

УДК 004.891:658.562
DOI 10.17513/snt.39953

УСТАНОВЛЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ ОТНЕСЕНИЯ ОСНОВНЫХ ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ

Тихонов М.Р.

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники», Москва,
e-mail: kurotenshi91@yandex.ru*

Аннотация. Разработка экспертной системы сопровождается выбором параметров и диапазонов их значений. Они связаны с термами функции принадлежности и используются в модели нечеткого вывода при формировании итогового выходного значения. В экспертной системе обнаружения предвестников отказов в качестве параметров могут быть применены индикаторные показатели процессов, анализ диапазонов отнесения которых представлен в данной работе. Проанализированы основные индикаторные показатели процессов. Установлены и оценены граничные значения индикаторов как без, так и с учетом их деления на термы. Оценена направленность значений основных индикаторных показателей процесса. Установлены промежуточные значения границ диапазонов отнесения значений основных индикаторных показателей процессов для каждого терма. Согласован выбор диапазонов отнесения термов как с основными принципами построения экспертных систем обнаружения предвестников отказов на основе индикаторных показателей процесса, так и применяемыми типами функций принадлежности. Сформирован и проанализирован типовой график термов функции принадлежности на примере значений индекса воспроизводимости стабильного по разбросу среднего процесса без учета положения. Представленные в работе положения могут быть использованы при построении соответствующих экспертных систем в части разработки параметров модели нечеткого вывода.

Ключевые слова: отказ, предвестники отказов, автоматизированное управление, диапазоны отнесения, функции принадлежности, экспертная система

SETTING RANGES FOR RELATIONSHIP OF MAIN INDICATORS OF PROCESSES FOR THE TASKS OF BUILDING AN EXPERT SYSTEM FOR DETECTING PRECURSORS OF FAILURES

Tikhonov M.R.

National Research University of Electronic Technology, Moscow, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru

Annotation. The development of an expert system is accompanied by the selection of parameters and ranges of their values. They are associated with the terms of the membership function and are used in the fuzzy inference model when generating the final output value. In the expert system for detecting failure precursors, indicator indicators of processes can be used as parameters, the analysis of the ranges of which is presented in this work. The main indicators of the processes are analyzed. Boundary values of indicators were established and assessed both without and taking into account their division into terms. The direction of the values of the main indicators of the process was assessed. Intermediate values of the boundaries of the ranges for assigning values of the main indicator indicators of processes for each term have been established. The choice of ranges for assigning terms has been coordinated both with the basic principles of constructing expert systems for detecting failure precursors based on process indicators, and with the types of membership functions used. A typical graph of terms of the membership function was generated and analyzed using the example of the reproducibility index values of a scatter-stable average process without taking into account position. The provisions presented in the work can be used in the construction of corresponding expert systems in terms of developing the parameters of the fuzzy inference model.

Keywords: failure, failure precursors, automated control, assignment ranges, membership functions, expert system

При построении любой экспертной системы, основанной на нечеткой логике, важной задачей является установление как общих диапазонов отнесения, так и диапазонов отнесения значения выбранных параметров к конкретному терму функции принадлежности. Такие диапазоны в последующем, в ходе эксплуатации системы, участвуют в формировании нечеткого вывода в соответствующих моделях при расчете степени отнесения значения входных и вы-

ходных параметров экспертной системы. Для каждого выбранного параметра экспертной системы необходимо устанавливать свои диапазоны, количество которых зависит от принятой на этапе проектирования такой системы градации. Учитывая важность такой задачи, установление граничных значений диапазонов отнесения для построения экспертной системы обнаружения предвестников отказов является актуальным. В частном случае необходимо

определить такие диапазоны для основных индикаторных показателей процессов, взятых за основу и в качестве параметров экспертной системы обнаружения предвестников отказов [1].

Цель исследования – установление диапазонов отнесения термов функций принадлежности основных индикаторных показателей процесса, заложенных в основу экспертной системы обнаружения предвестников отказов.

Материалы и методы исследования

К основным индикаторным показателям процессов [2–4], применяемым в рассматриваемых экспертных системах и на практике в рамках статистического управления процессами, относятся следующие:

– индекс воспроизводимости стабильного по разбросу среднего процесса без учета положения C_p . Рассчитывается как отношение разности границ допуска к произведению собственной изменчивости процесса и коэффициента управляемости. Показатель описывает долю попадающих в допустимые границы значений на основе табличных коэффициентов и применяется для симметричного нормального распределения значений выборки;

– индекс воспроизводимости стабильного процесса по верхней границе C_{pU} . Рассчитывается как отношение разности верхней границы допуска и значения средних арифметических подгрупп выборки к произведению собственной изменчивости процесса и половине коэффициента управляемости. Показатель применяется для ассиметрично распределенных значений выборки, не подпадающих под нормальное распределение;

– индекс воспроизводимости стабильного процесса по нижней границе C_{pL} . Рассчитывается как отношение разности значения средних арифметических подгрупп выборки и нижней границы допуска к произведению собственной изменчивости процесса и половине коэффициента управляемости. Показатель применяется для ассиметрично распределенных значений выборки, не подпадающих под нормальное распределение;

– индекс воспроизводимости стабильного по разбросу и настройке процесса C_{pk} . Является максимальным значением между индексами воспроизводимости стабильного процесса по границам. Применяется для группировки этих индексов и получения общего заключения по воспроизводимости процесса с ассиметричным распределением значений выборки;

– коэффициент воспроизводимости процесса C_R . Является обратным значением к индексу воспроизводимости стабильного

по разбросу среднего процесса без учета положения. Наряду с другими показателями этот коэффициент применяется для формирования представления о воспроизводимости процесса;

– индекс пригодности процесса без учета положения среднего P_p . Рассчитывается как отношение разности границ допуска к произведению полной изменчивости процесса и коэффициента управляемости. Показатель описывает долю попадающих в допустимые границы значений на основе математически рассчитываемых средних значений и применяется для симметричного нормального распределения значений выборки;

– индекс пригодности процесса по верхней границе P_{pU} . Рассчитывается как отношение разности верхней границы допуска и значения средних арифметических подгрупп выборки к произведению полной изменчивости процесса и половине коэффициента управляемости. Показатель применяется для ассиметрично распределенных значений выборки, не подпадающих под нормальное распределение;

– индекс пригодности процесса по нижней границе P_{pL} . Рассчитывается как отношение разности значения средних арифметических подгрупп выборки и нижней границы допуска к произведению полной изменчивости процесса и половине коэффициента управляемости. Показатель применяется для ассиметрично распределенных значений выборки, не подпадающих под нормальное распределение;

– индекс пригодности процесса с учетом положения среднего P_{pk} . Является максимальным значением между индексами пригодности процесса по границам. Применяется для группировки этих индексов и получения общего заключения по пригодности процесса с ассиметричным распределением значений выборки;

– коэффициент пригодности процесса P_R . Является обратным значением к индексу пригодности процесса без учета положения среднего. Наряду с другими показателями применяется для формирования представления о воспроизводимости процесса.

Каждый из этих индикаторов несет в себе свою информацию об анализируемом процессе, и каждый является важным в обеспечении точности последующей оценки вероятности отказа, проводимой в экспертной системе.

Помимо данных индикаторов, для уточнения представления о рассматриваемом процессе применяются дополнительные показатели:

– индекс стабильности процесса P_s ;

- индекс дрейфа центра группирования P_d ;
- индекс нелинейности смещения центра группирования P_n ;
- индекс динамики рассеяния выборочной изменчивости P_{dR} ;
- индекс нестабильности рассеяния выборочной изменчивости P_{nR} ;
- индекс максимального рассеяния P_{mR} .

На основе анализа особенностей расчета индикаторов, нормативных документов и стандартов, практики применения и расчетов данных из открытых источников [5–7], возможно выявление граничных значений показателей без учета их деления на логические термы. Индикатор, увеличение значения которого подразумевает улучшение показателей процесса, имеет прямое направление изменения, иначе – обратное.

Для задач построения экспертной системы обнаружения предвестников отказов было принято решение о применении пяти термов для каждого параметра, соответствующих логической пятибалльной оценке значения, где 1 – «плохое» значение (свойственное неуправляемому процессу или имеющему высокую степень variability), а 5 – «отличное» значение (свойственное управляемому и контролируемому процессу). В связи с этим возникает необходимость в делении каждого из общих диапазонов на пять частей. Однако для выбора граничных значений каждой части необходимы экспертные знания предметной области, связанной с индикаторами процессов (управление процессами, управление качеством, управление рисками и несоответствиями, теория variability и т.д.). Для получения таких знаний был

проведен опрос экспертов соответствующих областей и анализ общедоступных, публичных источников и данных процессов. На основе результата анализа возможно выделение границ термов, представленных в таблице. Граничные термы в экспертной системе обнаружения предвестников отказов представлены ассиметричными функциями принадлежности (линейными Z- и S-образными), в связи с этим минимальные и максимальные значения бесконечны (подпадают любые значения ниже, чем заданные, для левых термов или выше, чем заданные, для правых термов). Для индикаторов обратной направленности минимальные и максимальные значения инвертированы для обеспечения согласованности с логической пятибалльной шкалой.

В целях сохранения непрерывности отнесения значений к функции принадлежности и повышения точности последующего расчета вероятности отказа рассматриваемого объекта, сумма вероятности отнесения значения каждого индикатора по каждому терму в любой точке диапазона допустимых значений должна равняться единице:

$$\forall x \in X : \mu(x) = \sum_{i=1}^5 \mu_i(x) = 1,$$

где x – значение основного индикаторного показателя процесса; X – множество допустимых значений основного индикаторного показателя процесса; $\mu(x)$ – значение функции принадлежности основного индикаторного показателя процесса в точке x ; $\mu_i(x)$ – значение i -го терма функции принадлежности основного индикаторного показателя процесса в точке x .

Граничные значения основных индикаторных показателей процессов с учетом деления на термы для задач построения экспертной системы обнаружения предвестников отказов

Индикатор	Направление	Термы и граничные значения									
		1		2		3		4		5	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
C_p	Прямое	0,4	0,77	0,5	1,18	0,77	1,51	1,18	1,67	1,51	1,75
C_{pU}	Прямое	0,4	0,77	0,5	1,18	0,77	1,51	1,18	1,67	1,51	1,75
C_{pL}	Прямое	0,4	0,77	0,5	1,18	0,77	1,51	1,18	1,67	1,51	1,75
C_{pk}	Прямое	0,4	0,77	0,5	1,18	0,77	1,51	1,18	1,67	1,51	1,75
C_R	Обратное	2,1	1,53	2	0,88	1,53	0,68	0,88	0,6	0,68	0,5
P_p	Прямое	0,9	1,18	1	1,51	1,18	1,85	1,51	2	1,85	2,1
P_{pU}	Прямое	0,9	1,18	1	1,51	1,18	1,85	1,51	2	1,85	2,1
P_{pL}	Прямое	0,9	1,18	1	1,51	1,18	1,85	1,51	2	1,85	2,1
P_{pk}	Прямое	0,9	1,18	1	1,51	1,18	1,85	1,51	2	1,85	2,1
P_R	Обратное	1,05	0,88	1	0,68	0,88	0,56	0,68	0,5	0,56	0,45

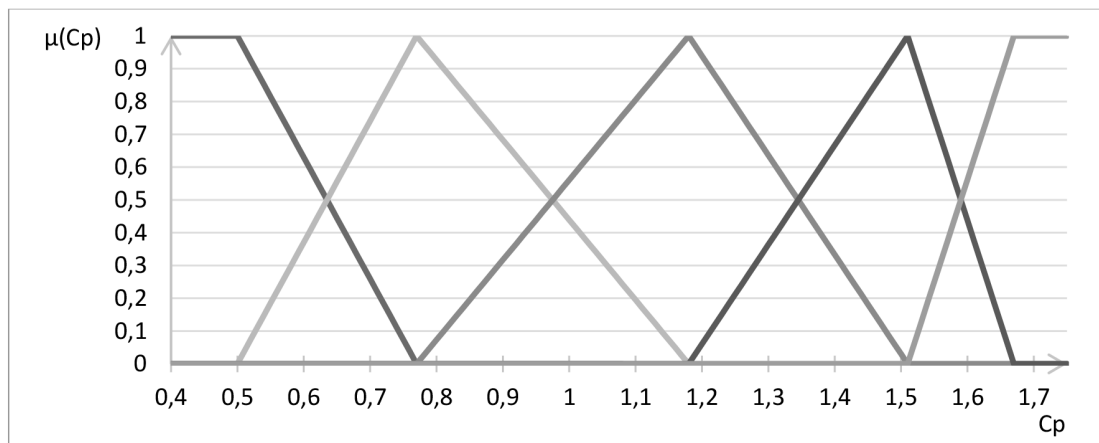


График термов функции принадлежности индекса воспроизводимости стабильного по разбросу среднего процесса без учета положения

На основе представленных положений возможно построение функций принадлежности и их термов для основных индикаторных показателей процессов, выступающих параметрами экспертной системы обнаружения предвестников отказов. Типовой график функции, описывающий распределение вероятности отнесения к термам значений индекса воспроизводимости стабильного по разбросу среднего процесса без учета положения, отображен на рисунке. При построении такой функции учтены пересечения термов, необходимые для непрерывности функции принадлежности на всем диапазоне значений параметра (сумма вероятностей отнесения соседних пересекающихся термов равна единице). В экспертной системе обнаружения предвестников отказов, основанной на индикаторных показателях процесса, левые граничные термы представлены линейной Z-образной функцией, правые граничные термы – линейной S-образной функцией, а остальные – симметричными треугольными функциями. Такой выбор связан с экспериментальными данными и соотношен с распределениями принадлежностей по логической пятибалльной шкале.

Применение таких функций в экспертной системе обнаружения предвестников отказов позволяет получить значение вероятности отказа в рамках модели нечеткого вывода и постобработки данных системы.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Проанализированы основные индикаторные показатели процессов. Каждый из рассмотренных индикаторных показате-

лей $C_p, C_{pU}, C_{pL}, C_{pk}, C_R, P_p, P_{pU}, P_{pL}, P_{pk}, P_R$ описывает определенные ситуации в рассматриваемом процессе, что позволяет оценить его статистическую управляемость. Показатели взаимосвязаны, но расчет каждого из них необходим для более точной оценки объекта исследования.

2. Проанализированы граничные значения функций принадлежности индикаторных показателей процессов в экспертной системе обнаружения предвестников отказов. Граничные значения установлены в соответствии с общими практиками и нормативными документами по статистическому управлению процессами. Теоретически возможен выход значения индикаторного показателя за эти границы, однако в таком случае процесс является неуправляемым и подлежит обработке другими инструментами и средствами.

3. Выявлены направления изменения значений основных индикаторных показателей процессов в согласованности с последовательностью термов. Прямое направление предполагает отнесение параметра к большему терму при большем значении. Для обратного направленных параметров значения инвертированы.

4. Установлены промежуточные значения границ диапазонов отнесения значений основных индикаторных показателей процессов для каждого терма. Границы каждого терма каждого параметра определяют будущие отнесения значения параметра при построении и выполнении модели нечеткого вывода. Границы термов соотносятся с общими границами параметров и логической пятибалльной оценке значения.

5. Сформирован и проанализирован типовой график термов функции принадлеж-

ности на примере значений индекса воспроизводимости стабильного по разбросу среднего процесса без учета положения. Набор схожих графиков и функций отнесения является основой для построения базы знаний экспертной системы обнаружения предвестников отказов. Параметры каждого термина каждого индикаторного показателя участвуют при расчете и формировании итогового значения экспертной системы.

Заключение

Рассмотренные диапазоны значений основных индикаторных показателей являются достаточно универсальными и могут быть использованы при построении схожих экспертных систем для любого управляемого процесса. Они согласуются с общей теорией управления качеством и статистическими методами, в частности контрольными картами Шухарта. Граничные значения крайних термов могут быть лимитированы общими минимальными и максимальными значениями показателей, однако уместнее рассматривать все возможные значения, которые могут быть получены от пользователя. Представленные же в таблице значения в большей степени ориентированы на статистически управляемые процессы.

Представленные в работе положения могут быть применены при построении различных экспертных систем, параметрами которых выбраны индикаторные показатели процессов. Помимо основных индикаторов возможно применение и дополни-

тельных индикаторов, диапазоны которых также нуждаются в установлении и анализе граничных значений. Результаты работы согласованы с основными принципами организации экспертной системы обнаружения предвестников отказов, а также применяемыми в ней функциями принадлежности.

Список литературы

1. Тихонов М.Р. Принципы организации экспертной системы выявления предвестников отказов в микроэлектронном производстве // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 3 (59). С. 15–18. DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0002.
2. Шпер В.Л. Индексы воспроизводимости процессов – зачем они нужны и как их применять? // Контроль качества продукции. 2020. № 3. С. 46–54.
3. Минченко Т.А. Определение индекса воспроизводимости через неопределенность // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Сборник материалов конференции. Волгоград, 2021. С. 64–66.
4. Скаков А.С. Анализ показателей индексов воспроизводимости процесса // Тенденции развития современной науки: сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2 ч. Липецк, 2021. С. 114–116.
5. Галахтина Е.М. Использование индексов пригодности процесса для принятия решения о его оптимизации // Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем: сборник трудов международной конференции (Москва, 02 июня 2020 г.). М.: Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 2020. С. 231–236.
6. Смелов В.Ю., Шпер В.Л. Шухарт + Тагути vs контроль допусков: два подхода к оценке качества // Стандарты и качество. 2022. № 8. С. 107–109.
7. Дандыбаев С.Т. Нечеткие множества с нечеткими функциями принадлежности // Теория и практика современной науки. 2021. № 1 (67). С. 130–133.