

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 006.91:519.21
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-4-168-174



АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ивахненко А.Г.¹, Аникеева О.В.², Исламова О.В.³, Разумова А.И.¹

¹ Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия

² ФКП «Курская биофабрика – фирма «БИОК», Курск, Россия

³ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Эффективное и результативное функционирование систем менеджмента предприятий обусловлено надежной работой системы метрологического обеспечения измерений. В практике управления качеством накоплен значительный опыт использования семейства методологий IDEF для графического представления взаимосвязанных и взаимодействующих процессов. С использованием методологии IDEF3 авторами ранее было выполнено исследование вероятностных характеристик во времени только для некоторых сочетаний перекрестков и выход на установившиеся значения вероятностей, то есть переход в функционирование в стационарном режиме осуществлялся лишь эмпирически. Цель работы и методы исследования. Целью работы является поддержка принятия управленческих решений по выбору структуры и параметров системы метрологического обеспечения измерений, соответствующих возможным стратегиям ее функционирования на основе анализа установившихся значений вероятностей выполнения процессов. В статье на основе ранее разработанной в нотации IDEF3 обобщенной графической модели системы метрологического обеспечения предприятий определены восемь стратегий ее функционирования. Для каждой стратегии получены зависимости для расчетов установившихся значений вероятностей выполнения процессов цикла системы метрологического обеспечения. Новизна. Результаты. На основе проведенных расчетов выполнено ранжирование восьми стратегий функционирования системы метрологического обеспечения измерений по принципу от лучшей к худшему для различных значений вероятностей выполнения блоков работ. Отмечено, что при значениях всех вероятностей выполнения блоков работ, равных единице, все стратегии являются равноправными. Практическая значимость. Сформулированы обоснованные рекомендации применения стратегий функционирования системы метрологического обеспечения измерений предприятия. При организации деятельности метрологической службы предприятия его руководство может прогнозировать конечные результаты принятия соответствующих организационно-технических решений. Данные результаты относятся к стабильно функционирующему системам метрологического обеспечения с неизменяемыми значениями вероятностей выполнения самих работ.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение предприятий, графическая модель IDEF3, математическая модель, стационарный режим, вероятность

© Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Исламова О.В., Разумова А.И., 2025

Для цитирования

Анализ стратегий функционирования системы метрологического обеспечения предприятий / Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Исламова О.В., Разумова А.И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №4. С. 168-174. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-4-168-174>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ANALYSIS OF STRATEGIES FOR FUNCTIONING OF THE METROLOGICAL SUPPORT SYSTEM OF ENTERPRISES

Ivakhnenko A.G.¹, Anikeeva O.V.², Islamova O.V.³, Razumova A.I.¹

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

² Kursk biofactory, Kursk, Russia

³ Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The effective functioning of enterprise management systems is dependent on the reliable operation of the metrological support system for measurements. In the quality management practice, significant experience has been gained in using the IDEF methodologies to graphically represent interrelated and interacting processes. Using the IDEF3 methodology, the authors previously carried out a study of probabilistic characteristics over time only for some combinations of junctions, and reaching steady-state probability values, i.e., the transition to operation in a stationary mode was carried out only empirically. **Objectives and Methods Applied.** The purpose of the work is to support the adoption of managerial decisions on the choice of the structure and parameters of the metrological support system for measurements, corresponding to the possible strategies of its functioning, based on the analysis of the established values of the probabilities of process execution. Based on the previously developed generalized graphical model of the metrological support system for enterprises in the IDEF3 notation, eight strategies for its functioning have been identified. For each strategy, dependencies have been obtained for calculating the established values of the probabilities of process execution in the metrological support system cycle. **Originality. Results.** Based on the calculations performed, the eight strategies for the functioning of the metrological support system were ranked from best to worst for different values of the probabilities of completing work blocks. It was noted that when all the probabilities of completing work blocks are equal to one, all the strategies are equally valid. **Practical Relevance.** Reasoned recommendations for the application of strategies for the functioning of the enterprise's metrological support system have been formulated. When organizing the activities of the enterprise's metrological service, its management can predict the final results of making appropriate organizational and technical decisions. These results apply to stable metrological support systems with unchanged probabilities of completing the work.

Keywords: metrological support for enterprises, IDEF3 graphical model, mathematical model, stationary mode, probability

For citation

Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V., Islamova O.V., Razumova A.I. Analysis of Strategies for Functioning of the Metrological Support System of Enterprises. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 4, pp. 168-174. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-4-168-174>

Введение

Надежная работа системы метрологического обеспечения измерений (МОИ) является необходимым условием эффективного и результативного функционирования различных систем менеджмента предприятий [1, 2]. В практике управления качеством накоплен значительный опыт использования семейства методологий IDEF для графического представления взаимосвязанных и взаимодействующих процессов. Наибольшее применение нашла методология IDEF0, меньшее применение нашла методология IDEF3, так как считается, что она служит для более детального описания процессов (работ) [3]. Преимуществом графических диаграмм IDEF3 является наличие соединений и разветвлений (перекрестков) с логическими условиями. Хотя сама методология IDEF3 не позволяет напрямую преобразовывать графические диаграммы в математические модели, разработаны различные подходы для выполнения таких преобразований [4-8]. В работах [7, 8] были исследованы изменения вероятностных характеристик во

времени на основе графической модели системы метрологического обеспечения в IDEF3, соответствующей циклу работ, приведенному в ГОСТ Р 8.820-2013 [9]. Исследование этих характеристик было выполнено только для некоторых сочетаний перекрестков и выход на установившиеся значения вероятностей, то есть переход в функционирование в стационарном режиме осуществлялся эмпирически.

Целью данной работы является поддержка принятия управленческих решений по выбору структуры и параметров системы МОИ, соответствующих возможным стратегиям ее функционирования на основе анализа установившихся значений вероятностей выполнения процессов.

Материалы и методы исследования

На схожесть структурных схем теории надежности и диаграмм IDEF было указано в работах [10, 11]. Развивая этот подход, рассмотрим соответствие между фрагментами структурных схем надежности и двумя типами перекрестков IDEF3 для определения и анализа стратегий, которое представлено на рис. 1.

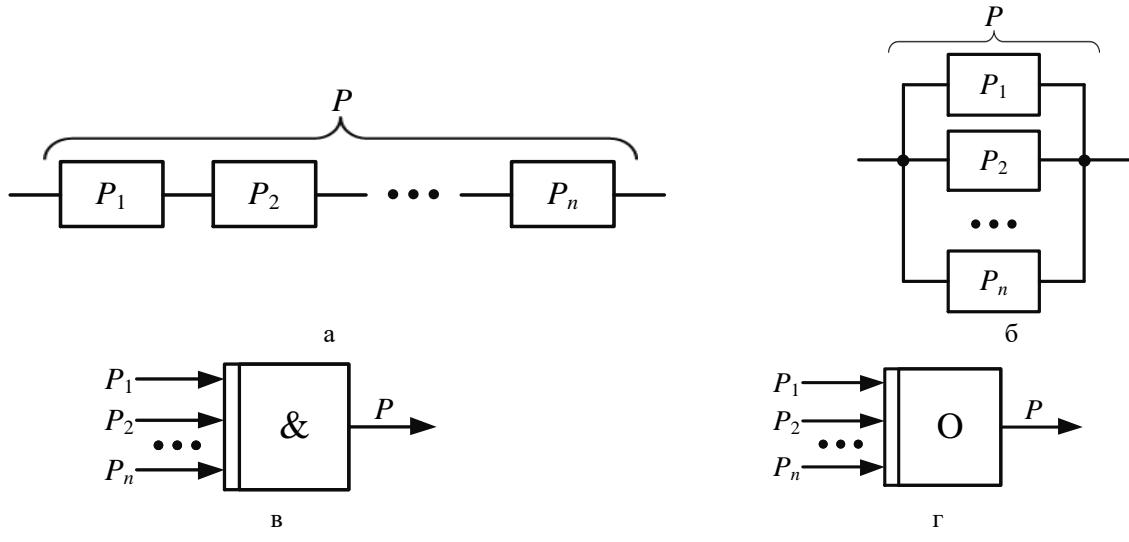


Рис. 1. Соответствие между структурными схемами надежности и соединительными перекрестками:
а – последовательное соединение элементов; б – параллельное соединение элементов; в – соединение «И»; г – соединение «ИЛИ»

Fig. 1. Correspondence between structural reliability diagrams and junctions:

а is sequential connection of elements; б is parallel connection of elements; в is the connection «&»;
г is the connection «О»

Зависимости для определения значений вероятностей безотказной работы в структурных схемах и вероятностей соответствующего выполнения работ P имеют одинаковый вид:

– для рис. 1, а и в

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

– для рис. 1, б и г

$$P = \prod_{i=1}^n (1 - P_i), \quad (2)$$

где P_i – вероятность выполнения i -й работы, $i = 1, \dots, n$.

Эти зависимости являются основой для определения установленных значений вероятностей выполнения процессов при ранжировании стратегий функционирования.

Существенным недостатком структурных схем надежности, по сравнению с диаграммами IDEF, является отсутствие возможности учитывать обратные связи между элементами диаграмм.

Используем обобщенную графическую модель системы метрологического обеспечения в нотации IDEF3, представленную на рис. 2 [8]. Эта модель является именно обобщенной, поскольку имеется возможность выбора типов соединительных перекрестков J_2, J_3 и J_5 , из асинхронных & («И») и О («ИЛИ»), при этом возможны 8 различных сочетаний, которым будут соответствовать графические модели, характе-

ризующие 8 различных стратегий функционирования системы метрологического обеспечения.

Как и в статье [8], рассматриваются блоки работ: W_1 – «Планировать и определять требования к измерениям, испытаниям, контролю с целью достижения желаемого уровня производительности и качества при производстве продукции», W_2 – «Проектировать и разрабатывать процессы измерений», W_3 – «Выполнять метрологическое подтверждение пригодности элементов МОИ», W_4 – «Анализировать состояние метрологического обеспечения объектов», W_5 – «Принять решение о совершенствовании системы МОИ», $W_{уд}$ – «Оценить удовлетворенность потребителя». Все составляющие модели, входящие в зависимости и представленные далее, отражены на рис. 2.

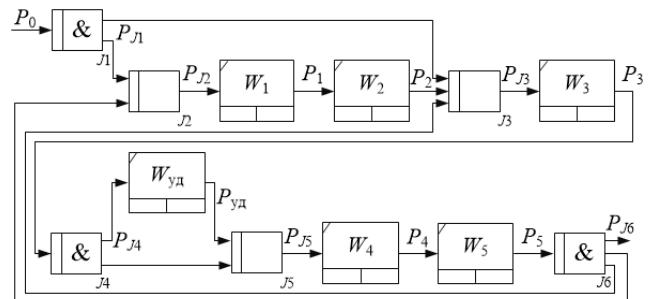


Рис. 2. Обобщенная графическая модель системы метрологического обеспечения [8]

Fig. 2. Generalized graphical model of the metrological support system [8]

Полученные результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены полученные выражения для определения установившихся значений вероятностей на выходах из блоков работ $P_1 \div P_5$ и $P_{\text{уд}}$, причем первыми устанавливаются значения вероятностей P_5 из численного решения соответствующих уравнений, и далее рассчитываются значения вероятностей $P_1 \div P_4$ и $P_{\text{уд}}$. Зависимости для вычисления значений вероятностей P_1 и P_3 отражают наличие обратных связей (длинного и короткого циклов), реализуемых перекрестками J_2 и J_5 .

Из табл. 1 видно, что для всех 8-ми стратегий существуют решения $P_1 \div P_5 = P_{\text{уд}} = 0$ и $P_1 \div P_5 = P_{\text{уд}} = 1$, причем для 8-й стратегии из всех возможных решений существуют только они. При таких решениях все стратегии являются равноправными, поскольку не зависят от выбранных типов пе-

рекрестков J_2 , J_3 и J_5 . Различия между стратегиями будут проявляться в условиях получения решений $0 < P_1 \div P_5 < 1$ и $0 < P_{\text{уд}} < 1$.

На практике значения вероятностей P_0 , $P_{W_{\text{уд}}}$ и $P_{W_1} \div P_{W_5}$, конечно, могут иметь различные значения, но для анализа стратегий функционирования их следует принять равными, чтобы обеспечить сопоставимость полученных результатов.

Был проведен расчет значений вероятностей $P_1 \div P_5$ и $P_{\text{уд}}$ при $P_0 = P_{W_{\text{уд}}} = P_{W_1} \div P_{W_5} = \{0,90; 0,95; 0,99, 0,998; 0,999\}$, результаты которого представлены в табл. 2.

Ранжирование стратегий функционирования системы МОИ с соответствующими типами перекрестков по представленным в табл. 2 результатам на основе принципа от «лучшего» к «худшему» приведены в табл. 3.

Таблица 1. Выражения для расчета вероятностей на выходах из блоков работ при различных стратегиях МОИ
Table 1. Expressions for calculating probabilities at the exits from work blocks under different MSM strategies

Номер стратегии	Типы перекрестков	Выражения для расчета вероятностей
1	$J_2 - O$, $J_3 - O$, $J_5 - O$	$1 - (1 - (1 - (1 - P_0)(1 - (1 - (1 - P_0)(1 - P_5))P_{W_1}P_{W_2})(1 - P_5))P_{W_3}P_{W_{\text{уд}}})(1 - (1 - (1 - P_0) \times \\ \times (1 - (1 - (1 - P_0)(1 - P_5))P_{W_1}P_{W_2})(1 - P_5))P_{W_3}))P_{W_4}P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(1); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(1); P_4 = P_4(1); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
2	$J_2 - O$, $J_3 - O$, $J_5 - \&$	$(1 - (1 - P_0)(1 - (1 - (1 - P_0)(1 - P_5))P_{W_1}P_{W_2})(1 - P_5))^2 P_{W_3}^2 P_{W_{\text{уд}}} P_{W_4} P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(1); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(1); P_4 = P_4(2); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
3	$J_2 - O$, $J_3 - \&$, $J_5 - O$	$(1 - (1 - P_0(1 - (1 - P_0)(1 - P_5))P_{W_1}P_{W_2}P_{W_3}P_{W_{\text{уд}}}P_5)(1 - P_0(1 - (1 - P_0)(1 - P_5)) \cdot \\ \cdot P_{W_1}P_{W_2}P_{W_3}P_5))P_{W_4}P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(1); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(2); P_4 = P_4(1); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
4	$J_2 - O$, $J_3 - \&$, $J_5 - \&$	$(1 - (1 - P_0)(1 - P_5))^2 P_0^2 P_{W_1}^2 P_{W_2}^2 P_{W_3}^2 P_5^2 P_{W_{\text{уд}}} P_{W_4} P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(1); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(2); P_4 = P_4(2); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
5	$J_2 - \&$, $J_3 - O$, $J_5 - O$	$(1 - (1 - (1 - (1 - P_0)(1 - P_5)P_{W_1}P_{W_2})(1 - P_5))P_{W_3}P_{W_{\text{уд}}})(1 - (1 - (1 - P_0)(1 - P_5)P_{W_1}P_{W_2}) \times \\ \times (1 - P_5))P_{W_4}P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(2); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(1); P_4 = P_4(1); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
6	$J_2 - \&$, $J_3 - O$, $J_5 - \&$	$((1 - P_5)(1 + P_5 P_{W_1} P_{W_2})P_0 - P_5 P_{W_1} P_{W_2}(1 - P_5)P_0^2 + P_5)^2 P_{W_3}^2 P_{W_{\text{уд}}} P_{W_4} P_{W_5} - P_5 = 0; P_1 = P_1(2);$ $P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(1); P_4 = P_4(2); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
7	$J_2 - \&$, $J_3 - \&$, $J_5 - O$	$(1 - (1 - P_0^2 P_5^2 P_{W_1} P_{W_2} P_{W_3} P_{W_{\text{уд}}})(1 - P_0^2 P_5^2 P_{W_1} P_{W_2} P_{W_3}))P_{W_4}P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(2); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(2); P_4 = P_4(1); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$
8	$J_2 - \&$, $J_3 - \&$, $J_5 - \&$	$P_0^4 P_5^4 P_{W_1}^2 P_{W_2}^2 P_{W_3}^2 P_{W_{\text{уд}}} P_{W_4} P_{W_5} - P_5 = 0;$ $P_1 = P_1(2); P_2 = P_2(1); P_3 = P_3(2); P_4 = P_4(2); P_{\text{уд}} = P_{\text{уд}}(1)$

Примечание. $P_{\text{уд}}(1) = P_3 P_{W_{\text{уд}}}; P_1(1) = (1 - (1 - P_0)(1 - P_5))P_{W_1}; P_1(2) = P_0 P_5 P_{W_1}; P_2(1) = P_1 P_{W_2};$
 $P_3(1) = (1 - (1 - P_0)(1 - P_2)(1 - P_5))P_{W_3}; P_3(2) = P_0 P_2 P_5 P_{W_3}; P_4(1) = (1 - (1 - P_3)(1 - P_{\text{уд}}))P_{W_4}; P_4(2) = P_{\text{уд}} P_3 P_{W_4}.$

Таблица 2. Значения вероятностей на выходах из блоков работ
Table 2. Probability values at the exits from the work blocks

Стратегия	$P_{уд}, P_1 \div P_5$	Значение $P_0 = P_{Wуд} = P_{W1} \div P_{W5}$					
		0,90	0,95	0,99	0,998	0,999	
& - & - O	P_1	0	0	0,6907	0,9480	0,6304	0,9916
	P_2	0	0	0,6838	0,9385	0,6292	0,9896
	P_3	0	0	0,4723	0,8896	0,3967	0,9813
	P_4	0	0	0,7118	0,9770	0,6343	0,9976
	P_5	0	0	0,7047	0,9672	0,6330	0,9956
	$P_{уд}$	0	0	0,4675	0,8807	0,3959	0,9794
& - O - O	P_1	0,6422	0,8104	0,9604		0,9920	0,9960
	P_2	0,5780	0,7699	0,9508		0,9900	0,9950
	P_3	0,8921	0,9489	0,9900		0,9980	0,9990
	P_4	0,8809	0,9452	0,9898		0,9980	0,9990
	P_5	0,7928	0,8980	0,9799		0,9960	0,9980
	$P_{уд}$	0,8029	0,9014	0,9801		0,9960	0,9980
O - & - &	P_1	0,8100	0,9025	0,9801		0,9960	0,9980
	P_2	0,7290	0,8574	0,9703		0,9940	0,9970
	P_3	0	0	0		0	0
	P_4	0	0	0		0	0
	P_5	0	0	0		0	0
	$P_{уд}$	0	0	0		0	0
O - & - O	P_1	0,8100	0,9381	0,9898		0,9980	0,9990
	P_2	0,7290	0,8912	0,9799		0,9960	0,9980
	P_3	0	0,6025	0,9369		0,9878	0,9940
	P_4	0	0,7885	0,9855		0,9978	0,9990
	P_5	0	0,7491	0,9756		0,9958	0,9980
	$P_{уд}$	0	0,5724	0,9276		0,9859	0,9930
& - O - &	P_1	0,4538	0,6928	0,9320		0,9860	0,9930
	P_2	0,4084	0,6581	0,9227		0,9841	0,9920
	P_3	0,8766	0,9462	0,9900		0,9980	0,9990
	P_4	0,6224	0,8080	0,9605		0,9920	0,9960
	P_5	0,5602	0,7676	0,9509		0,9900	0,9950
	$P_{уд}$	0,7889	0,8989	0,9801		0,9960	0,9980
O - O - O	P_1	0,8814	0,9452	0,9898		0,9980	0,9990
	P_2	0,7933	0,8979	0,9799		0,9960	0,9980
	P_3	0,8962	0,9495	0,9900		0,9980	0,9990
	P_4	0,8819	0,9453	0,9898		0,9980	0,9980
	P_5	0,7937	0,8980	0,9799		0,9960	0,9980
	$P_{уд}$	0,8065	0,9020	0,9801		0,9960	0,9990
O - O - &	P_1	0,8621	0,9392	0,9895		0,9980	0,9990
	P_2	0,7759	0,8922	0,9796		0,9960	0,9980
	P_3	0,8915	0,9488	0,9900		0,9980	0,9990
	P_4	0,6438	0,8125	0,9606		0,9920	0,9960
	P_5	0,5794	0,7719	0,9510		0,9900	0,9950
	$P_{уд}$	0,8024	0,9014	0,9801		0,9960	0,9980

Таблица 3. Ранги стратегий

Table 3. Strategy ranks

Ранг	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Стратегии (перекрестки)	O - O - O	O - O - &	O - & - O	& - O - O	& - O - &	& - & - O	O - & - &	& - & - &

Из табл. 3 видно, что наилучшей стратегией является O - O - O, а наихудшой – стратегия & - & - &, что напрямую вытекает из зависимостей (1) и (2). Из трех стратегий с одним перекрестком & лучшей является стратегия O - O - &, где реализуется использование перекрестков O для замыкания обратных связей по короткому и длинному циклам.

В свою очередь, из оставшихся двух стратегий лучшие характеристики имеет стратегия O - & - O с использованием перекрестка O для замыкания обратной связи по длинному циклу по сравнению со стратегией & - O - O, в которой перекресток O служит для замыкания обратной связи по короткому циклу. Из трех стратегий с двумя перекрестками & лучшей

является стратегия & – О – &, в которой перекресток О замыкает обратную связь по короткому циклу.

Стратегия с перекрестками О – & – & является неработоспособной, поскольку при значениях $0 < P_0 = P_{Wуд} = P_{W1} \cdot P_{W5} < 1$, значения вероятностей в стационарном режиме функционирования системы $P_3 \cdot P_5 = P_{уд} = 0$. Стратегию & – & – О можно считать работоспособной только при значениях $0,95 < P_0 = P_{Wуд} = P_{W1} \cdot P_{W5}$, но она имеет особенность – при значении $P_0 = P_{Wуд} = P_{W1} \cdot P_{W5} = 0,95$ имеется точка бифуркации. При значениях $0,95 < P_0 = P_{Wуд} = P_{W1} \cdot P_{W5}$ существует два возможных значения вероятностей для $P_1 \cdot P_5$ и $P_{уд}$, что обусловлено наличием двух корней в решении уравнения для определения значения P_1 (стратегия 7 в **табл. 1**). Так, при значениях $P_0 = P_{Wуд} = P_{W1} \cdot P_{W5} = 0,999$ имеются два корня: $P_1 = 0,6241$ и $P_1 = 0,9959$, при этом система метрологического обеспечения потенциально может удовлетворять требованиям функционирования только при $P_1 = 0,9959$.

Заключение

Еще раз отметим, что при возможности обеспечить учет требований потребителей, оценку их удовлетворенности и выполнения всех работ с вероятностями 100% не имеет значения, какие используются перекрестки и соответствующие им стратегии функционирования системы. Если такой возможности или уверенности у руководства нет, то представленные в данной работе результаты могут служить определенными ориентирами. Поэтому авторы рекомендуют к применению первые пять стратегий из представленных в **табл. 3**.

Таким образом, при организации деятельности метрологической службы предприятия его руководство может прогнозировать конечные результаты принятия соответствующих организационно-технических решений. Данные результаты относятся к стабильно функционирующем системам метрологического обеспечения с неизменяемыми значениями вероятностей выполнения самих работ. Задачи прогнозирования имеют множество решений при учете фактических значений таких вероятностей, поэтому авторами осуществляется подготовка к государственной регистрации соответствующей программы для ЭВМ.

Список источников

- Кузнецов В.А., Ялунина Г.Я. Метрология (теоретические, прикладные и законодательные основы): учеб. пособие. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 335 с.
- Сергеев А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение: учебник для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2008. 575 с.
- Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум. М.: Финансы и статистика, 2006. 192 с.
- Бритов Г.С., Лупал А.В. Вероятностный анализ состояний IDEF3-моделей технологических процессов // Информационно-управляющие системы. 2009. № 5. С. 21-24.

- Осипова Т.Ф. Анализ потоков в бизнес-процессах по IDEF3-моделям // Актуальные проблемы экономики и управления. 2015. № 4(8). С. 155-162.
- Параметрический анализ структурных моделей взаимодействующих процессов на основе IDEF3 / Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Исламова О.В., Разумова А.И., Гуляев К.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. № 3. С. 131-139. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-3-131-139>.
- Имитационное моделирование системы метрологического обеспечения предприятий / Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Исламова О.В., Разумова А.И., Гуляев К.А. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 7. С. 76-81. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-7-76-77.
- Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Разумова А.И. Вероятностно-временное моделирование системы метрологического обеспечения предприятий при различных стратегиях ее функционирования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 3. С. 93-101. DOI: 10.24412/2071-6168-2025-3-93-94.
- ГОСТ Р 8.820-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
- Kusiak A., Larson N. System Reliability and Risk Assessment: A Quantitative Extension of IDEF Methodologies. In AAAI Technical Report SS-94-04. Pp. 88-93.
- Kusiak A., Zakarian A. Risk assessment of process models // Computers & Industrial Engineering. 1996, vol. 30, iss. 4, pp. 599-610.

References

- Kuznetsov V.A., Yalunina G.Ya. *Metrologiya (teoreticheskie, prikladnye i zakonodatelnye osnovy): uchebnoe posobie* [Metrology (theoretical, applied and legislative foundations): a textbook]. Moscow: Publishing House of Standards, 1998, 335 p. (In Russ.).
- Sergeev A.G. *Metrologiya i metrologicheskoe obespechenie: uchebnik dlya vuzov* [Metrology and Metrological Support: A Textbook for Universities]. Moscow: Yurayt Publishing House, 2008, 575 p. (In Russ.)
- Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. *Modelirovaniye i analiz sistem. IDEF-tehnologii: praktikum* [Modeling and analysis of systems. IDEF-technologies: educational aid]. Moscow: Finansy i statistika, 2006, 192 p. (In Russ.).
- Britov G.S., Lupal A.V. Probability analysis of IDEF3 models states of technological processes. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information and Control Systems]. 2009;(5):21-24. (In Russ.).
- Osipova T.F. Flow analysis in business processes by IDEF3-models. *Akтуальные проблемы экономики и управления* [Actual problems of economics and management]. 2015; (4(8)):155-162. (In Russ.).
- Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V., Islamova O.V., Razumova A.I., Gulyaev K.A. Parametric analysis of structural models of interacting processes based on IDEF3. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024;

- 22(3):131-139. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-3-131-139>.
7. Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V., Islamova O.V., Razumova A.I., Gulyaev K.A. Imitation modeling of the metrological support system of enterprises. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. 2024;(7): 76-81. (In Russ.) DOI: 10.24412/2071-6168-2024-7-76-77.
8. Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V., Razumova A.I. Probabilistic-temporal modeling of the metrological support system of enterprises under various strategies of its functioning *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta*.
9. *Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. 2025;(3):93-101. (In Russ.) DOI: 10.24412/2071-6168-2025-3-93-94.
9. State standart GOST R 8.820-2013. State system for ensuring the uniformity of measurements. Metrological assurance. General] Moscow: Standartinform, 2019, 12 p. (In Russ.).
10. Kusiak A., Larson N. System Reliability and Risk Assessment: A Quantitative Extension of IDEF Methodologies. In AAAI Technical Report SS-94-04. 88-93.
11. Kusiak A., Zakarian A. Risk assessment of process models. Computers & Industrial Engineering. 1996;30(4):599-610.

Поступила 01.07.2025; принята к публикации 08.09.2025; опубликована 25.12.2025
Submitted 01/07/2025; revised 08/09/2025; published 25/12/2025

Ивахненко Александр Геннадьевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, профессор, Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия.
Email: ivakhnenko2002@mail.ru. ORCID 0000-0002-9798-993X

Аникеева Олеся Владимировна – кандидат технических наук, доцент, специалист по качеству, ФКП «Курская биофабрика – фирма «БИОК», Курск, Россия.
Email: olesya-anikeeva@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7907-451X

Исламова Оксана Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия.
Email: islamova_81@mail.ru.

Разумова Анна Ивановна – аспирант, Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия.
Email: belkarazym@mail.ru.

Alexander G. Ivakhnenko – DrSc (Eng.), Lead Researcher, Professor, Southwest State University, Kursk, Russia.
Email: ivakhnenko2002@mail.ru. ORCID 0000-0002-9798-993X

Olesya V. Anikeeva – PhD (Eng.), Associate Professor, Quality Management Specialist, Kursk Biofactory, Kursk, Russia.
Email: olesya-anikeeva@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7907-451X

Oksana V. Islamova – PhD (Eng.), Associate Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia.
Email: islamova_81@mail.ru.

Anna I. Razumova – Postgraduate Student, Southwest State University, Kursk, Russia.
Email: belkarazym@mail.ru.