

УДК 622.692.4

Р.Р. Багманов (ООО «МКО», г. Казань, Российская Федерация),
С.А. Сильвестров (ООО «Астрапроект», г. Казань, Российская Федерация),
А.К. Гумеров (ООО «Институт проблем транспорта энергоресурсов», г. Уфа, Российская Федерация)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ НА ОГРАНИЧЕННОМ УЧАСТКЕ

R.R. Bagmanov (MCO OOO, Kazan, Russian Federation),
S.A. Silyvestrov (Astraproekt OOO, Kazan, Russian Federation),
A.K. Gumerov (Institute of Energy Resources Transportation OOO, Ufa, Russian Federation)

PREDICTION OF PIPELINE CORROSION WEAR BASED ON INSPECTION IN A LIMITED AREA

Введение

Подземные трубопроводы подвергаются коррозии на внутренней и наружной поверхностях. Причиной коррозии на наружной поверхности является контакт с грунтовыми водами при износе изоляционного покрытия, на внутренней поверхности - взаимодействие с продуктом перекачки, содержащим агрессивные примеси и воду. Распределение и рост коррозионных дефектов подчиняются законам случайных чисел, которые могут быть выявлены только путём обработки результатов обследований. Однако обследования во многих случаях (например на промышленных трубопроводах) могут быть проведены только на ограниченных участках, например в шурфах. В данной работе приводится методика обработки результатов обследования, позволяющая по заданным критериям надёжности прогнозировать дальнейшее развитие дефектов и оценить остаточный срок эксплуатации трубопровода.

Цели и задачи

Разработать несложную методику вероятностной оценки остаточного ресурса трубопровода по заданным критериям с использованием результатов обследования на ограниченном участке.

Методы

В данной статье использованы методы, основанные на положениях теории вероятности и математической статистики.

Результаты

Предложен алгоритм оценки остаточного ресурса трубопровода по результатам обследования на ограниченном участке. Алгоритм использует вероятностный подход к анализу остаточного ресурса и позволяет связать остаточный ресурс с основными критериями надёжности.

Background

Corrosion of underground pipelines occurs both on the internal and external pipe surfaces. The external corrosion is caused by the contact with groundwater when the isolating coating is worn out; the cause of internal corrosion is the interaction with the pumped medium that contains corrosive impurities and water. Distribution and growth of corrosion defects are governed by the laws of random numbers, which can be identified only by processing results of inspections. However, in many cases inspections (for example, of field pipelines) are possible only in limited areas like test pits. The paper presents methods of processing results of inspections that allow prediction of defect development and assessment of remained service life of a pipeline, based on specified safety criteria.

Aims and Objectives

To develop a simple method of probabilistic assessment of remaining safe life of a pipeline using specified criteria and results of inspection in a limited area.

Methods

Methods based on the propositions of the theory of probability and mathematical statistics are used in the paper.

Results

An algorithm is offered for the pipeline remaining life assessment by the results of inspection in a limited area. The algorithm uses a probabilistic approach to the analysis of remaining life and allows correlation between the basic safety criteria and remaining safe life.

Ключевые слова: подземный трубопровод, коррозионные дефекты, случайные величины, функции распределения, прогноз, остаточный ресурс

Key words: underground pipeline, corrosion defects, random variables, distribution functions, prediction, remaining life

Подземные трубопроводы подвергаются коррозии на внутренней и наружной поверхностях. Причиной коррозии на наружной поверхности является контакт с грунтовыми водами при износе изоляционного покрытия, на внутренней поверхности - взаимодействие с продуктом перекачки, содержащим агрессивные примеси и воду. Распределение и рост коррозионных дефектов подчиняются законам случайных чисел, которые могут быть выявлены только путём обработки результатов обследований [1, 2, 3, 4].

Прогнозирование работоспособности трубопровода предполагает оценку его технического состояния с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени. Она непосредственно связана с оценкой прочности и остаточного ресурса с учетом развития коррозионных и других видов дефектов, изменений свойств металла и режимов эксплуатации [5, 6]. Поскольку трубопроводы являются ремонтпригодными техническими объектами, их срок службы можно продлевать практически бесконечно. Для этого дефектные и изношенные участки, ограничивающие безопасность, можно ремонтировать или заменять. При увеличении объема ремонтных работ вопрос об остаточном ресурсе решается на базе оценки целесообразности поддержания рабочего состояния трубопровода.

Работоспособность и безопасность трубопроводов могут ограничиваться как состоянием труб и их соединений, так и состоянием изоляционного покрытия. Если трубопровод имеет внутреннее защитное покрытие, то следует учитывать и его эрозийный износ. В данной работе рассмотрим остаточный ресурс трубопровода, связанный с трубами и их сварными соединениями.

При оценке остаточного ресурса рекомендуется проанализировать все возможные механизмы потери работоспособности, в том числе следующие:

- 1) появление и рост коррозионных дефектов в виде общей или язвенной коррозии до потери герметичности;
- 2) рост трещин по усталостному или малоцикловому механизмам до потери герметичности или разрушения;
- 3) растрескивание металла под напряжением по механизмам водородной или межкристаллитной коррозии;
- 4) разрушения из-за ошибочных действий персонала, сторонних организаций или частных лиц.

Первые два механизма разрушения поддаются расчётной оценке с той или иной степенью достоверности. Оценка остальных механизмов развития разрушения затруднена либо из-за отсутствия необходимой исходной информации, либо в принципе невозможна.

В качестве примера рассмотрим первый случай - разрушение за счет коррозии с потерей металла. При этом существуют два подхода к оценке остаточного ресурса трубопровода: детерминированный и вероятностный.

При *детерминированном* подходе остаточный ресурс трубопровода оценивают по наибольшей глубине обнаруженного коррозионного дефекта с использованием следующих формул:

$$T_{\text{ост(М)}} = \frac{\delta_{\text{ост}} - \delta_{\text{бр}}}{\eta_{\text{кор}} \cdot v_{\text{кор}}}; \quad v_{\text{кор}} = \frac{h_{\text{деф}}}{T}, \quad (1)$$

где T - срок эксплуатации трубопровода с момента пуска в эксплуатацию до настоящего времени;

$h_{\text{деф}}$ - наибольшая глубина обнаруженного коррозионного дефекта;

$\delta_{\text{ост}}$ - наименьшая остаточная толщина стенки на дефектах;

$\delta_{\text{бр}}$ - минимально допустимая (отбраковочная) толщина стенки труб;

$v_{\text{кор}}$ - наибольшая скорость коррозии;

$\eta_{\text{кор}}$ - запас по остаточному ресурсу, принимается в пределах 1,2...1,5 в зависимости от полноты диагностической информации и требуемого уровня безопасности [5, 6].

Такая оценка не учитывает возможность существования коррозионных язв, которые не попали в зону шурфового обследования. Этот недостаток в некоторой степени компенсируется введением коэффициента запаса $\eta_{\text{кор}}$.

При *вероятностной оценке* остаточного ресурса трубопровода учитывается весь массив коррозионных дефектов, многие из которых могут оставаться вне поля зрения, и поэтому невозможно точно определить момент появления критического дефекта, например свища. Часть массива дефектов, выявленная при обследовании ограниченного участка трубопровода, даёт представление об общих статистических закономерностях распределения дефектов во всем трубопроводе, поэтому при правильной статистической обработке полученных данных можно ошибку прогноза свести к минимуму. Тем более, что само определение безопасности также несёт в себе понятие вероятности (безопасность - произведение вероятности отказа на размер ущерба при отказе).

Прогноз может быть сформулирован так: «с вероятностью P предельное состояние данного трубопровода наступит через время T ».

Теория вероятности и математическая статистика [7, 8, 9] оперируют функцией распределения случайных чисел $F(x)$ и плотностью вероятности случайных чисел $f(x)$, которые описывают закономерности распределения случайных чисел по параметру x .

Функция распределения $F(x)$ характеризует вероятность того, что случайное число h (глубина случайно выбранного коррозионного дефекта) меньше заданного значения x : $F(x) = P(h < x)$.

Плотностью вероятности случайной величины называют первую производную от функции распределения:

$$f(x) = F'(x); \quad F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx. \quad (2)$$

Вероятность того, что случайное число h находится в диапазоне $a < h < b$, определяется через эти функции следующим образом:

$$P(a < h < b) = F(b) - F(a) = \int_a^b f(x) dx. \quad (3)$$

Если диапазон $\Delta h = b - a$ мал, то можно принять

$$P(a < h < b) \approx \Delta h \cdot f(h). \quad (4)$$

Для описания коррозионных дефектов могут быть использованы функции распределения разных видов, но в наибольшей степени подходит модифицированная функция Вейбула

$$f(x) = a \cdot x^d \cdot \exp\left\{-b \cdot (x - c)^2\right\}. \quad (5)$$

Нами разработаны алгоритм и расчётная программа, позволяющие определить параметры a, b, c, d , функцию $f(x)$ и построить прогноз остаточного ресурса по результатам измерений коррозионных дефектов на трубопроводе.

Алгоритм состоит из следующих этапов:

- 1) Ввести исходные данные:
 - протяженность трубопровода L , диаметр труб D , толщину стенки δ ;
 - срок эксплуатации трубопровода на момент обследования T ;
 - длину обследованных участков данного трубопровода ℓ (например суммарная длина обследованных шурфов);
 - результаты измерений глубины коррозионных дефектов h_i ; количество измерений N должно быть достаточно большим;
- 2) Расположить числа h_i в порядке возрастания;
- 3) Разбить толщину стенки δ на диапазоны Δh_k для составления гистограммы; количество диапазонов должно быть достаточным, а, именно, $m = N / \Delta h \geq 10$;
- 4) Определить число попаданий случайных точек h_i в выбранные диапазоны Δh_k (определить числа n_k);
- 5) Описать распределение чисел n_k аналитической функцией (5); для этого необходимо определить значения параметров a, b, c, d , наилучшим образом соответствующие набору чисел n_k ; подбираются методом минимизации суммарных отклонений S

$$S = \sum_{k=1}^K [\eta(h_k) - n_k]^2 = \min; \quad (6)$$

- 6) Выбрать критерии отбраковки трубопровода:
 - минимальную допустимую остаточную толщину стенки или максимальную допустимую глубину дефекта h^* ;
 - допустимую вероятность появления опасного дефекта на трубопроводе P^* ;
- 7) Составить прогноз (оценить остаточный ресурс) с учетом роста коррозионных дефектов при дальнейшей эксплуатации трубопровода.

Этапы 1 - 4 не вызывают проблем.

Например, по результатам обследования контрольных участков суммарной длиной $\ell = 80$ м получены следующие результаты (таблица 1).

Таблица 1 - Глубина коррозионных дефектов h_i , обнаруженных при обследовании контрольного участка трубопровода (мм; количество дефектов $N = 431$)

0,50	0,57	0,28	0,03	0,60	0,60	1,29	0,018	0,48
0,76	0,74	0,28	0,03	0,65	0,62	1,15	0,04	0,49
0,66	0,63	0,69	0,39	0,60	0,44	0,32	0,13	1,61
0,63	0,43	0,83	0,54	0,55	0,82	1,18	0,16	0,20
0,75	0,60	0,94	0,42	0,56	0,70	1,34	0,023	0,25
0,65	0,35	1,02	0,15	0,28	1,16	0,88	0,27	0,23
1,02	0,56	0,95	0,24	0,29	1,11	0,73	0,44	0,73
0,93	0,56	1,35	0,14	0,36	0,25	0,53	0,42	0,55
0,62	0,65	1,01	0,58	0,47	0,19	0,35	0,94	0,56
0,67	0,73	1,08	0,52	0,42	0,94	0,48	1,03	0,87
1,25	0,75	0,76	0,57	0,52	0,90	0,49	0,69	0,42
1,27	0,58	1,19	0,12	0,26	0,36	0,64	0,62	0,43
1,00	1,00	0,79	0,13	0,28	0,39	0,29	0,65	0,18
0,86	0,86	0,61	0,12	0,47	0,55	0,52	0,51	0,13
1,23	0,59	0,62	0,003	0,23	0,65	0,66	0,24	0,28
1,11	0,61	0,54	0,004	0,20	0,46	0,63	0,26	0,13
1,36	0,76	0,10	0,003	0,25	0,55	0,74	0,21	0,29
1,42	0,75	0,33	0,45	1,07	0,13	0,49	0,23	0,08
2,54	0,81	0,21	0,62	0,83	0,34	0,77	0,27	0,20
2,45	0,77	0,88	0,55	0,98	0,21	0,64	0,26	0,25
1,04	0,86	0,56	0,48	0,39	0,32	0,60	0,24	3,50
1,50	0,97	0,70	0,48	0,41	0,34	0,73	0,26	1,40
1,03	0,93	0,13	0,47	0,47	0,32	0,79	1,51	0,90
1,15	1,08	0,15	0,003	0,77	0,38	0,62	2,98	0,55
0,84	1,37	0,16	0,004	0,74	0,31	1,30	1,92	0,49
0,86	1,37	0,37	0,003	0,45	0,29	0,64	0,77	0,47
0,89	0,84	0,14	0,69	0,44	0,18	0,68	0,75	0,85
0,90	0,76	0,18	0,57	0,006	0,14	0,90	0,68	0,99
0,78	1,12	0,19	0,27	0,006	0,09	0,88	0,34	0,96
0,59	0,86	0,97	0,27	0,003	0,10	0,29	0,34	0,93
0,74	0,69	1,05	0,20	0,52	0,12	0,42	0,32	0,93
0,26	0,89	0,97	0,51	0,44	0,13	0,22	0,32	0,83
0,28	0,95	0,33	0,67	0,50	0,07	0,59	0,36	0,79
0,26	1,11	0,34	0,51	0,23	0,08	0,56	0,33	0,71
0,18	0,52	0,45	0,31	0,31	0,36	0,40	0,34	0,86
0,14	0,55	0,39	0,46	0,34	0,29	0,53	0,33	0,83
0,27	0,68	0,40	0,40	0,57	0,35	0,47	0,49	0,73
0,27	0,79	0,37	0,39	0,57	1,19	0,49	0,62	0,73
0,43	0,41	0,39	0,61	0,49	0,31	0,65	1,25	0,77
0,43	0,45	0,39	0,52	1,27	0,85	0,018	0,86	0,81
0,86	0,45	0,53	1,01	1,37	0,35	0,031	0,20	0,53
1,78	0,22	0,22	0,72	0,60	0,41	0,196	0,34	0,59
1,42	0,22	0,23	0,74	0,51	0,36	0,042	0,22	0,56
0,70	0,21	0,22	0,60	0,53	1,08	0,39	0,19	0,54
1,42	0,73	0,11	0,58	0,82	0,94	0,046	0,12	0,54
0,58	0,71	0,12	0,58	0,59	0,57	0,42	0,17	0,53
0,62	0,73	0,16	0,63	0,60	0,42	0,39	0,11	0,58
1,11	0,28	0,02	0,82	0,39	0,53	0,53	0,22	

После этапа 4 получаем распределение дефектов по диапазонам, которое показано в 3-м столбце таблицы 2. Номинальная толщина стенки $\delta = 7$ мм разбита на диапазоны $\Delta h_k = 0,2$ мм; h_k - середина диапазона Δh_k .

Таблица 2 - Распределение дефектов по размерам (глубине)

№ диапазона	h_k , мм	n_k	$f_N(h_k)$ по формуле (5)	$p_\ell(h)$
1	2	3	4	5
1	0,1	57	55,862	0,957
2	0,3	96	100,195	0,757
3	0,5	108	100,660	0,510
4	0,7	72	76,976	0,296
5	0,9	47	47,873	0,148
6	1,1	25	24,841	0,0646
7	1,3	14	10,891	0,02437
8	1,5	5	4,064	0,007972
9	1,7	2	1,296	0,002262
10	1,9	1	0,355	0,000556
11	2,1	0	0,0833	0,000118
12	2,3	0	0,0168	0,0000213
13	2,5	2	0,00293	0,0000028
14	2,7	0	0,000441	0
15	2,9	1	0,0000571	0
16	3,1	0	0,00000638	0
17	3,3	0	0,000000617	0
18	3,5	1	0,000000051	0
19	3,7	0	0,000000004	0
20	3,9 и более	0	0	0

Здесь индекс N функции $f_N(x)$ означает, что данная функция описывает распределение N случайных точек. После этапа 5 получаем аппроксимирующую аналитическую функцию

$$f_N(x) = 336,773 \cdot x^{0,7419} \cdot \exp\left\{-1,794 \cdot (x + 0,1217)^2\right\}. \quad (7)$$

Значения данной функции в точках $x = h_k$ приведены в 4-м столбце таблицы 2. На рисунке 1 показано сопоставление экспериментальных и расчётных распределений дефектов по глубине h .

Функция $f_N(x)$ зависит от общего количества измеренных дефектов N, которое может быть разным в разных случаях. Чтобы ликвидировать эту неоднозначность, необходимо функцию нормировать, используя выражение (3),

$$P(0 < h < \infty) = \int_0^{\infty} f(x) dx = 1. \quad (8)$$

Смысл выражения (8) в следующем: вероятность того, что глубина коррозионного дефекта находится в диапазоне $(0; \infty)$, равна единице.

После нормировки функции $f_N(x)$ получаем следующую функцию, которая имеет смысл плотности вероятности по (2):

$$f(x) = 4,031 \cdot x^{0,7419} \cdot \exp\{-1,794 \cdot (x + 0,1217)^2\}. \quad (9)$$

Если в формуле (3) принять $a = h$ и $b = \infty$, то получим вероятность того, что на обследованном участке длиной ℓ есть дефекты глубиной больше h .

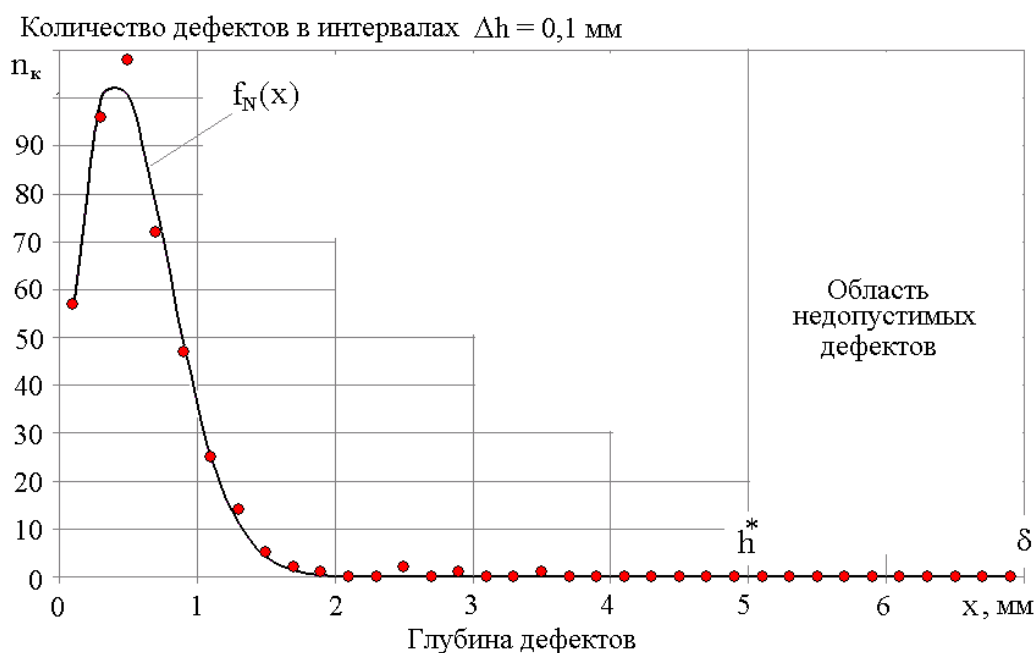


Рисунок 1 - Распределение коррозионных дефектов по глубине (точки - по результатам измерений; линия - по формуле (7))

$$p_\ell = \int_h^\infty f(x) dx. \quad (10)$$

В 5-м столбце таблицы 2 приведены значения $p_\ell(h)$ для данного примера.

Выберем в качестве критерия опасности такое состояние, когда на данном трубопроводе длиной L (допустим, $L = 2$ км) появится с вероятностью P_L^* хотя бы один дефект с остаточной толщиной стенки более 2 мм (максимальная допустимая глубина дефекта $h^* = 5$ мм). Допустим, по условиям безопасности принято $P_L^* = 0,3$. Требуется определить, через какое время наступит такое опасное состояние, если к моменту настоящих обследований срок эксплуатации трубопровода составил $T = 8$ лет. Задачу решим, исходя из следующих положений:

1) Трубопровод однороден, то есть функции распределения дефектов на всех участках одинаковы;

2) Вероятность того, что на обследованном участке длиной ℓ имеется хотя бы один недопустимый дефект; обозначим p_ℓ . Тогда вероятность того, что на данном участке не будет ни одного недопустимого дефекта, равна $(1 - p_\ell)$;

3) На трубопроводе длиной L находится m участков длиной по ℓ (в данном примере $m = L/\ell = 2000/80 = 25$). Поскольку развитие дефектов на всех m участках происходит независимо друг от друга (события независимые), то вероятность того, что на трубопроводе длиной L не будет ни одного недопустимого дефекта, определяется как произведение m одинаковых множителей, то есть $(1 - p_\ell)^m$. Если трубопровод полностью обследован, то $\ell = L$; $m = 1$;

4) Вероятность того, что на трубопроводе длиной L появится хотя бы один недопустимый дефект, будет равна

$$P_L = 1 - (1 - p_\ell)^m ; \quad (11)$$

5) По условиям задачи, в критический срок эксплуатации T^* вероятность P_L должна достигнуть заданной предельной величины P_L^* (в данном примере приняли $P_L^* = 0,1$). При этом вероятность p_ℓ достигнет также предельного значения p_ℓ^* , которое связано с P_L^* следующим образом:

$$p_\ell^* = 1 - \sqrt[m]{1 - P_L^*} . \quad (12)$$

В данном примере

$$p_\ell^* = 1 - \sqrt[25]{1 - P_L^*} = 1 - \sqrt[25]{1 - 0,1} = 1 - \sqrt[25]{0,9} = 1 - 0,9958 = 0,0042 ;$$

6) Следующий этап состоит в том, чтобы определить, через какое время величина p_ℓ достигнет предельного значения $p_\ell^* = 0,0042$.

Из формул (9) и (10) следует, что в настоящий момент вероятность $p_\ell^* = 0,0042$ соответствует дефектам глубиной $h = 1,94$ мм, то есть, вероятность обнаружения дефектов глубиной больше 1,94 мм составляет 0,0042.

Требуется оценить, через какое время T^* вероятность обнаружения дефектов глубиной более 5 мм достигнет того же значения 0,0042. Для этого предположим, что имеющиеся в настоящее время дефекты продолжают расти с теми же скоростями v . Тогда получим

$$v = \frac{h}{T} = \frac{h^* - h}{T^*} ; \quad T^* = T \frac{h^* - h}{h} = 8 \frac{5 - 1,94}{1,94} = 12,6 \text{ лет} . \quad (13)$$

Таким образом, можем сделать следующие эквивалентные выводы:

На данном трубопроводе длиной 1 км через 12,6 лет вероятность появления хотя бы одного дефекта глубиной 5 мм достигнет значения 0,3.

С вероятностью 0,3 надёжность данного трубопровода снизится до критического уровня через 12,6 лет.

С вероятностью 0,3 предельное состояние данного трубопровода наступит через 12,6 года.

При необходимости можно составить таблицу или график зависимости остаточного ресурса T^* от требуемой надёжности (вероятности P_L^*).

Данный алгоритм может быть использован при прогнозировании состояния трубопровода по другим характеристикам, влияющим на его надёжность, например по переходному сопротивлению изоляционного покрытия.

Вывод

Предложена методика прогноза остаточного ресурса трубопровода, использующая результаты обследования на ограниченном участке. Алгоритм использует вероятностный подход к анализу остаточного ресурса и позволяет связать остаточный ресурс с основными критериями надёжности трубопровода.

Литература

1. Гареева О.А., Худяков М.А., Климов П.В., Хажиев А.Д. Моделирование коррозионного растрескивания магистральных газопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2010. Вып. 1 (79). С. 87-92.
2. Шуланбаева Л.Т., Гумеров А.Г., Климов П.В., Сунагатов М.Ф. Решение проблемы защиты магистральных газопроводов от стресс-коррозии // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2009. Вып. 4 (78). С. 67-73.
3. Сунагатов М.Ф., Климов П.В., Гумеров А.К., Шафиков Р.Р. Стресс-коррозия магистральных газопроводов и человеческий фактор // Территория Нефтегаз. 2010. № 8. С. 32-36.
4. Иваненков В.В., Гумеров К.М. Методика оценки качества изоляционного покрытия подземных стальных трубопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. Вып. 3 (73). С. 39-46.
5. РД 39-132-94 «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов». М.: НПО ОБТ, 1994. 356 с.
6. СП 34-116-97 «Ведомственные строительные нормы. Инструкция по проектированию, строительству и реконструкции промысловых нефтегазопроводов». М.: Минтопэнерго России, 1998.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: Академия, 2005. 576 с.
8. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. учебн. пособие. 12 изд. перераб. М.: Высшее образование, 2006. 479 с.
9. Кремер Н.Ш. Теория вероятности и математическая статистика: учебник. М., 2007. 551 с.

References

1. Gareeva O.A., Khudyakov M.A., Klimov P.V., Khazhiev A.D. Modelirovaniye korrozionnogo rastreskivaniya magistralnykh gazoprovodov [Modeling of Trunk Gas Line Corrosion Cracking]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2010, Issue 1 (79), pp. 87-92. (in Russ.).
2. Shulanbaeva L.T., Gumerov A.G., Klimov P.V., Sunagatov M.F. Resheniye problemy zashchity magistralnykh gazoprovodov ot stress-korrozii [Solution of the Problem of the Trunk Gas Line Protection against Stress-Corrosion]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2009, Issue 4 (78), pp. 67-73. (in Russ.).
3. Sunagatov M.F., Klimov P.V., Gumerov A.K., Shafikov R.R. Stress-korroziya magistralnykh gazoprovodov i chelovecheskiy faktor [Stress-Corrosion of the Trunk Gas Lines and Human Factor]. *Territoriya Neftegaz - Territory Neftegaz*, 2010, No. 8. pp. 32-36. (in Russ.).
4. Ivanenkov V.V., Gumerov K.M. Metodika otsenki kachestva izolyatsionnogo pokrytiya podzemnykh stal'nykh truboprovodov [Methods of Evaluating the Quality of Buried Steel Pipeline Coating]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2008, Issue 3 (73), pp. 39-46. (in Russ.).
5. RD 39-132-94. Pravila po ekspluatatsii, revizii, remontu i otbrakovke neftepromyslovykh truboprovodov [RD 39-132-94. Regulations of Operation, Inspection, Repair and Rejection of the Oilfield Pipelines]. Moscow, NPO OBT, 1994. 356 p. (in Russ.).
6. SP 34-116-97. Vedomstvennye stroitel'nye normy. Instruksiya po proektirovaniyu, stroitel'stvu i rekonstruktsii promyslovykh neftegazoprovodov [SP 34-116-97. Departmental Building Codes. Instructions on Design, Construction and Reconstruction of the Field Oil-and-Gas Pipelines]. Moscow, Mintopenergo Rossii, 1998. (in Russ.).

7. Venttsel' E.S. *Teoriya veroyatnosti* [Probability Theory]. Moscow, Akademiya, 2005, 576 p. (in Russ.).

8. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika. uchebn. posobie* [Probability Theory and Math Statistics: Tutorial]. 12 izd. pererab. Moscow, Vysshee obrazovanie, 2006, 479 p. (in Russ.).

9. Kremer N.Sh. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika: uchebnik* [Probability Theory and Math Statistics: Manual]. Moscow, 2007, 551 p. (in Russ.).

Авторы

• Багманов Руслан Рустамович
ООО «МКО»
Старший специалист по внешнеэкономической деятельности
Российская Федерация, 420095, г. Казань,
ул. Восстания, 100
e-mail: Rouslanyes@mail.ru

• Сильвестров Степан Аверкиевич
ООО «Астрапроект»
Директор
Российская Федерация, 420133, г. Казань,
пр. Ямашева, 102а, офис 3
тел./факс (843) 556-76-52, 556-76-49
e-mail: aAstra@mail.ru

• Гумеров Айдар Кабирович, канд. техн. наук
ООО «Институт проблем транспорта энергоресурсов»
Старший научный сотрудник отдела «Техническая диагностика промысловых трубопроводов»
Российская Федерация, 450055, г. Уфа,
пр. Октября, 144/3
тел. (347) 241-85-81
e-mail: gumerov@list.ru

The Authors

• Bagmanov Ruslan R.
MKO OOO
Senior Specialist on Foreign Economic Activity
100, Vosstaniya str., Kazan, 420095, Russian Federation
e-mail: Rouslanyes@mail.ru

• Silyvestrov Stepan A.
Astraproekt OOO
Director
102a, office 3, Yamashev ave., Kazan, 420133, Russian Federation
tel/fax: (843) 556-76-52, 556-76-49
e-mail: aAstra@mail.ru

• Gumerov Aidar K., Candidate of Technical Sciences
Institute of Energy Resources Transportation OOO
Senior Researcher of Field Pipeline Technical Diagnostics Department
144/3, October ave., Ufa, 450055, Russian Federation
tel: (347) 241-85-81
e-mail: gumerov@list.ru