

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 620.194.519.2

Абаев З.К., Бачиев Б.А.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ГАЗОПРОВОДОВ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Abaev Z.K., Bachiev B.A.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE SYSTEM FOR MONITORING OF STRESS CORROSION CRACKING OF THE PIPELINE UNDER TENSION

Аннотация. Выявлена тенденция развития программно-технических средств, обеспечивающих автоматизированный контроль и управление основными и вспомогательными технологическими процессами транспортировки газа через систему магистральных газопроводов.

Определена последовательность этапов создания программного обеспечения системы мониторинга коррозионного растрескивания под напряжением (КРН). Показана разработка новых полезных адекватных регрессионных моделей, определяющих уровень риска коррозионного растрескивания под напряжением. Представлен алгоритм ранжирования участков магистрального газопровода (МГ) по склонности к КРН. Разработано адекватное уравнение регрессии, определяющее уровень риска КРН. Для учета срока эксплуатации магистрального газопровода предлагается использовать переменную «ранг опасности КРН (R_{SCC})» на основе методов нечеткой логики. Реализация нечеткой модели осуществлялась с использованием графических средств системы MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox. Показан алгоритм работы разработанной программы, а также экранные формы.

Ключевые слова: коррозионное растрескивание под напряжением, КРН, газопроводы, мониторинг, система управления, программное обеспечение, уровень риска.

Abstract. The software and hardware development tendency, providing the automated monitoring and control of basic and auxiliary technological processes of gas transportation via system of main gas pipelines has been revealed. The article discusses the stages of creation of the software of system of monitoring corrosion cracking under tension (SCC). The new useful adequate regression models development determining the risk level of LCC is shown. A ranking sections algorithm of main gas

pipeline (MG) on the propensity to SCC is presented. Adequate developed regression equation determining the LCC risk level has been developed. To count the main gas pipeline lifetime the variable rank of the danger of SCC (RSCC) on the basis of methods of fuzzy logic is proposed to use. Implementation of the fuzzy model was carried out using the graphical tools developed in MATLAB using the expansion pack Fuzzy Logic Toolbox. The working algorithm of developed program and the screen forms are presented.

Key words: corrosion stress cracking, stress-corrosion, pipeline, monitoring, system management software, the level of risk.

Введение. Для обеспечения конструктивной надежности магистральных газопроводов (МГ), в частности, для выявления подверженности к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) разработано и внедрено значительное количество методов мониторинга их состояния, в том числе и дистанционных [1]. Однако большинство из них ориентируется на диагностировании одного или нескольких связанных параметров состояния газопровода, что ведет к получению односторонней и далеко не полной информации [2]. Помимо этого, не разработаны и не реализованы алгоритмы мониторинга и ранжирования участков магистральных газопроводов, предрасположенных к КРН, учитывающие особенности данных участков.

Современные тенденции развития программно-технических средств газотранспортной отрасли ориентированы на повсеместный переход к управлению производственно-технологическим комплексом в режиме реального времени, при котором обеспечивается автоматизированный контроль и управление основными и вспомогательными технологическими процессами транспорта газа через систему магистральных газопроводов [3].

Постановка задачи. Для решения задач мониторинга коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) техническая система должна выполнять следующие основные функции:

- получение исходных данных для проведения вычислений;
- определение уровня риска КРН участка;
- определение ранга опасности участка;
- ранжирование участков по склонности к КРН;
- оповещение оператора о текущем состоянии МГ;
- формирование и выдача рекомендаций оператору.

Методы исследования. Для успешного выполнения этих функций предлагается три уровню аппаратно-программной реализации:

- нижний уровень - датчики и измерительные преобразователи;
- средний (контроллерный) - сбор данных от первичных преобразователей, и передача их на верхний уровень;
- верхний уровень - обработка, хранение и представление полученной информации.

Самой важной составляющей системы является программное обеспечение (ПО), установленное на автоматизированном рабочем месте оператора.

Обсуждение результатов. Для создания соответствующего ПО требуется последовательное проведение нескольких этапов исследований.

Этап 1. На первом этапе разрабатывалась математическая модель, описывающая процессы КРН.

Для построения регрессионной модели процессов КРН используется план Бокса с количеством опытов:

$$N = 2^n + n \cdot 2 = 8 + 6 = 14, \quad (1)$$

где $n = 3$ — количество независимых переменных.

Выбор данного плана обоснован тем, что D-оптимальными являются планы, имеющие максимальное значение определителя матрицы M или минимальное M^{-1} . В этом случае рассматривается не дискретное распределение заданного числа опытов по отдельным экспериментальным точкам, а некоторая непрерывная функция, определяющая частоту наблюдений в точках плана [4].

В качестве независимых переменных выступали: значение рН грунта (рН), величина механических напряжений (σ) и величина защитного потенциала (ϕ).

В качестве зависимой переменной выступает уровень риска КРН (Y), численно характеризующийся отношением ползучести «эталонного» образца к ползучести образца, соответствующего опыта. За «эталонную» ползучесть принята ползучесть, соответствующая появлению первых дефектов КРН.

Исследовались образцы на одноосное напряженное состояние из стали X70 в различных коррозионных средах. Время каждого испытания 14 суток. Каждый день снимались показания измерителя часового типа ИЧ-10 и строились графики изменения ползучести [5]. Результаты экспериментов и приведены в таблице 1.

Таблица 1- Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	Безразмерный масштаб			Размерный масштаб			ΔL , мкм	Уровень риска КРН – Y , доли ед.
	X1	X2	X3	рН, ед.	ϕ , [В]	σ , доли от σ_d		
1	-1	-1	-1	2	0,5	0,5	37,5	0,25
2	+1	-1	-1	9	0,5	0,5	4,5	0,03
3	-1	+1	-1	2	3,5	0,5	70,5	0,47
4	+1	+1	-	9	3,5	0,5	48	0,32
5	-1	-1	+1	2	0,5	0,9	90	0,60
6	+1	-1	+1	9	0,5	0,9	60	0,40
7	-1	+1	+1	2	3,5	0,9	139,5	0,93
8	+1	+1	+1	9	3,5	0,9	102	0,68
9	-1	0	0	2	2	0,7	94,5	0,63
10	+1	0	0	9	2	0,7	72	0,48
11	0	-1	0	5,5	0,5	0,7	64,5	0,43
12	0	+1	0	5,5	3,5	0,7	120	0,80
13	0	0	-1	5,5	2	0,5	60	0,40
14	0	0	+1	5,5	2	0,9	105	0,65

Безразмерные значения независимых переменных в таблице:

$$X_1 - \text{независимая переменная} \rightarrow X_1 = \frac{pH - \overline{pH}}{\Delta pH};$$

$$X_2 - \text{независимая переменная} \rightarrow X_2 = \frac{\sigma - \overline{\sigma}}{\Delta \sigma};$$

$$X_3 - \text{независимая переменная} \rightarrow X_3 = \frac{\varphi - \overline{\varphi}}{\Delta \varphi};$$

$$\Delta pH = pH(\max) - \overline{pH}, \Delta \sigma = \sigma(\max) - \overline{\sigma}, \Delta \varphi = \varphi(\max) - \overline{\varphi}.$$

В итоге было получено следующее адекватное уравнение регрессии (2) для определения уровня риска КРН:

$$Y = 0.618 - 0.097 \cdot X_1 + 0.149 \cdot X_2 + 0.179 \cdot X_3 - 0.063 \cdot X_1^2 - 0.025 \cdot X_2^2 - 0.093 \cdot X_3^2 + 0.025 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.01 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.013 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

Оценка адекватности модели экспериментальным данным

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \cdot \left| \frac{\sum Y - YR}{\sum Y} \right| \cdot 100\% = 0.4 \text{ — Средняя ошибка аппроксимации.}$$

$$\text{corr}(Y, YR) = 0.991 \text{ — Коэффициент корреляции.}$$

$$Y_m = \frac{\sum Y}{N} = 0.505 \text{ — Средняя арифметическая зависимой переменной.}$$

$$D = \frac{\sum (Y - Y_m)^2}{N - 1} = 0.054 \text{ — Дисперсия зависимой переменной } Y.$$

$$D_{ad} = \frac{\sum (Y - YR)^2}{N - k} = 3.385 \cdot 10^{-3} \text{ — Дисперсия адекватности.}$$

$$FR = \frac{DY}{D_{ad}} = 15.87 \text{ — Расчетное значение F-статистики.}$$

$$F := qF(0.95, N - 1, N - k) = 5.891 \text{ — Табличное значение F-критерия.}$$

В связи с тем, что $FR > F$ — уравнение регрессии признано адекватным экспериментальным данным коррозионно-механических испытаний на уровне значимости 0,05, что соответствует доверительной вероятности $p = (1 - 0,05) \cdot 100 = 95,0\%$.

Этап 2. На следующем этапе разрабатывался алгоритм ранжирования потенциально опасных участков (ПОУ) МГ по склонности к КРН. Разработанное адекватное уравнение регрессии способно определять уровень риска КРН или другими словами определять участки газопровода, условия в которых «благоприятны» для зарождения процесса растрескивания, однако для учета срока эксплуатации МГ предлагается использовать переменную «ранг опасности КРН (R_{SCC})». Для использования переменной «ранг опасности КРН (R_{SCC})» использовались методы нечеткой логики. В качестве входных переменных для определения ранга опасности КРН (R_{SCC}) будем использовать следующие факторы: уровень риска КРН (r_{SCC}), доли ед., срок эксплуатации МГ, годы.

Составим экспертную базу правил:

1. Если уровень риска КРН высокий, то ранг опасности высокий;

2. Если уровень риска КРН средний, то ранг опасности средний;
3. Если уровень риска КРН низкий, то ранг опасности низкий;
4. Если срок эксплуатации длительный, то ранг опасности высокий;
5. Если срок эксплуатации небольшой, то ранг опасности низкий.

Реализация нечеткой модели осуществлялась с использованием графических средств системы MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox. На рисунке 1 представлен разработанный алгоритм ранжирования участков МГ по склонности к КРН.

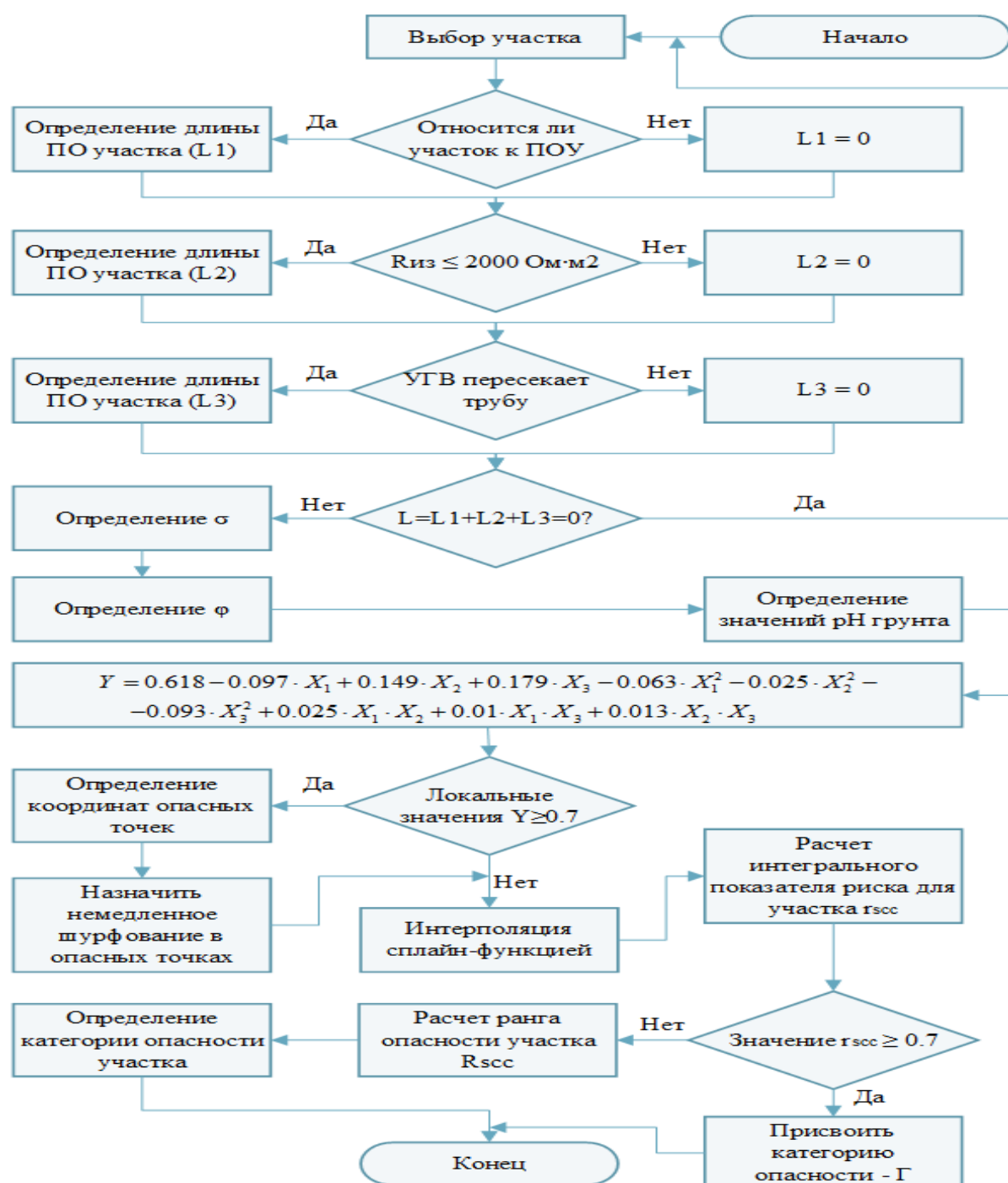


Рисунок 1. - Алгоритм ранжирования участков МГ по склонности к КРН

Пояснения к рисунку 1: $UГВ$ — уровень грунтовых вод; $R_{из}$ — интегральная величина сопротивления изоляции; $r_{сcc}$ — интегральный показатель риска каждого участка длиной L .

Конечным результатом расчетов по предлагаемой методике является значение ранга опасности КРН, позволяющее присвоить газопроводу одну из четырех категорий опасности: «неопасен», «умеренно опасен», «опасен», «чрезвычайно опасен», и определить дальнейшие методы превентивного контроля.

Этап 3. Разработка программного обеспечения системы мониторинга КРН. На рисунке 2 представлен алгоритм работы разработанной программы.

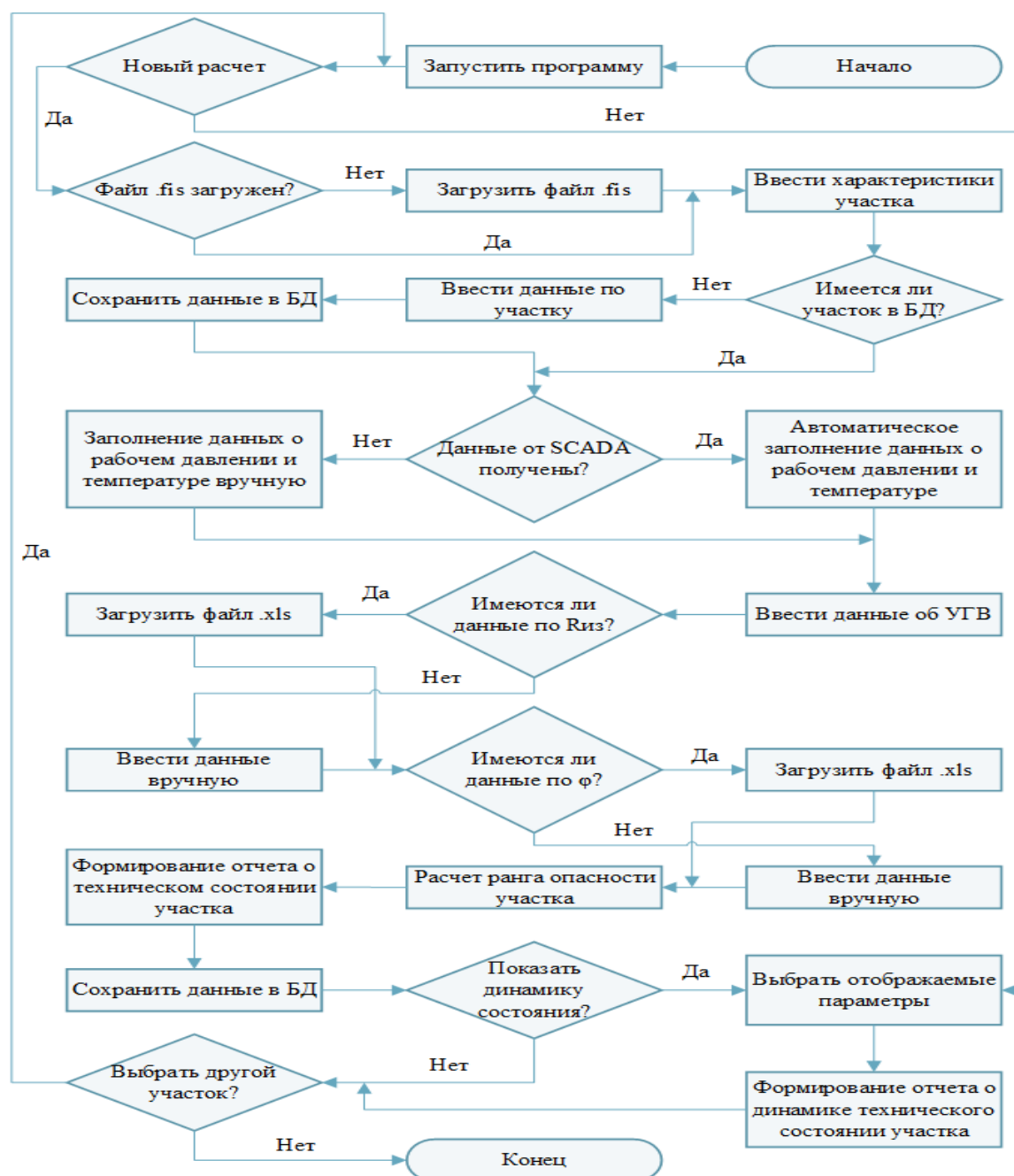


Рисунок 2. — Алгоритм работы программы

Пояснения к рисунку 2: *.fis* — расширение файла пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox; *БД* — база данных; *.xls* — расширение файла программы Microsoft Excel; *SCADA* — программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

На рисунках 3-4 представлены экранные формы разработанного программного обеспечения [6].

Новый проект — SCCRange 1.0

Исходные данные

Характеристики участка: Измайловка-Петрово

Расстояние от КС до начала участка: 9.6 км

Рабочее давление: 7.4 МПа

Температура МГ: -5 °C

Тип ПОУ: Поймы рек, края болот

Протяженность ПОУ: ...

Пересечение с УГВ: ...

Интегральная величина сопротивления изоляции, $R_{из}$: Загрузить

Величина защитного потенциала, ϕ : Загрузить

pH: 4.8 ед

Файл нечеткой модели: Загрузить

Расчет

Рисунок 3. — Окно ввода начальных данных

Новый проект — SCCRange 1.0

Отчет о техническом состоянии участка

Дата: 23.08.2015

Название ветки: Измайловка-Петрово

Протяженность участка, L	17.6	км		
Расстояние от КС до начала участка	7	км		
Марка стали	X70			
Диаметр	1420	мм		
Толщина стенки	18.7	мм		
Срок эксплуатации	15	годы		
Уровень риска КРН, f_{acc}	0.56			
Ранг опасности, R_{acc}	43%			
Категория опасности участка				
Координаты шурфов (км от начала)	3.78	3.90	4.12	11.28

Подробнее

Динамика технического состояния **Сохранить** **Экспорт**

Рисунок 4. — Окно «Отчет о техническом состоянии участка»

Вывод: в результате проведенных исследований были разработаны новые полезные адекватные регрессионные модели, определяющие уровень риска КРН, разработан алгоритм ранжирования участков МГ по склонности к КРН, лежащий в основе программного обеспечения системы мониторинга КРН.

Библиографический список:

1. Колосова А.Л. Усовершенствованная система мониторинга скорости коррозии и прогноза технического состояния магистральных газопроводов // Вестник кибернетики. — 2012. — №11. — С. 64–70.
2. Спиридович, Е. А. Оценка эффективности назначения потенциально опасных участков магистральных газопроводов по признаку предрасположенности к КРН / Е. А. Спиридович // Территория «НЕФТЕГАЗ». — 2014. — № 3. — С. 70–74
3. Сагдиев, Р. Ф. Разработка, внедрение и перспективы развития автоматизированной системы управления рисками трубопроводов ТНК-ВР / Р. Ф. Сагдиев // Инженерная практика. — 2012. — №5. — С. 4–8.
4. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. — М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. — 304 с., ил.
5. Есиев, Т.С. Разработка системы мониторинга стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением магистрального газопровода в горных территориях / Т.С. Есиев, З.К. Абаев // Устойчивое развитие горных территорий. — 2015. — №3. — С71–76.
6. Свидетельство № 2015616136 Российская Федерация. Программа «SCCplus 1.0»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / З.К. Абаев, С.Г. Кануков; заявители и правообладатели З.К. Абаев, С.Г. Кануков — № 2015612874; заявл. 09.04.2015; зарегистр. 01.06.2015. — 1 с.

References:

1. A.L. Kolosov Improved corrosion rate monitoring system and forecasting of the technical condition of the main gas pipelines // Herald of cybernetics. - 2012. - № 11. - pp. 64-70.
2. Spiridovich, E.A. Evaluation of the effectiveness of the appointment of potentially dangerous sections of pipelines on the basis of susceptibility to SCC / EA // Spiridovich Territory "Naftogaz". - 2014. - № 3. – pp. 70-74
3. Sagdiev, R.F. Design, implementation and prospects of development of automated risk management system pipelines TNK-BP / RF Sagdiev // Engineering Practice. - 2012. - №5. - pp. 4-8.
4. F.S. Novick, Y.B. Arsov, optimization technology of metals methods of experiments planning processes. - M .: Mechanical Engineering; Sofia: Engineering, 1980 – 304p.

5. T.S. Esiev, The development of resistance monitoring system to stress corrosion cracking of gas pipeline in the mountainous areas / TS Esiev, ZK Abaev // Sustainable development of mountain areas. - 2015. - №3. – p.71-76.

6. The certificate number 2015616136 Russian Federation. The program «SCCplus 1.0»: certificate of state registration of the computer / ZK Abaev, SG Kanukov; applicants and rights holders ZK Abaev, SG Kanukov - № 2015612874; appl. 09/04/2015; Registered. 06/01/2015.

УДК 621.753

Батманов Э.З., Гусейнов Р.В.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Batmanov E.Z., Guseynov R.V.

PROBABILISTIC MODELING IN STUDIES OF THE ACCURACY THE MANUFACTURE OF ENGINEERING PRODUCTS

Аннотация. Рассмотрены методологические аспекты теории точности сборочных операций при изготовлении изделий машиностроения. Обосновано преимущество вероятностного моделирования в машиностроении. Выявлено, что первичные ошибки изделий машиностроения меняются с течением времени в силу износа, вследствие происходящих в материалах деталей физико-механических процессов, и экспериментальное изучение отмеченного характера изменения параметров деталей еще не дает исчерпывающих сведений, по которым можно судить о тех или иных достоверных закономерностях указанных явлений. Отмечается, что экспериментальное изучение весьма важно, так как позволяет получить многочисленные реализации, по которым можно судить о характере изменения первичных ошибок в тех или иных конкретных случаях. Показаны особенности использования вероятностного моделирования при решении проблем нелинейной теории точности. Установлено, что с помощью метода древа логических возможностей может быть решена задача по определению суммарной погрешности.

Ключевые слова: точность, законы распределения, погрешности, численные методы, вероятностное моделирование.

Abstract. Methodological aspects of the theory of precision Assembly operations in the manufacture of engineering products. Substantiated the advantage of probabilistic modeling in engineering. Noted that the primary error of engineering products change over time because of wear and tear, as a result of what is happening in the