

УДК 22.1:622.033:553.52

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ВНУТРИТРУБНОЙ МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

**TECHNICAL RISK ASSESSMENT
BY RESULTS OF IN-TUBE MAGNETIC DEFECTOSCOPY**

А.И. Ильясова

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

Aigul I. Ilyasova

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: bikbulatova@inbox.ru

Аннотация. Одной из важнейших проблем трубопроводного транспорта является сохранение безаварийного состояния линейной части магистральных трубопроводов. Как правило, большинство дефектов на трубопроводах появляются в результате коррозионных и механических повреждений, определение места и характера которых связано с рядом трудностей и большими материальными затратами. Совершенно очевидно, что вскрытие трубопровода для его непосредственного визуального обследования экономически неоправданно. Поэтому в течение последних лет в нашей стране усилия специализированных научно-исследовательских и проектных организаций направлены на решение проблемы определения состояния подземных и надземных промысловых, магистральных нефтепродуктопроводов без их вскрытия.

Целью данной работы является проведение исследования по влиянию магнитного поля на магистральный газопровод, вызванного последствиями

намагничивания металла при магнитной дефектоскопии.

В стандартных методах расчёта риска не учитывается воздействие магнитного поля при диагностике магистрального трубопровода. В данной статье приведены рекомендации по уточненной оценке техногенного риска магистрального газопровода с учетом воздействия магнитного поля при проведении внутритрубной дефектоскопии.

Abstract. One of the most important problems of pipeline transportation is maintaining the trouble-free condition of the linear part of trunk pipelines. As a rule, the majority of defects in pipelines appear as a result of corrosion and mechanical damage, the determination of the place and nature of which is associated with a number of difficulties and high material costs. It is obvious that pipeline tapping for its direct visual inspection is economically unjustified. Therefore, in recent years in our country, the efforts of specialized research and design organizations have been aimed at solving the problem of determining the status of underground and above-ground field, main oil product pipelines without tapping them.

The purpose of this work is to research the magnetic field effect on a gas pipeline, caused by the effects of metal magnetization during magnetic flaw detection.

The standard methods for calculating the risk do not take into account the effect of the magnetic field in the diagnostics of the main pipeline. This article provides recommendations on the updated assessment of the technological risk of the gas pipeline, taking into account the effect of a magnetic field during in-line inspection.

Ключевые слова: внутритрубная магнитная дефектоскопия, магистральный газопровод, техногенный риск

Key words: in-tube magnetic defectoscopy, gas pipeline, industrial risk

На сегодняшний день общая протяженность линейной части магистральных трубопроводов в Российской Федерации составляет более 242 тыс. км, из которых: магистральные газопроводы – 166 тыс. км. В настоящее время в системе магистрального трубопроводного транспорта эксплуатируется более 7000 поднадзорных Ростехнадзору объектов. Основные сценарии возможных аварий на газопроводах связаны с разрывом труб на полное сечение и истечением газа в атмосферу в критическом режиме (со скоростью звука) из двух концов газопровода (вверх и вниз по потоку). Протяженность разрыва и вероятность загорания газа имеют определенную связь как с технологическими параметрами трубопровода (его энергетическим потенциалом), так и с характеристиками грунта (плотность, наличие каменистых включений).

Количество природного газа, способного участвовать в аварии, зависит от диаметра газопровода, рабочего давления, места разрыва, времени идентификации разрыва, особенностей расстановки и надежности срабатывания линейной арматуры. Согласно статистике, средние потери газа на одну аварию варьируются в диапазоне 2,5–3,0 млн м³.

Для действующей системы газопроводов решающее значение в обеспечении надежности функционирования имеет эффективность системы технического обслуживания и ремонта (ТОР). Ключевым звеном в системе ТОР линейной части является внутритрубная диагностика, позволяющая получить достоверную информацию о техническом состоянии трубопровода. Наличие такой информации позволяет своевременно осуществлять предупреждающие воздействия по устранению опасных дефектов и поддержанию линейной части в работоспособном состоянии, т.е. управлять ресурсом и надежностью трубопровода [1].

Управление подземными газопроводами очень важно для безопасной и стабильной подачи энергии, но трудно подтвердить, имеет ли труба износ или повреждение из-за географического положения труб. Имеется большое количество технологий неразрушающего контроля для оценки состояния

газопроводов. Среди них внутритрубная магнитная дефектоскопия, в которой используют датчик осмотра трубопровода при транспортировке вещества [2–4].

Метод магнитной дефектоскопии является приемлемым для обследования подземных магистральных трубопроводов. Магнитные дефектоскопы позволяют при малых эксплуатационных расходах выявлять коррозионные повреждения стенок трубы на больших расстояниях [5, 6].

Но и у магнитной дефектоскопии имеется огромный недостаток, который вносит свое негативное влияние на свойства материала в процессе эксплуатации. Одним из них – остаточная намагниченность. Поскольку намагниченность труб не позволяет получить хорошее качество шва, размагничивание перед сваркой является необходимой технологической операцией. Достичь полного размагничивания практически невозможно, поэтому допускается сварка при незначительной остаточной намагниченности, не оказывающей ощутимого влияния на сварочный процесс.

Дополнительными факторами, способствующими намагничиванию трубопроводов, являются магнитное поле (МП) Земли, упругие механические напряжения, технологическая намагниченность труб при их изготовлении и транспортировке.

Магнитный контроль основан на индикации эффекта взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом, изготовленным из ферромагнитного материала. Если в намагниченном металле встречаются области с дефектами-неплошностями, магнитная проницаемость которых отличается от магнитной проницаемости основного металла, появляются магнитные поля рассеяния, выходящие наружу. Индикация этих полей позволяет получить информацию о дефектах. В процессе усталостного нагружения, особенно в условиях знакопеременного кручения, в металле образуется значительное количество вакансий, возникающих при пересечении дислокаций, а также при скольжении дислокаций с порогами

[7]. Объединение единичных вакансий с образованием поры происходит в плоскости скольжения. Под действием нормальных напряжений на поверхности микропор оседают вакансии, и в результате этого пора постепенно трансформируется в трещину.

Авторы работ [8–10] предположили, что усталость металла может быть наиболее чувствительной к магнитному полю. Усталость – это явление, связанное с генерацией и движением дислокаций под действием механического напряжения. Дислокации могут останавливаться на стопорах, т.е. больших потенциальных барьерах, связанных с дефектами решетки. Накапливаясь в одном месте, образуют скопления, которые потом превращаются в зародыши трещин, и по некоторым может произойти усталостное разрушение металла.

Методы исследования

Для исследования усталости металлов и конструктивных элементов изготовлена установка (рисунок 1), предназначенная для испытания образцов металла на прочность при центробежных кручениях. Прототипом установки является изобретение Лодуса Е.В., Рогалёва В.А. и Горшкова Л.К. описание которого приведено в [11].



Рисунок 1. Установка для испытаний на усталость при центробежном кручении

Разработанная установка является испытательной техникой, при помощи которой проверяют деталь на прочность. Установка для проверки деталей на усталость при кручении имеет основание, включающее зубчатое колесо, соосные пассивные и активные зажимы для крепления образцов, устройство возвратно-вращательных движений активного захвата, установленное на активном захвате. Имеется направляющая, радиально закрепленная на пассивном зажиме, небольшой груз, закрепленный на направляющей, привод перемещения груза по направляющей, изготовленный в виде электромагнитных катушек, установленных по направляющей. Кроме того, содержит вал, соосно прикрепленный на пассивном зажиме, груз, прикрепленный на валу вращается относительно вала. Целью является проведение испытаний при нагружении металла крутящими усилиями в режиме определённо-заданных нагрузок с плавным, ступенчатым, импульсным или циклическим изменением нагрузок в процессе исследования.

Данное изобретение работает следующим образом: устанавливают груз 4 в одном положении на направляющей. При выключенном фиксаторе 1 срабатывает привод 2 и через рамку, винт и колесо 3 делает вращательные движения активного захвата. Через металл образца пассивные захват-вращательные движения передаются на направляющую, в результате чего груз нагружает образец крутящими усилиями. Нагрузки на образец создаются инерционными силами, и исследование проводится в режиме определённо-установленных нагрузок.

Эксперименты проводились на образцах, изготовленных из материала марки 09Г2С, внешний вид которых показан на рисунке 2. Образцы были нагружены таким образом, чтобы возникающие в них максимальные нормальные напряжения были заведомо ниже предела прочности материала, но выше предела выносливости. При проведении экспериментов напряжение на образцы уменьшали посредством уменьшения массы груза, фиксируемого на образцах. Часть испытаний

проводились в отсутствии магнитного поля и при воздействии магнитного поля, создаваемого постоянными ферритовыми магнитами. В результате различных условий воздействия на испытываемые образцы фиксировалось число циклов нагружений до разрушения образцов с помощью счетчика оборотов, имеющегося на испытательной машине.

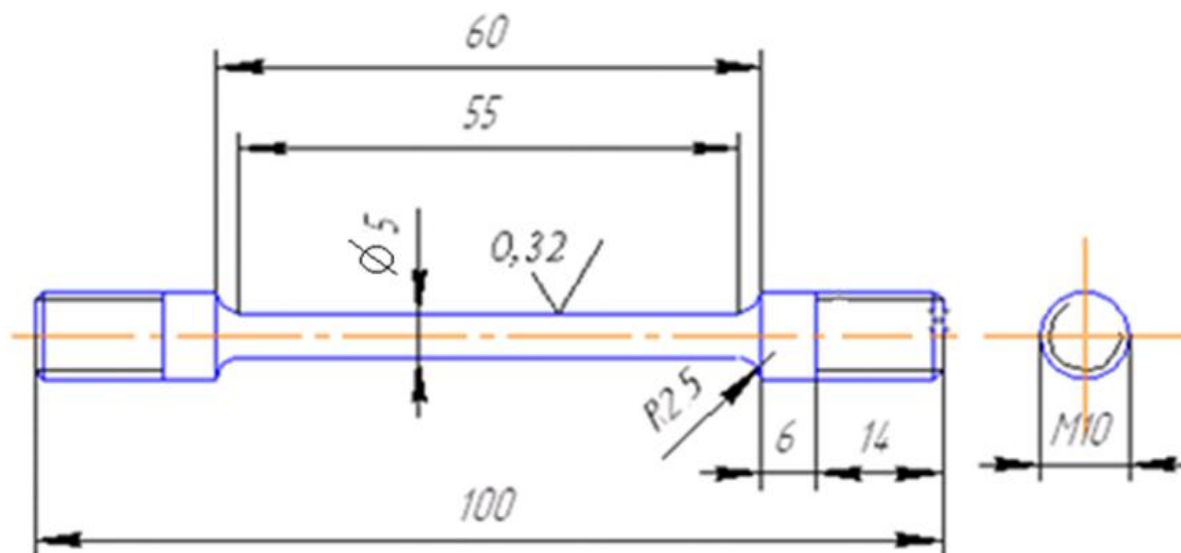


Рисунок 2. Образец для испытаний на усталость при центробежном кручении

Обработка результатов проведенных экспериментов позволила определить количество циклов до усталостного разрушения при различных условиях нагружения образцов. Количество циклов у образцов, подвергавшихся воздействию магнитного поля, меньше, чем у образцов без воздействия магнитного поля до наступления усталостного разрушения. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

На основании экспериментальных значений построена кривая усталости Велера. Проведенные эксперименты подтвердили наличие зависимости амплитуды нормальных напряжений от воздействия магнитного поля.

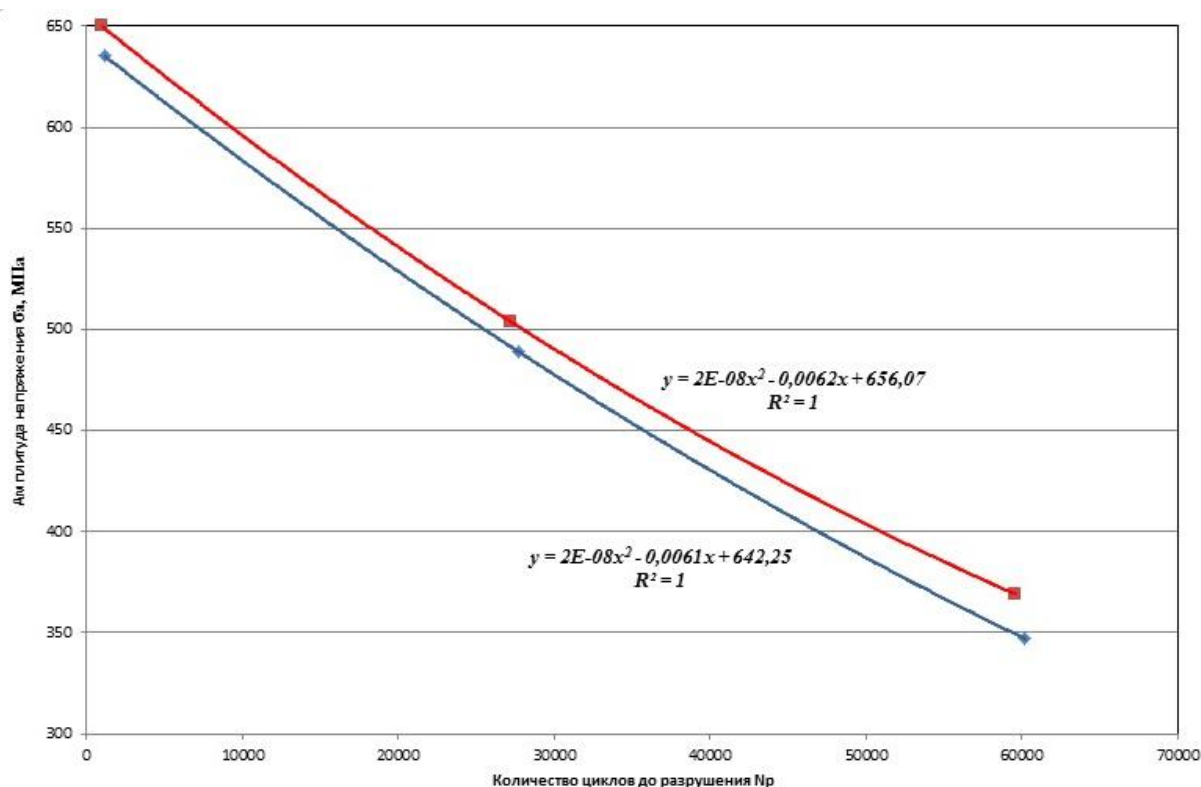
Таблица 1. Распределение количества циклов в зависимости от нагрузки в отсутствии магнитного поля и при воздействии магнитного поля

Масса груза m , кг	Среднее кол-во циклов N_p у образцов без воздействия МП	Среднее кол-во циклов N_p у образцов с воздействием МП	Разница, %
1,95	94080	–	–
3,2	59808	57996	3,02
4,5	27840	26979	2,96
5,3	1952	1888	3,38

Кривая Велера представляет собой типичную кривую усталости для железа и стали. После нескольких миллионов циклов нагружения кривая Велера становится практически горизонтальной. Такой характер кривой указывает на то, что для материала существует асимптотическое значение напряжения σ_a – предел усталости. Предел усталости – такое значение амплитуды напряжения, ниже которого образец или деталь может выдержать бесконечное число циклов без разрушения. Зависимость количества циклов в отсутствии магнитного поля и при воздействии магнитного поля представлена в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2 – Данные для построения кривой усталости в зависимости от количества циклов в отсутствии магнитного поля и при воздействии магнитного поля

Напряжение σ_a	Кол-во циклов N_p	Кол-во циклов N_p
598,6	1952	1888
421,4	27840	26979
361	59808	57996
168,6	94080	–



1 – опыт без магнита (красная линия); 2 – опыт с магнитами (синяя линия)

Рисунок 3. Кривая усталости (Велера)

Окончательное разрушение образца происходит при большей критической длине усталостной трещины и большей циклической вязкости разрушения. Известно, что причиной значительной доли технологических аварий является усталость металлических конструкций. Учет усталости в прочностных расчетах может быть неверным из-за множества причин: дефектов материала, отклонения состава от нормативного, трудностей с расчетом. Приведенные результаты усталостных испытаний на кручение находятся в соответствии со сделанными ранее оценками о влиянии магнитного поля на усталостное разрушение и позволяют ожидать отрицательных изменений со стороны эксплуатационных свойств трубы газопровода после обработки магнитном полем.

Проведение таких работ связано с тем, что не предусмотрен процесс снятия остаточной намагниченности. Учитывая данный факт и результаты эксперимента, можно прийти к тому, что усталостное разрушение наступит раньше. В результате расчета оценки техногенного риска

предлагаю ввести коэффициент, связанный с количеством проведения внутритрубной магнитной дефектоскопии, как фактор, влияющий на усталостные разрушения.

Расчет риска разгерметизации магистрального газопровода (МГ)

Практика эксплуатации газовых сооружений показывает, что при повреждении отдельных элементов системы вытекающий газ может легко воспламениться, после чего начинается его интенсивное горение. Газ загорается, но взрывов при этом не бывает. Объясняется это тем, что взрывоопасен не сам газ, а его смесь с воздухом, так называемая газоздушная смесь, и в строго определенной пропорции. Если в воздухе содержится газа меньше нижнего предела, то смесь не способна ни взрываться, ни гореть.

Для расчёта техногенного риска был выбран магистральный газопровод протяженностью 89,9 км. Прокладка газопроводов – подземная, глубина заложения газопроводов с условным диаметром до 1400 мм.

При выполнении идентификации опасностей рекомендуется использовать метод анализа деревьев, который представлен на рисунке 4.

Исходные события для дерева событий были взяты из СТО Газпрома с добавлением намагничивающего фактора, которые представлены в таблице 3.

Значения:

- для события X:

$$P_x = 1 - (1 - P_y) * (1 - P_F) * (1 - P_S) = 1 - (1 - 0,0738) * (1 - 0,08) * (1 - 0,003) = 0,01562; \quad (1)$$

- для события Y:

$$P_y = 1 - (1 - P_z) * (1 - P_E) = 1 - (1 - 0,0041) * (1 - 0,07) = 0,0738; \quad (2)$$

- для события Z:

$$P_z = P_A * P_B = 0,06 * 0,0688 = 0,0041; \quad (3)$$

- для события В:

$$P_B = 1 - (1 - P_C) * (1 - P_D) = 1 - (1 - 0,04) * (1 - 0,03) = 0,0688. \quad (4)$$

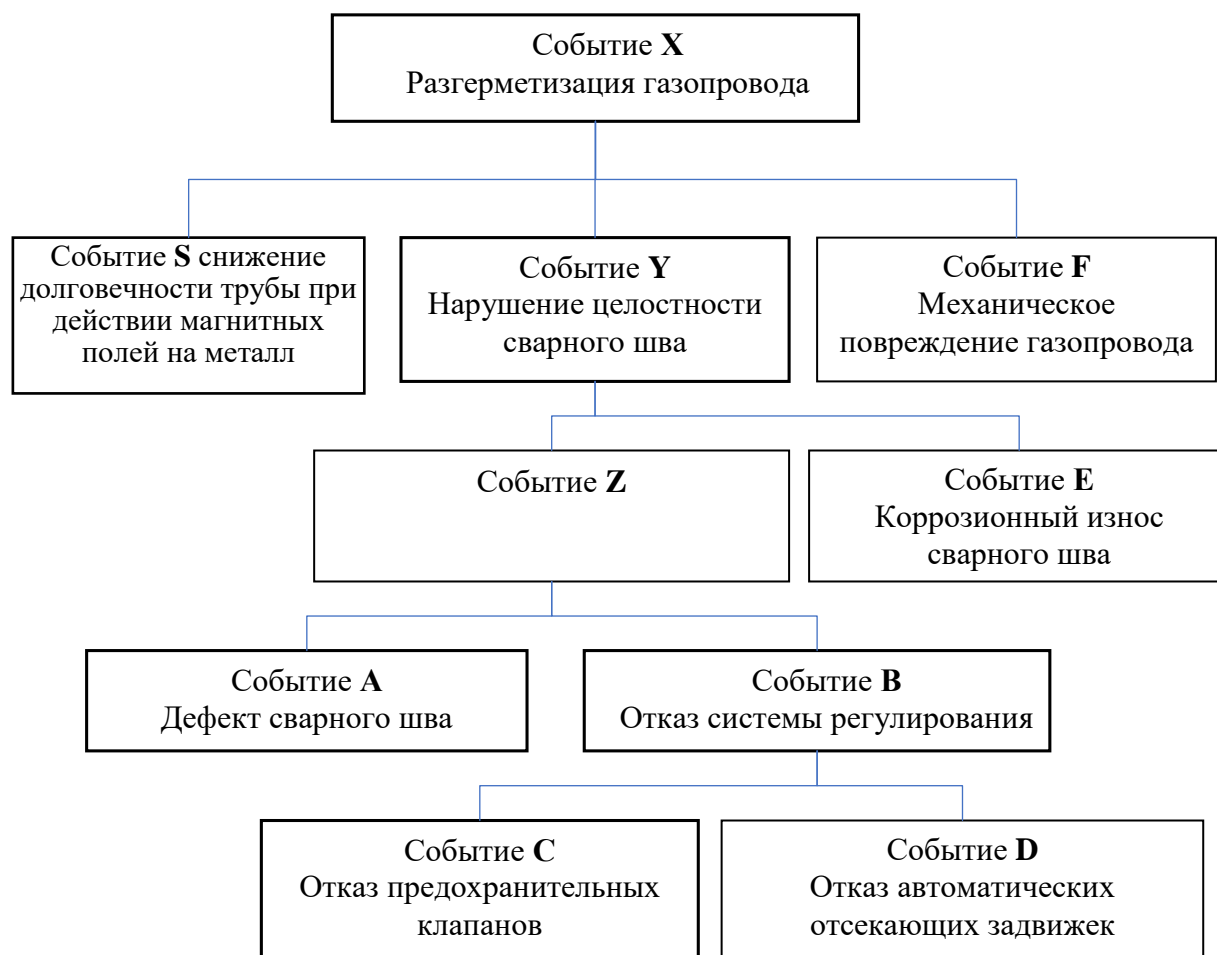


Рисунок 4. Упрощенное дерево событий разгерметизации

Таблица 3. Исходные события «дерева отказов»

Событие или состояние модели	Вероятность события P_i
Отказ предохранительных клапанов C	0,04
Отказ автоматических отсекающих задвижек D	0,03
Дефект сварного шва A	0,06
Коррозионный износ сварного шва газопровода E	0,07
Механическое повреждение газопровода F	0,08
Снижение долговечности металла газопровода в результате намагничивания от прохождения дефектоскопа S	0,003

В соответствии с данными таблицы 3, чрезвычайная ситуация, вызванная разгерметизацией газопровода с дальнейшим воспламенением от источника зажигания, является редким событием.

При дальнейшем анализе набор расчетных сценариев $\{C_{ij}\}$ следует рассматривать на каждом потенциально опасном участке (ПОУ) трассы магистрального газопровода, считая указанный набор полной группой

несовместных событий при возникновении разрыва газопровода в каждой рассматриваемой точке ПОУ.

При этом следует иметь в виду, что при выполнении основного, завершающего этапа количественного анализа риска (КолАР), связанного с расчетом потенциального индивидуального, коллективного, социального рисков и ожидаемого годового ущерба, рекомендуется учитывать поражающие эффекты только от сценариев групп C_1 и C_2 , которые представлены в таблице 4. Поскольку зоны термического воздействия от пожара на магистральном газопроводе по своим масштабам значительно превосходят зоны осколочного, барического и асфиксионного воздействий [12].

Таблица 4. Рекомендуемый минимальный набор расчетных сценариев

Группа сценариев	Краткая характеристика расчетного сценария в точке разрыва МГ
C ₁ «Пожар в котловане»	C ₁₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 0 м/с → Вертикальный горящий «цилиндр» с $L_{ф}/D_{эф} = 2$
	C ₁₂ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 10 м/с, направление ветра – перпендикулярно направлению оси МГ, вправо по ходу газа → Наклонный «правый» горящий «цилиндр» с $L_{ф}/D_{эф} = 2$
	C ₁₃ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 10 м/с, направление ветра – перпендикулярно направлению оси МГ, влево по ходу газа → Наклонный «левый» горящий «цилиндр» с $L_{ф}/D_{эф} = 2$
C ₂ «Струевые пламена»	C ₂₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин. Имеют место 2 настильные высокоскоростные свободные струи горящего газа, направленные в противоположных направлениях вдоль оси МГ с общей условной точкой истечения
C ₃ «Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа»	C ₃₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин, скорость ветра 15 м/с, класс устойчивости – D → Рассеивающийся шлейф газа
C ₄ «Рассеивание двух струй газа»	C ₄₁ : После разрыва МГ краны на границах аварийной секции не закрываются, ГПА не отключаются в течение $T_{откл} > 2$ мин. Имеют место 2 настильные струи газа, направленные в противоположных направлениях вдоль оси МГ с общей условной точкой истечения с дальнейшим рассеиванием в атмосферу

Для дальнейшего расчета необходимы вероятностные характеристики аварий на магистральных газопроводах, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5. Вероятностные характеристики аварий на МГ

Ду, мм	Условная вероятность $P(B A)$ загорания газа	Условная вероятность $P(\bar{B} A)$ незагорания газа	Условные вероятности реализации групп C_1, C_2, C_3, C_4 сценариев аварий			
			C_1 – «Пожар в котло-ване» («Пожар колонного типа») $P(C_1 AB)$	C_2 – «Струевые пламена» $P(C_2 AB)$	C_3 – «Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа» $P(C_3 A\bar{B})$	C_4 – «Рассеивание 2-х струй газа» $P(C_4 A\bar{B})$
1	2	3	4	5	6	7
1400	0,72	0,28	0,2	0,8	0,2	0,8

При определении условных вероятностей построено дерево событий. На рисунке 5 показано упрощенное дерево событий с нанесенными значениями условных вероятностей промежуточных событий.

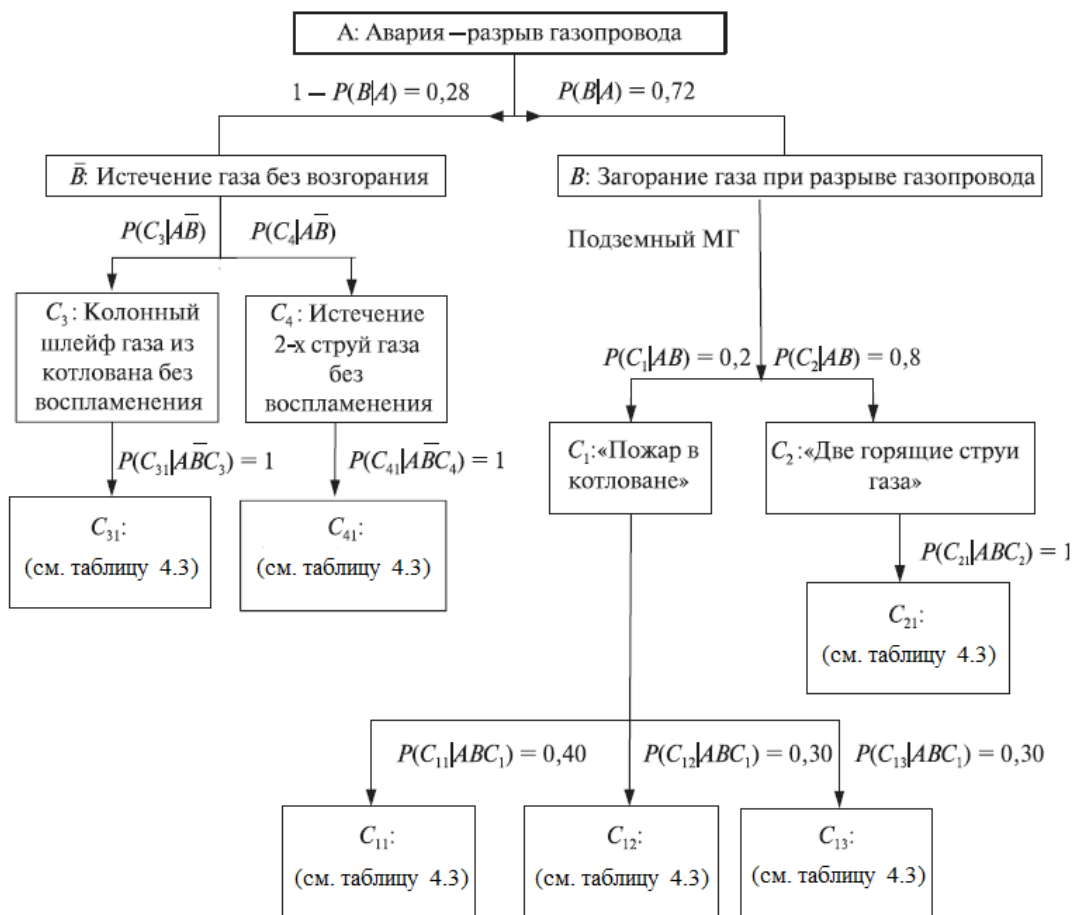


Рисунок 5. Упрощенное дерево событий для МГ

События, относящиеся к каждому узлу ветвления дерева, образуют полную группу событий с суммой условных вероятностей, равной 1.

$$P'(B/A) = k \cdot P(B/A),$$

$$P'(B/A) = 1 - k \cdot P(B/A),$$

где $k_{заг} = 1,3$ – для грунтов с каменистыми включениями;

$$k_{заг} = 1,2$$
 – для глин;

$$k_{заг} = 1,0$$
 – для суглинков;

$$k_{заг} = 0,7$$
 – для торфяников, льдистых структур, песков.

В таблице 4 (в графах 4, 5, 6, 7) также приведены полученные экспертным путем рекомендуемые базовые значения условных вероятностей реализации групп сценариев C_1, C_2, C_3, C_4 для МГ. Указанные базовые значения корректируются с помощью коэффициента $k_{гр}$, зависящего от имеющей место на данном ПОУ степени связности или несущей способности грунта, и определяются по формулам

$$P^*(C_1|AB) = k_{гр} \cdot P(C_1|AB) = 1,2 \cdot 0,72 = 0,864; \quad (5)$$

$$P^*(C_2|AB) = 1 - k_{гр} \cdot P(C_1|AB) = 1 - 1,2 \cdot 0,72 = 0,136; \quad (6)$$

$$P^*(C_3|AB) = k_{гр} \cdot P(C_3|AB) = 1,3 \cdot 0,2 = 0,26; \quad (7)$$

$$P^*(C_4|AB) = 1 - k_{гр} \cdot P(C_3|AB) = 1,3 \cdot 0,8 = 1,04, \quad (8)$$

где $k_{гр} = 1,3$ – для грунтов с высокой связностью (глины, скальные грунты).

Если при домножении на $k_{гр}$ значение $P(C_1|AB)$ или $P(C_3|AB)$ превышает 1, то оно принимается равным 1.

Расчет условной вероятности реализации сценария C_{12} :

$$P(C_{12}|A) = P(B/A) \cdot P(C_1|AB) \cdot P(C_{12}|ABC_1) = 0,72 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 0,0432. \quad (9)$$

Расчет условной вероятности реализации сценария C_{11} :

$$P(C_{11}|A) = P(B/A) \cdot P(C_1|AB) \cdot P(C_{11}|ABC_1) = 0,72 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 0,0576. \quad (10)$$

Расчет условной вероятности реализации сценария C_{13} :

$$P(C_{13}|A) = P(B/A) \cdot P(C_1|AB) \cdot P(C_{13}|ABC_1) = 0,72 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 0,0432. \quad (11)$$

Расчет условной вероятности реализации сценария C_{31} :

$$P(C_{31}|A) = 1 - P(B/A) \cdot P(C_3|AB) \cdot P(C_{31}|ABC_3) = 0,28 \cdot 0,2 \cdot 1 = 0,056. \quad (12)$$

Расчета условной вероятности реализации сценария C_{41} :

$$P(C_{41} | A) = 1 - P(B | A) \cdot P(C_4 | \underline{AB}) \cdot P(C_{41} | \underline{ABC}_4) = 0,28 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,224. \quad (13)$$

Вывод

Участки газопроводов при проведении ремонтно-восстановительных работ (РВР) подлежат размагничиванию в случаях наличия остаточного магнетизма в металле труб после проведения диагностики газопроводов с применением внутритрубных передвижных магнитных дефектоскопов, применения магнитопорошковой дефектоскопии сварных соединений. Исследование показало, что остаточное магнитное поле на трубе газопровода играет отрицательную роль, а именно скорость возникновения усталостного разрушения увеличивается, которая, в свою очередь, может привести к разрыву газопровода. Магнитный эффект при расчетах газопроводов на риски возникновения чрезвычайных ситуаций нигде не учитывается, исходя из этого предлагается учитывать данный фактор. Расчеты выполнялись, опираясь на СТО Газпром 2-2.3-351-2009, дерево отказов и дерево событий также были взяты из данного СТО, но с добавлением фактора магнетизма.

Список используемых источников

1. ОАО «Газпром» ВРД 39-1.2-054-2002. Инструкция по техническому расследованию и учету аварий и инцидентов на опасных производственных объектах ОАО «Газпром», подконтрольных Госгортехнадзору России.
2. Воробьев С.Н., Балдин К.В. Управление рисками в предпринимательстве. М.: Дашков и Ко, 2005. 772 с.
3. Sutherland J., Clouston S. Advances in Magnetic Flux Leakage Measurement and inspection for Metal Loss in Pipelines // 3rd International Conference on Pipe Rehabilitation and Maintenance, Abu Dhabi, UAE, 1999.

4. Gwan Soo Park, Eun Sik Park. Improvement of the Sensor System in Magnetic Flux Leakage-Type Nondestructive Testing (NDT) // IEEE Transactions on Magnetics. 2002. Vol. 38, No. 2. P. 1277-1280.

5. Slesarev D.A., Abakumov A.A. Data Processing and Representation in the MFL Method for Nondestructive Testing // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2013. Vol. 49, No. 9. P. 493-498.

6. Зенин Е.И. Намагничивающая система внутритрубного дефектоскопа с поперечным намагничиванием // Дефектоскопия. 2005. № 8. С. 43-56.

7. Сафонов В.С. Организационно-технические и методические вопросы управления промышленной безопасностью предприятий ОАО «Газпром» // Промышленная безопасность: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. 70 с.

8. Овчаров С.В., Нефедов С.В., Ковалев С.А. Анализ техногенного риска в задачах Системы управления техническим состоянием и целостностью линейной части магистральных газопроводов // Газотранспортные системы: настоящее и будущее: сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. (GTS-2011). М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2012. С. 437-448.

9. Абдуллин И.Г., Худяков М.А., Гареев А.Г. Методика по выбору параметров труб и поверочного расчета линейной части магистральных газопроводов на малоцикловую прочность: РД 39-0147103-361-86. Уфа: ВНИИСПТНефть, 2007. 29 с.

10. ОАО «Газпром» ВРД 39-1.2-054-2002. Инструкция по техническому расследованию и учету аварий и инцидентов на опасных производственных объектах ОАО «Газпром», подконтрольных Госгортехнадзору России.

11. Пат. 2503944 РФ, МПК G 01 N 3/32. Установка для испытаний образцов на усталость при кручении / Лодус Е.В., Роголёв В.А., Горшков Л.К. Заявлено 31.01.2012, Опубл. 10.01.2014. Бюл. 13.

12. СТО Газпром 2-2.3-400-2009. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром» // ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ». 2009. 307 с.

References

1. ОАО «Gazprom» VRD 39-1.2-054-2002. *Instruktsiya po tekhnicheskomu rassledovaniyu i uchet uavarii i intsidentov na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh* [OAO «Gazprom» VRD 39-1.2-054-2002. Instruction on Technical Investigation and Accounting of Accidents and Incidents at Hazardous Production Facilities]. [in Russian].
2. Vorob'ev S.N., Baldin K.V. *Upravlenie riskami v predprinimatel'stve* [Enterprise Risk Management]. Moscow, Dashkov & Co, 2005. 772 p. [in Russian].
3. Sutherland J., Clouston S. Advances in Magnetic Flux Leakage Measurement and Inspection for Metal Loss in Pipelines. *3rd International Conference on Pipe Rehabilitation and Maintenance*. Abu Dhabi, UAE, 1999.
4. Gwan Soo Park, Eun Sik Park. Improvement of the Sensor System in Magnetic Flux Leakage-Type Nondestructive Testing (NDT). *IEEE Transactions on Magnetics*, 2002, Vol. 38, No. 2, p. 1277-1280.
5. Slesarev D.A., Abakumov A.A. Data Processing and Representation in the MFL Method for Nondestructive Testing. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2013, Vol. 49, No. 9, p. 493-498.
6. Zenin E.I. Namagnichivayushchaya sistema vnutritrubnogo defektoskopa s poperechnym namagnichivaniem [Magnetizing System of In-Line Flaw Detector with Transverse Magnetization]. *Defektoskopiya – Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2005, No. 8, pp. 43-56. [in Russian].

7. Safonov V.S. Organizatsionno tekhnicheskiei metodicheskie voprosy upravleniya promyshlennoi bezopasnost'yu predpriyatii OAO «Gazprom» [Organizational, technical and methodological issues of industrial safety management at Gazprom enterprises]. *Mezhdunarodnayanaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Promyshlennaya bezopasnost'»* [International Scientific and Practical Conference «Industrial Safety»]. Moscow, GUP «Nauchno-tekhnicheskii tsentr po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii» – GUP «Scientific and technical center for industrial safety Gosgortekhnadzor Russia», 2003, 70 p. [in Russian].

8. Ovcharov S.V., Nefedov S.V., Kovalev S.A. Analiz tekhnogenogo riska v zadachakh sistemy upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem i tselostnost'yu lineinoi chaste magistral'nykh gazoprovodov [Analysis of Technogenic Risk in the Problems of the Control System of Technical Condition and Integrity of the Linear Part of the Main Gas Pipelines]. *Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Gazotransportnyye sistemy: nastoyashcheye i budushcheye»* [Materials of the IV International Scientific-Technical Conference « Gas Transportation Systems: Present and Future»]. Moscow, Gazprom VNIIGAZ, 2012, pp. 437-448. [in Russian].

9. Abdullin I.G., Khudyakov M.A., Gareev A.G. *Metodika po vyboru parametrov trub i poverochnogo rascheta lineinoi chasti magistral'nykh gazoprovodov na malotsiklovuyu prochnost': RD 39-0147103-361-86* [Method for Selection of Pipe Parameters and Verification Calculation of the Linear Part of Main Gas Pipelines for Low-Cycle Strength: RD 39-0147103-361-86]. Ufa, VNIISPTNeft', 2007. 29 p. [in Russian].

10. OAO «Gazprom» VRD 39-1.2-054-2002. *Instruktsiya po tekhnicheskomu rassledovaniyu i uchetu avarii i intsidentov na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh OAO «Gazprom»* [OAO «Gazprom» VRD 39-1.2-054-2002. Instruction on Technical Investigation and Accounting of Accidents and Incidents at Hazardous Production Facilities of JSC Gazprom». [in Russian].

11. Lodus E.V., Rogalev V.A., Gorshkov L.K. Zayavleno. *Ustanovka dlya ispytaniy obraztsov na ustalost' pri kruchenii* [Installation for Testing Samples for Torsional Fatigue]. Patent RF, No. 2503944, 2014. [in Russian].

12. *STO Gazprom 2-2.3-400-2009. Metodika analiza riska dlya opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov gazodobyvayushchikh predpriyatii OAO «Gazprom»* [The Method of Analysis of Risk for Hazardous Industrial Objects of Gas Enterprises of JSC «Gazprom»]. ООО «Nauchno-issledovatel'ski i institute prirodnykh gazov i gazovykhtekhnologii. Gazprom VNIIGAZ», 2009. 307 p. [in Russian].

Сведения об авторе

About the author

Ильясова Айгуль Ириковна, ассистент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aigul I. Ilyasova, Assistant of Industrial safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: bikbulatova@inbox.ru