

УДК 004:658.562
DOI 10.17513/snt.40085

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА АПОСТЕРИОРНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Тихонов М.Р., Акуленок М.В., Шикла О.С.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники», Москва, e-mail: kurotenshi91@yandex.ru

При формировании управленческих решений, связанных с обеспечением надежности технологического процесса, одним из важных этапов является расчет вероятности безотказной работы. В данном исследовании рассмотрен вариант расчета соответствующих параметров оборудования и процесса в целом с учетом последовательного эксплуатации единиц оборудования. Проанализированы основные термины и определения, относящиеся к технологическому процессу и его безотказной работе, априорной и апостериорной вероятностей. Сформулированы основные положения о технологическом процессе и соответствующих вероятностях. Разработан алгоритм расчета параметров апостериорной вероятности безотказной работы оборудования, связанный с набором операций процесса и учитывающий последовательное и множественное обращение к прошлым расчетам вероятности и использования единиц оборудования. Проанализированы основные этапы разработанного алгоритма с целью возможной автоматизации и/или изменений для целей конкретных технологических процессов или возможных ограничений реализации. Разработана форма фиксации результатов расчетов, получаемых с применением алгоритма расчета безотказной работы оборудования. Такая форма может быть реализована в том числе в программном обеспечении электронных таблиц. Представленные в работе положения могут быть использованы для последующей автоматизации соответствующих управленческих и контрольных процессов с целью повышения эффективности формирования и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: отказ, безотказная работа, показатели оборудования, алгоритм расчета, технологический процесс, автоматизация управления

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE APOSTERIOR PROBABILITY OF FAILURE-FREE OPERATION OF EQUIPMENT IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS

Tikhonov M.R., Akulenok M.V., Shikula O.S.

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

When forming management decisions related to ensuring the reliability of the technological process, one of the important stages is calculating the probability of failure-free operation. This study considers the option of calculating the corresponding parameters of the equipment and the process as a whole, taking into account the sequential operation of equipment instances. The main terms and definitions related to the technological process and its failure-free operation, a priori and posterior probabilities are analyzed. The basic principles about the technological process and the corresponding probabilities are formulated. An algorithm has been developed for calculating the parameters of the posterior probability of failure-free operation of equipment, associated with a set of process operations and taking into account sequential and multiple references to past calculations of the probability and use of equipment instances. The main stages of the developed algorithm are analyzed for the purpose of possible automation and/or changes for the purposes of specific technological processes or possible implementation limitations. A form has been developed for recording the calculation results obtained using an algorithm for calculating the failure-free operation of equipment. This form can also be implemented in spreadsheet software. The provisions presented in the work can be used for subsequent automation of relevant management and control processes in order to increase the efficiency of the formation and adoption of management decisions.

Keywords: failure, failure-free operation, equipment performance, calculation algorithm, technological process, control automation

Введение

Для повышения управляемости и обеспечения стабильности технологического процесса возможно применение теории надежности. Среди факторов, оказывающих критичное влияние на работоспособность процесса, находится оборудование. В отношении оборудования, используемого в рамках такого процесса, могут быть применены различные показатели, которые позволяют идентифицировать потенциально

неблагоприятные ситуации, а именно отказы. Некоторые из показателей применяются для планирования обеспечительных и вспомогательных работ по «стабилизации» выходов технологического процесса. Одним из таких показателей является вероятность безотказной работы. Однако его расчет в рамках среза на определенный момент времени дает менее точный результат, чем расчет при планировании каждого применения оборудования в рамках всего

процесса в целом, что в свою очередь связано как с базовой вероятностью безотказной работы (априорной), так и с вероятности безотказной работы (апостериорной), которая зависит от предыдущих использований оборудования. Таким образом, разработка соответствующего алгоритма расчета таких показателей является важной и практически значимой задачей для повышения управляемости технологическим процессом.

Цель исследования заключается в разработке алгоритма расчета апостериорной вероятности безотказной работы оборудования в технологическом процессе, с учетом его предыдущих использований.

Материалы и методы исследования

Технологический процесс, как последовательность технологических операций, завершающаяся формированием готовой продукции, может быть рассмотрен и как элемент системы, и как система. При этом система не может быть прочнее своего самого слабого звена. Поэтому в целях защиты системы (в данном случае технологического процесса) применяется резервирование, дублируя критичные элементы. Дублирование означает, что в случае отказа одного из критичных элементов другой аналогичный будет продолжать функционировать, позволяя системе (технологическому процессу) нормально работать. Оценка параметров безотказной работы системы учитывает конфигурацию (структуру) системы и наличие резервирования. Избыточность может рассматриваться как одновременная работа двух подсистем (активная избыточность) и как удержание одной из подсистем в резерве (резервной избыточности).

Для упрощения расчета приняты следующие допущения:

- последовательный характер технологических операций как основа дерева отказов;
- постоянная интенсивность отказов на отдельных операциях;
- отказ любого элемента системы может привести к отказу всей системы (всего технологического процесса);
- отсутствие зависимых отказов на разных операциях;
- при использовании резервирования отказы двух единиц оборудования, не работающих одновременно, считаются несовместными событиями;
- используется бинарная оценка отказов на отдельных операциях;
- применяемый подход на основе анализа дерева отказов предполагает статичность модели и не учитывает динамические изменения.

Для соответствующих расчетов и учета описанных выше положений необходимым минимумом является получение априорной и апостериорной вероятности безотказной работы оборудования.

Априорная и апостериорная вероятность связаны с теоремой Байеса, которая достаточно широко применяется при расчетах показателей надежности. Анализ Байеса [1] может быть применен для изучения причинных связей, углубления понимания проблемной области и прогнозирования последствий вмешательства в систему. Теорема Байеса является фундаментальной теоремой в байесовской статистике, так как она используется байесовскими методами для обновления вероятностей, которые являются степенью доверия, после получения новых данных.

Анализ Байеса идеально подходит для составления прогнозов в реальном времени благодаря своему быстрдействию. Также, используя этот анализ, мы можем предсказать вероятность нескольких классов целевой переменной.

Анализ Байеса применяют в различных областях: медицинской диагностике, моделировании изображений, генетике, распознавании речи, экономике, исследовании космоса и в современных поисковых системах.

Результаты исследования и их обсуждение

Априорная вероятность безотказной работы [2–4] оборудования отображает базовую вероятность, с которой оборудование может продолжать свою работу без возникновения отказов вне зависимости от повторности применения в процессе. Такая вероятность рассчитывается на основе экспериментальных данных либо математически, с применением следующих показателей:

- рассматриваемый период оценки. Временной период, значение которого применяется при расчете априорной вероятности безотказной работы оборудования, участвующего в процессе;
- время работы оборудования. Общее время эксплуатации единицы рассматриваемого оборудования;
- количество отказов. Число отказов оборудования, применяемого в процессе, за все время его эксплуатации;
- время наработки на отказ. Рассчитывается как отношение времени работы оборудования к количеству его отказов.

Апостериорная вероятность безотказной работы [5–7] оборудования учитывает количество использований оборудования

в рамках рассматриваемого процесса. Такой показатель с большей точностью учитывает наработки и частоту применения оборудования и рассчитывается математически на основе последовательного перемножения априорных вероятностей безотказной работы оборудования.

Расчет апостериорной вероятности безотказной работы оборудования применяется в рамках технологического процесса. Рассматривая универсальное представление технологического процесса, в ориентации на цель данной работы возможно формулирование следующих положений:

- процесс состоит из ряда операций i , количество которых конечно и может быть обозначено n . Количество операций зависит от рассматриваемого технологического процесса и степени его декомпозиции;

- в процессе применяется оборудование j , общее число которых не превышает m . Количество оборудования зависит от рассматриваемого технологического процесса, его сложности, инновационности и объема;

- при расчете апостериорной вероятности безотказной работы оборудования применяется его априорная вероятность x_{0j} . Такая вероятность рассчитывается для каждой единицы оборудования, применяемого в процессе;

- расчет апостериорной вероятности безотказной работы x_{ij} проводится для каждого оборудования j в рамках каждой операции i , где оно применяется. Значение апостериорной вероятности единицы оборудования зависит от частоты его использования в процессе до рассматриваемой операции;

- расчет апостериорной вероятности безотказной работы x_{ij} учитывает количество раз прошлых использований оборудования. Апостериорная вероятность безотказной работы оборудования j в операции i равна их априорной вероятности безотказной работы x_{0j} в степени количества использований до этой операции;

- в целях упрощения алгоритмизации и последующей обработки результатов апостериорная вероятность безотказной работы x_{ij} оборудования j в рамках каждой операции i , где оно не применяется, равна единице. Приравнивание к единице не влияет на расчет общей вероятности безотказной работы процесса, так как она рассчитывается путем перемножения вероятностей последовательно применяемого оборудования.

На основе описанных выше положений возможно построение алгоритма расчета параметра апостериорной вероятности безотказной работы оборудования, который представлен на рисунке.

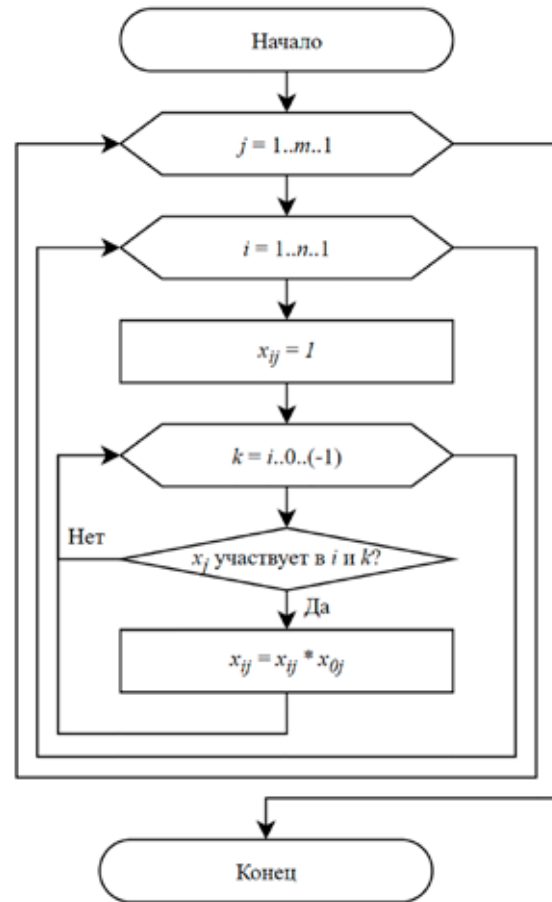


Схема алгоритма расчета параметров апостериорной вероятности безотказной работы оборудования

Данный алгоритм предполагает:

1. Последовательный выбор каждого оборудования j , участвующего в рассматриваемом процессе.

2. Последовательный выбор каждой операции i рассматриваемого процесса и рассматриваемого оборудования j .

3. Установление первичного значения апостериорной вероятности безотказной работы выбранного оборудования j в выбранной операции i (x_{ij}) равного единице.

4. Последовательный просмотр прошлых по отношению к выбранной операции i операций k .

5. Умножение апостериорной вероятности безотказной работы оборудования j в операции i (x_{ij}) на его априорную вероятность (x_{0j}), при условии участия оборудования j в операциях i и k .

6. Результат перемножения является апостериорной вероятностью безотказной работы оборудования j в операции i (x_{ij}).

В целях фиксации результатов расчетов, а также апробирования разработанного алгоритма возможно использование примера формы, представленного в таблице.

Оборудование x_j	Априорная вероятность безотказной работы x_{0j}	Апостериорная вероятность безотказной работы оборудования в операции x_{ij}									
		Операция i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	...	n
1	x_{01}	1,00	1,00	1,00	x_{01}	1,00	1,00	1,00	$x_{01} * x_{01}$...	1,00
2	x_{02}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	x_{02}	1,00	1,00	...	1,00
3	x_{03}	x_{03}	1,00	1,00	1,00	$x_{03} * x_{03}$	1,00	1,00	$x_{03} * x_{03} * x_{03}$...	1,00
...
m	x_{0m}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	x_{0m}	1,00	...	$x_{0m} * x_{0m}$

Как видно из таблицы, частое применение одной единицы оборудования приводит к степенному уменьшению ее апостериорной вероятности. Следовательно, для сохранения достаточного уровня вероятности безотказной работы оборудования необходимым является резервирование или перераспределение нагрузки в соответствии с полученными данными алгоритмического расчета.

Выводы

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Проанализированы априорная и апостериорная вероятности безотказной работы оборудования. Априорная вероятность рассчитывается на основе: времени работы оборудования, количестве отказов и времени наработки на отказ. Апостериорная вероятность безотказной работы оборудования зависит от количества использований единицы оборудования до рассматриваемой операции.

2. Сформулированы положения о технологическом процессе и апостериорной вероятности используемого в нем оборудования. Положения описывают вопросы количества операций и их обозначений, количества используемого оборудования и их обозначений, взаимосвязи апостериорной и априорной вероятностей безотказной работы оборудования, расчета апостериорной вероятности безотказной работы в операциях, где применяется данное оборудование и где его нет, учета количества раз использования единиц оборудования.

3. Разработан алгоритм расчета параметров апостериорной вероятности безотказной работы оборудования. Алгоритм представляет собой несколько вложенных циклов, обеспечивающих возможность расчета вероятности безотказной работы каждой единицы рассматриваемого оборудования в каждой операции технологического процесса. В алгоритме присутствуют множественные обращения к прошлым расчетам

с целью получения информации о количестве использований оборудования.

4. Проанализированы основные этапы разработанного алгоритма расчета параметров апостериорной вероятности безотказной работы оборудования. Этапы алгоритма связаны со значениями количества операций технологического процесса и оборудования, применяемого в нем. Некоторые операции могут быть заменены с применением промежуточных переменных. В частности, возможно хранение информации о количестве использований каждой единицы оборудования в отдельном массиве данных, упорядоченным таким образом внутренний обр-ратный цикл.

5. Разработана форма фиксации результатов расчетов апостериорной вероятности безотказной работы оборудования в операциях рассматриваемого процесса. Представленная в работе форма представления данных работы алгоритма позволяет создавать отчетную документацию по процессу анализа безотказной работы операций и оборудования в них. Она представляет собой табличный фрагмент документа, содержащий информацию об апостериорной вероятности безотказной работы оборудования, сгруппированную по операциям процесса.

Рассмотренные в исследовании положения являются основой для построения системы расчета показателя безотказной работы технологического процесса. Также они могут быть заложены в соответствующие подсистемы автоматизированных систем управления с целью повышения точности оценки параметров технологического процесса. Сформулированные положения позволяют реализовать автоматизацию процесса сбора и обработки показателей процесса и оборудования в нем. Разработанный алгоритм может быть использован для последующей автоматизации соответствующих управленческих и контрольных процессов с целью повышения эффективности формирования и принятия управленческих решений. При необходимости учета

дополнительной информации о процессе возможно дополнение и изменение данного алгоритма. Представленная в исследовании форма фиксации результатов расчетов может быть реализована как с применением отдельных программных продуктов, так и в рамках общепринятых, в том числе программ работы с электронными таблицами.

Список литературы

1. Петрова М.Э., Галямутдинова А.Л., Агейкин Т.М., Пантелеева О.Б. Принятие решений в условиях неопределенности – комплексных подходов МАИ и Байесовский анализ // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 12–3 (80). С. 101–104.

2. Бочков А.В. Определение априорного распределения наработки на отказ уникальных высокоответственных элементов экспертным методом // Надежность. 2023. Т. 23, № 1. С. 13–23.

3. Буряк Ю.И., Скрынников А.А. Управление испытаниями сложных технических систем на основе последова-

тельной оценки надежности и с учетом априорных данных по их элементам // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2021. Т. 18, № 2 (200). С. 13–23.

4. Агишев С.В., Лебедев Е.Л. Модель процесса метрологического обслуживания средств измерений на основе априорной вероятности функционирования средств измерений без метрологических отказов за заданное время // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 2. С. 547–552.

5. Исаева А.Э. Использование метода апостериорных вероятностей для прогнозирования условий безопасности // Аллея науки. 2024. Т. 1, № 1 (88). С. 212–217.

6. Близнюк А.А., Жиронкин С.Б., Слободянюк А.В. Алгоритм частично децентрализованной обработки апостериорной информации в комплексной системе обнаружения // Успехи современной радиоэлектроники. 2021. Т. 75, № 2. С. 48–56.

7. Жиронкин С.Б., Близнюк А.А., Котенко И.Ю. Характеристики обнаружения комплексной системы, объединяющей обнаружители с использованием апостериорных вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. 2020. № 1 (8). С. 4–10.