности категории аварии H_i по критерию Байеса:

$$P(H_i|V_{ABC\dots}) = \frac{P(H_i) \cdot P(V_{ABC\dots}|H_i)}{P(V_{ABC\dots})}$$

4. Сравнение и выбор максимального значения $P(H_i|V_{ABC\dots})$.

Окно ввода исходных данных программы прогнозирования наиболее вероятной физической природы гипотетической аварии

Расчет наиболее вероятной причины отказа

Исходные данные

Место обследования

Федеральный округ

Приволжский

Субъект РФ

Пермский край

Организация, эксплуатирующая объект

Газпром трансгаз Чайковский

Расстояние до нагнетательной КС, км

25,1-30

Характеристики грунта в месте обследования

Вид грунта

суглинок

Влажность грунта

влажный

Свойства грунта

коррозионно-активный

Параметры рабочей среды

Давление газа, МПа

7

Температура газа, К

288-292

Отношение установленного давления к проектному

-

Параметры объекта

Узел

линейный участок

Условный диаметр, мм

1200

Возраст объекта, лет

30-34

Тип узла

труба прямошовная

Толщина стенки, мм

16

Конструкция изоляции

двухслойная с оберткой

Конфигурация узла

угол поворота в вертикальной плоскости

Класс прочности стали

K60

Вид изоляции

полимерная пленка

Глубина заложения, м

2

Вид пригрузки

б/пригрузов

Состояние изоляции

удовлетворительное

Расчет

Отмена

О программе

**Определение наиболее вероятной физической природы
гипотетической аварии (1-й этап)**

№№ категории аварии	Наименование категорий аварий	Вероятность попадания значения хотя бы одного признака из числа зафиксированных при шурфовании
1.	Отсроченные проявления дефектов	0,27
2.	Внезапные аварийные воздействия	0,03
3.	Стресс-коррозионные проявления	0,70
Решение по наиболее вероятной физической природе возможной («гипотетической») аварии		Гипотеза Н3 (КРН)

Выбор состава «рабочего словаря» для 2-го этапа решения задачи

№ п/п	Наименование признаков	Значения признаков
1	Конфигурация трубопровода в месте отказа	угол поворота в вертикальной плоскости
2	Вид грунта	суглинок
3	Свойства грунта	коррозионно-активные
4	Влагонасыщенность грунта	влажный
5	«Возраст» объекта по 5-летним интервалам	от 30 до 35
6	Вид изоляции объекта	пленка полимерная
7	Тип изоляции	Нормальный
8	Относительный уровень давления ($P_{\text{рабочее}}/P_{\text{разрешенное}}$)	0,9
9	Поставка труб	импортная
10	Наличие или отсутствие любых отступлений от проектных решений в месте отказа (по трубам, изоляционным материалам и т.д.)	отступления имеются
11	Узел	линейный участок
12	Расстояние до нагнетательной КС (по 5-летним интервалам), км	25,1-30

Определение наиболее вероятного вида стресс-коррозионной аварии (2-й этап)

№№ категории аварии	Наименование подкатегорий аварий	Вероятность попадания значения хотя бы одного признака из числа зафиксированных при шурфовании
1.	Обычная («продольная») стресс-коррозия	0,14
2.	Поперечная стресс-коррозия	0,86
Решение по наиболее вероятном виде «гипотетической» стресс-коррозионной аварии		Подкатегория 3-2 (поперечная КРН)

Область применения и направления дальнейшего развития принципов прогнозирования стресс-коррозионных повреждений

- 1. Рассмотрена возможность привлечения ретроспективных сведений об авариях и использования методов распознавания образов в задаче прогнозирования стресс-коррозионных повреждений.**
- 2. Предложенный подход может быть использован:**
 - для уточнения локации стресс-коррозионно опасных участков магистральных трубопроводов и видов потенциально возможных стресс-коррозионных проявлений,**
 - как инструмент в системе поддержки решений специальных комиссий по расследованию аварий о причинах и механизмах стресс-коррозионных и иных разрушений объектов магистральных трубопроводов.**
- 3. Направления дальнейшего повышения точности и достоверности предлагаемого подхода к расчетному прогнозированию и распознаванию стресс-коррозионных и иных аварий на объектах магистрального трубопроводного транспорта:**
 - повышение информативности актов расследования для обеспечения расширения, систематизации и упорядочения сведений, используемых в задачах распознавания наиболее вероятных причин и природы возможных аварий и инцидентов;**
 - дальнейшая проработка вопросов повышения информативности, разделительной способности используемых признаков, сопутствующих рассматриваемым событиям, оптимизация методов их описания и способов обработки.**
- 4. Предлагаемый подход может рассматриваться как основа для дальнейшего развития методов прогнозирования аварий и инцидентов на основе использования распознавания образов.**

Благодарю за внимание!

