

УДК 004.891:681.5

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0002

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ В МИКРОЭЛЕКТРОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 9941-2749

AuthorID: 850287

ORCID: 0000-0001-6050-6781

ResearcherID: Y-7691-2018

ScopusID: 57223090853

ТИХОНОВ Мартин Робертович, кандидат технических наук, доцент института СПИНТех

Московский институт электронной техники «МИЭТ»

(124482, Россия, Москва, город Зеленоград, 352-23, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru)

Аннотация. При выполнении производственных и сопроводительных (обеспечивающих) процессов производства изделий микроэлектроники возникают отказы, которые могут приводить к тяжёлым последствиям для предприятия. Для избегания или уменьшения их тяжести целесообразно предусматривать ряд действий, связанных с предупреждением возможных отказов и идентификацией их предвестников. Одним из путей решения данной задачи является применение экспертных систем обнаружения предвестников отказов. В данной работе рассматриваются принципы организации экспертных систем обнаружения предвестников отказов на основе индикаторных показателей. Предложена схема функционирования таких экспертных систем с учётом последовательности расчёта совокупности показателей, включающих показатели воспроизводимости процесса без учета положения, по границам, стабильного по разбросу и настройке процесса, воспроизводимости и стабильности процесса, рассеяния выборочной изменчивости и пр.

Ключевые слова: экспертная система, отказ, индикаторный показатель, предвестники отказов, обнаружение предвестников, автоматизированное управление.

PRINCIPLES OF ORGANIZING THE EXPERT SYSTEM FOR DETECTING PRECURSORS OF FAILURES IN MICROELECTRONIC PRODUCTION

© The Author(s) 2022

TIKHONOV Martin Robertovich, candidate of technical sciences, associate professor of the SPINTech institute

National Research University of Electronic Technology «MIET»

(124482, Russia, Moscow, Zelenograd, 352-23, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru)

Abstract. When performing production and accompanying (supporting) processes for the production of microelectronic products, failures occur that can lead to serious consequences for the enterprise. To avoid or reduce their severity, it is advisable to provide for a number of actions related to the prevention of possible failures and the identification of their precursors. One of the ways to solve this problem is the use of expert systems for detecting failure precursors. This paper discusses the principles of organizing expert systems for detecting failure precursors based on indicator indicators. A scheme for the operation of such expert systems is proposed, taking into account the sequence of calculating a set of indicators, including indicators of process reproducibility without regard to position, along boundaries, a process that is stable in spread and setting, process reproducibility and stability, dispersion of selective variability, etc.

Keywords: expert system, failure, indicators, failure precursors, precursor detection, automated control.

Для цитирования: Тихонов М.Р. Принципы организации экспертной системы выявления предвестников отказов в микроэлектронном производстве / М.Р. Тихонов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 15-18. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0002.

Введение. Отказы в технологических процессах и автоматизированных системах их управления встречаются относительно редко, так как являются исключительными вариантами развития процесса (побочными цепями), однако их возникновение влияет на возможность достижения запланированного результата и может привести как к временным, так и стоимостным потерям. Бороться с отказами можно по факту их возникновения, т.е. корректирующими действиями, направленными на уменьшение тяжести последствий и устранение их причин для исключения повторного проявления отказа. Однако такой подход приводит к потерям, так как действия

производятся уже после возникновения отказа. Ввиду этого оправданы превентивные меры, направленные на недопущение возникновения отказа, либо существенное уменьшение тяжести последствий отказа.

Методология. Целью данной работы является разработка общих принципов организации экспертных систем обнаружения предвестников отказов на основе индикаторных показателей.

Для выбора действий и сроков их исполнения необходимо своевременно выявить предвестники отказа, свидетельствующие о риске отказа в процессе или оборудовании. Одним из вариантов обнаружения предвестников отказов является использование

индикаторных показателей процесса [3, 4], приведённых в стандарте ГОСТ Р ИСО 22514-4-2021:

- C_p – индекс воспроизводимости стабильного по разбросу среднего процесса без учета положения;
- C_{pU} – индекс воспроизводимости стабильного процесса по верхней границе;
- C_{pL} – индекс воспроизводимости стабильного процесса по нижней границе;
- C_{pk} – индекс воспроизводимости стабильного по разбросу и настройке процесса;
- C_R – коэффициент воспроизводимости процесса;
- P_p – индекс пригодности процесса без учета положения среднего;
- P_{pU} – индекс пригодности процесса по верхней границе;
- P_{pL} – индекс пригодности процесса по нижней границе;
- P_{pk} – индекс пригодности процесса с учетом положения среднего;
- P_R – коэффициент пригодности процесса;
- P_S – индекс стабильности процесса;
- P_d – индекс дрейфа центра группирования;
- P_n – индекс нелинейности смещения центра группирования;
- P_{dR} – индекс динамики рассеяния выборочной изменчивости;
- P_{nR} – индекс нестабильности рассеяния выборочной изменчивости;
- P_{mR} – индекс максимального рассеяния.

Данные показатели не свидетельствуют о возникновении отказов напрямую, однако на их основе можно делать ряд логических заключений, связанных с предвестниками отказов и вероятностью их возникновения. Для такого логического перехода необходимы экспертные знания. Экспертные знания служат основой для построения экспертных систем, которые могут рассматриваться как разновидность искусственного интеллекта. Такие системы позволяют автоматизировать процесс выработки решений и/или рекомендаций, а также передавать знания персоналу, не являющемуся носителем этих знаний. Возможность автоматизации и использования индикаторных показателей, связанных непосредственно с параметрами процесса и получаемых из характеристик продукта, позволяют использовать их в автоматизированных системах управления технологическим процессом, упрощая и ускоряя сбор исходных данных для экспертных систем, а также расчёт вероятности возникновения отказа.

Формирование информации о вероятности возникновения отказа основано на логическом заключении, полученном с применением функций принадлежности различных типов, зависящих от индикаторных показателей. Таким образом, в основе экспертных систем обнаружения предвестников заложен аппарат нечеткой логики.

Исходными данными для индикаторных показателей, достаточными для их расчёта, являются:

- USL – верхняя граница допуска;

- LSL – нижняя граница допуска;
- k – коэффициент, зависящий от закона распределения показателя качества процесса и достоверной вероятности;
- d_2 – коэффициент, который зависит от объема выборок;
- x_i – результат измерений показателей качества отдельных единиц продукции.

Границы допуска и коэффициенты зачастую напрямую зависят от технологии и не изменяются во времени (за исключением случаев кардинального изменения принципов оценки или выполнения процесса). Показатели качества отдельных единиц продукции варьируются и изменяются как внутри периода оценки, так и за несколько периодов. Для расчёта тренда изменения показателей и уточнения результатов работы экспертной системы с целью получения данных о вероятности возникновения отказа следует оценивать и собирать данные за несколько периодов и сопоставлять индикаторные показатели, рассчитанные по этим данным. Помимо информации о вероятности отказа экспертные системы формируют рекомендации и объяснения получения выходного значения.

Результаты. На основе вышеизложенного можно составить модель функционирования экспертной системы обнаружения предвестников отказа (МФЭС), которая состоит из следующих последовательных процессов.

1. Получение и проверка входных данных.
2. Преобразование входных данных.
3. Обработка данных в соответствии с выбранной моделью.
 - 3.1. Фагификация входных данных.
 - 3.2. Формирование логического вывода:
 - 3.2.1. Операция импликации.
 - 3.2.2. Операция композиции.
 - 3.3. Дефагификация данных и получение выходного значения.
4. Формирование и преобразование выходного значения.
5. Формирование и преобразование набора объяснений и рекомендаций.
6. Вывод выходного значения, набора объяснений и рекомендаций.

Получение и проверка входных данных, а также их преобразование связаны с описанными выше исходными данными и индикаторными показателями. На данных этапах происходит расчёт показателей по входам. Аппарат нечеткой логики [7] участвует в процессах обработки данных в соответствии с выбранной моделью. В основу такой модели может быть заложены следующие общепризнанные модели [11]:

- модель нечеткого вывода Мамдани;
- модель нечеткого вывода Ларсена;
- модель нечеткого вывода Тсукамото;
- модель нечеткого вывода Сугэно.

Все они при некоторых дополнениях позволяют

экспертной системе обнаружить предвестники отказа на основе значений индикаторных показателей. Остальные этапы участвуют в преобразовании и выводе информации пользователю в понятном

и приемлемом для него виде. Схема потока и преобразования данных, заложенная в модель функционирования экспертных систем обнаружения предвестников отказов, представлена на рисунке 1.

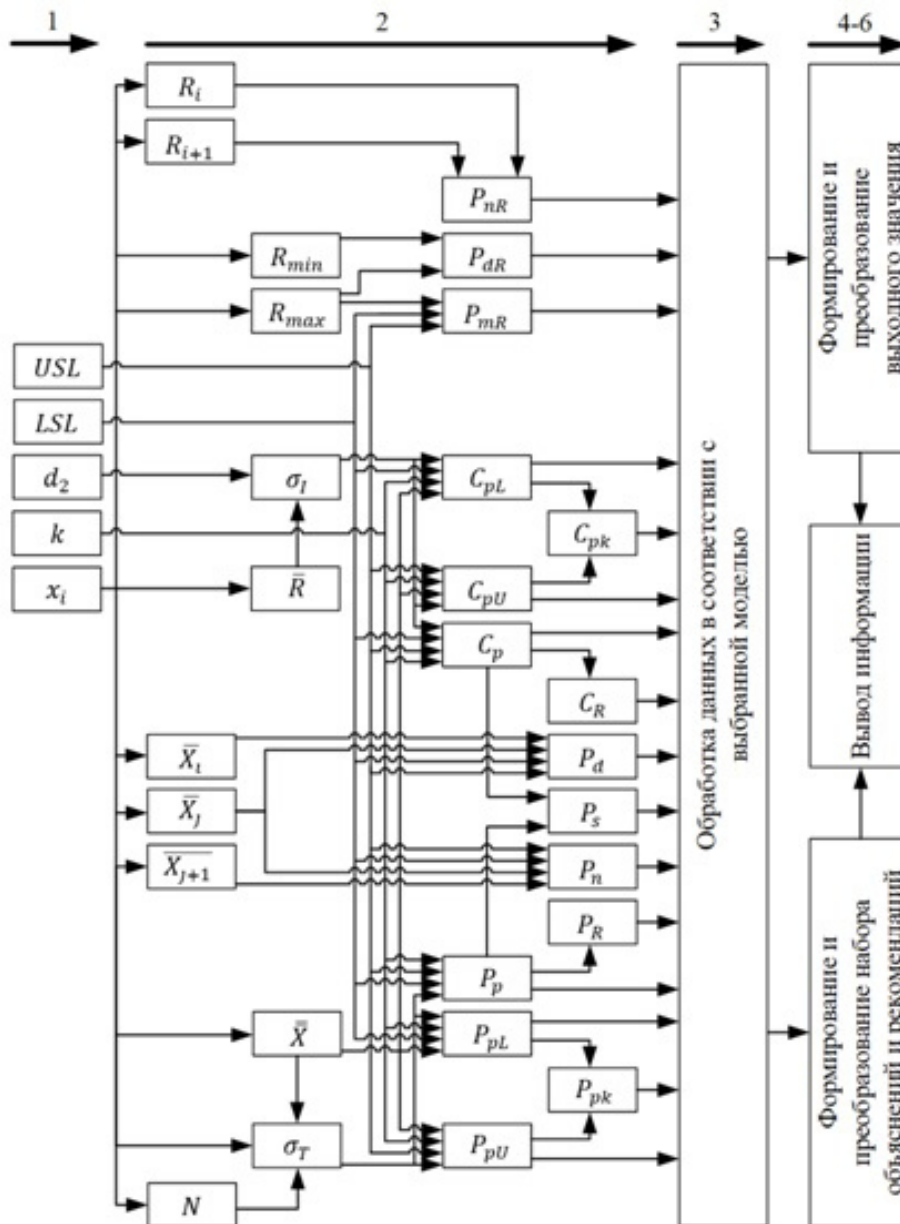


Рисунок 1 – Схема потока и преобразования данных в экспертных системах обнаружения предвестников отказов

В основе обработки данных в соответствии с выбранной моделью лежит общая формула, представленная ниже:

$$f(\{C_p, C_{pU}, C_{pL}, C_{pk}, C_R, P_p, P_{pU}, P_{pL}, P_{pk}, P_R, P_s, P_d, P_n, P_{dR}, P_{nR}, P_{mR}\}_{T, \dots} \\ \{C_p, C_{pU}, C_{pL}, C_{pk}, C_R, P_p, P_{pU}, P_{pL}, P_{pk}, P_R, P_s, P_d, P_n, P_{dR}, P_{nR}, P_{mR}\}_{-kT}) = \{P, R\}$$

где f – функция, основанная на нечеткой логике, а входящие в выражение переменные представляют собой перечисленные выше индексы. Из этого выражения следует, что на основе функции нечёткой логики происходит преобразование данных инди-

каторных показателей за несколько периодов в значение вероятности возникновения отказа и множество рекомендаций по отказам.

Обсуждение. Рассмотренные индикаторные показатели могут быть заменены на показатели надёжности или показатели теории очередей в зависимости от специфики объекта оценки. При этом приведённые аргументы в пользу структуры системы не нуждаются в существенных изменениях в части реализации решающей системы с нечёткой логикой. Изменения коснутся последовательности расчётов связанных показателей и математических переходов.

Таким образом, приведённые принципы функционирования экспертных систем могут быть использованы не только для обнаружения предвестников отказов, но и в прочих специальных системах и системах общего назначения с нечёткой логикой.

Выводы. Применение нечёткой логики в рамках экспертных систем обнаружения предвестников отказов на основе индикаторных показателей способно составить основу экспертных систем обнаружения предвестников отказов. Рассмотренные в работе принципы могут быть взяты за основу построения таких экспертных систем и прочих специальных и общих программных продуктов, построенных на основе нечёткой логики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Stuglik, J. Normalization of reproducibility and suitability indexes for assessment of products or production services quality / J. Stuglik, I.P. Kurytnik, O.M. Vasilevskyi, V.YU. Kucheruk, P.I. Kulakov, S.S. Kassymov, A.K. Khassenov, D.ZH. Karabekova // Bulletin of the Karaganda university. Physics series. – 2020. – Р. 28-38.
2. Долгов, Д.В. Программная реализация нечеткой модели Мамдани в системах охраны окружающей среды // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития. Материалы международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 31-32.
3. Смелов, В.Ю. Влияние вариабельности системы измерений на оценку качества процессов с помощью индексов воспроизводимости / В.Ю. Смелов, Е.И. Хунузиди, Е.А. Ахметова, В.Л. Шпер // Контроль качества продукции. – 2022. № 5. – С. 45-53.
4. Шпер, В.Л. Индексы воспроизводимости процессов - зачем они нужны и как их применять? // Контроль качества продукции. – 2020. № 3. – С. 46-54.
5. 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.
6. 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.
7. Кравец, Е.В. Анализ понятия "нечеткая логика", методы и области применения нечеткой логики / Е.В. Кравец, О.С. Солодова // "ЦИФРА" - реальность, меняющая мир: готовность Российской экономики к новым правилам игры. Материалы Национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 110-112.
8. Леонов, О.А. Оценка воспроизводимости и пригодности контрольных процессов при ремонте машин / О.А. Леонов, Н.Ж. Шкаруба // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции. – Красноярск, 2021. – С. 151-153.
9. Палюх, Б.В. Реализация экспертной системы для оценки инновационности технических решений / Б.В. Палюх, В.К. Иванов, И.В. Образцов // Программные продукты и системы. – 2019. – № 4. – С. 696-707.
10. Мухамедов, Р.Н. Формирование облика экспертной системы реального времени для системы предупреждения аварий на промышленных предприятиях // НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. – 2019. – С. 49-52.
11. Сухарева, М.А. Построение экспертных систем с применением технологий искусственного интеллекта как системы поддержки принятия управленческих решений / М.А. Сухарева, М.В. Виниченко // Новое поколение. 2019. – № 20. – С. 77-83.
12. Асылбеков, Н.С. Диагностика неисправностей цифровых систем с применением экспертной системы / Н.С. Асылбеков, Г.Ж. Кыдыралиева, Н.Д. Джумадилдеева, Э.А. Матазимов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. № 1. – С. 15-20.
13. Кассиала, А.Н. Разработка экспертной системы оценки техногенного риска информационно-измерительной системы АСУ ТП // СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ-2020. Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 419-420.
14. Шукуров, И.И. Экспертные системы и системы поддержки принятия решений / И.И. Шукуров, В.Ф. Шуршев // 64-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 90-летию со дня образования Астраханского государственного технического университета. материалы конференции. – 2020. – С. 167.
15. Мандраков, Е.С. Область применения экспертных систем в системах менеджмента качества // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». Тезисы 19-ой Международной конференции. Москва, 2020. – С. 286-287.
16. Костюков, А.С. Применение помехоустойчивого кодирования в экспертных системах / А.С. Костюков, А.В. Башкиров, Н.В. Астахов, А.С. Демихова, Л.Н. Никитин // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. – Т. 1. С. 90-92.
17. Дзауров, М.А. Информационная технология экспертных систем // Студенческий вестник. 2021. № 32-2 (177). – С. 53-54.
18. Тихонов, М.Р. Применение процессного подхода для комбинирования технологий оценки рисков / М.Р. Тихонов, М.В. Акуленок, О.С. Шикла // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – № 11. – С. 108-112.
19. Тихонов, М.Р. Разработка автоматизированного модуля построения контрольных карт управляемости процессов на базе программного пакета MATLAB / М.Р. Тихонов, М.В. Акуленок, О.С. Шикла // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – № 12. – С. 160-165.
20. Тихонов, М.Р. Анализ особенностей автоматизации процесса управления рисками в производственных и технологических процессах // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 4. – С. 93-97.

Статья поступила в редакцию 06.06.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022