

Отказы по общей причине: определения и типичные ошибки

Common cause failures: definitions and typical errors

Нетес В.А.
Netes V.A.

Московский технический университет связи и информатики, Москва, Российская Федерация
Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation
v.a.netes@mtuci.ru



Нетес В.А.

Резюме. Цель статьи – проанализировать определения понятия «отказы по общей причине», приведенные в различных международных и отечественных стандартах, и указать на их недостатки; выявить и разобрать типичные ошибки, возникающие при использовании этого понятия и учете таких отказов в расчетах надежности систем. Важность этой темы обусловлена тем, что такие отказы снижают эффект от резервирования и должны учитываться при проектировании систем, к которым предъявляются высокие требования по надежности. **Методы.** В статье дан сравнительный анализ определений отказов по общей причине, приведенных в отечественных и международных стандартах; проведен анализ методов учета влияния таких отказов, представленных в различных публикациях; применены методы теории вероятностей.

Результаты. Выявлены расхождения между стандартами в определении понятия «отказы по общей причине» и недостатки, присущие некоторым из этих определений. Указаны типичные ошибки, имеющиеся в некоторых публикациях, касающиеся учета таких отказов. Наиболее детально рассмотрена самая простая и часто используемая при этом модель бета-фактора, указаны границы ее применения. **Выводы.** В различных стандартах целесообразно использовать единое определение отказов по общей причине, беря его из базового терминологического стандарта по надежности с соответствующей ссылкой, в самом термине и его определении слово «отказы» должно быть во множественном числе. Определения этого термина в ГОСТ EN 1070-2003 и ГОСТ 34332.3-2021 ошибочны, поскольку они совершенно не соответствуют содержанию определяемого понятия. Традиционная модель бета-фактора, предназначенная для учета отказов по общей причине при расчете вероятностей отказов, может использоваться только при малых значениях этих вероятностей.

Abstract. The **Aim** of the paper is to analyse the definitions of the term “common cause failures” given in various international and Russian standards and point out their shortcomings; to identify and analyse the typical errors in the use of this notion and consideration of such failures as part of system dependability calculation. The importance of the topic is due to the fact that such failures reduce the efficiency of redundancy and must be taken into account in the process of the design of systems with high dependability requirements.

Methods. The paper provides a comparative analysis of the definition of common cause failures given in Russian and international standards; analyses the methods of taking into account the effect of such failures presented in various publications; uses methods of the probability theory. **Results.** Differences between standards were identified in terms of the definition of the term “common cause failure”, as well as shortcomings of such definitions. Typical errors were pointed out in some publications dedicated to the methods of taking such failures into consideration. The simplest and most common beta-factor model was considered in most detail, the limits of its application were pointed out. **Conclusions.** It is advisable to use a single definition of common cause failures in different standards. It is to be taken from the basic terminological dependability standard with an appropriate reference. In the term itself and its definition, the word “failures” is to be in plural. The definition of this term in GOST EN 1070-2003 and GOST 34332.3-2021 are wrong, as they in no way correspond to the content of the defined notion. The conventional beta-factor model intended for taking into account common cause failures in the process of failure probability calculation can only be used in case of such probabilities being low.

Ключевые слова: расчет надежности систем, отказы по общей причине, стандарты, определения, типичные ошибки, модель бета-фактора.

Keywords: system dependability calculation, common cause failures, standards, definitions, typical errors, beta-factor model.

Для цитирования: Нетес В.А. Отказы по общей причине: определения и типичные ошибки // Надежность. 2023. №2. С. 19-25. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-2-19-25>
For citation: Netes V.A. Common cause failures: definitions and typical errors. Dependability 2023;2:19-25. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-2-19-25>

Поступила: 18.02.2023 / **После доработки:** 24.04.2023 / **К печати:** 15.06.2023
Received on: 18.02.2023 / **Revised on:** 24.04.2023 / **For printing:** 15.06.2023

Введение

При анализе надежности систем обычно делаются различные упрощающие предположения, которые облегчают решение задачи. Одним из них является предположение о том, что отказы различных элементов системы не зависят друг от друга. Однако это условие далеко не всегда имеет место, и в ряде ситуаций пренебрежение зависимостью отказов является недопустимым. Можно выделить два основных случая зависимости отказов.

Во-первых, возможна ситуация, когда отказ одного элемента влечет за собой отказ одного или нескольких других элементов. В качестве характерного примера можно привести события, случившиеся во время печально известного полета американского космического корабля «Аполлон-13», направлявшегося в 1970 году к Луне. Тогда отказ в одном из кислородных баков привел к выбросу из него струи кислорода, повредившей другое оборудование корабля, в частности, второй кислородный бак [1, 2]. В международной терминологии отказ, возникший в результате отказа другого объекта, называют вторичным (secondary), а отказ, не обусловленный прямо или косвенно отказом другого объекта, называют первичным (primary) [3]. В отечественной терминологии их называют соответственно зависимым и независимым [4].

Во-вторых, отказы нескольких элементов могут возникнуть вследствие какой-либо одной общей причины. Их так и называют: отказы по общей причине (ООП). Формальные определения таких отказов, имеющиеся в различных стандартах, будут приведены ниже. Если общей причиной является отказ какого-то элемента системы, то имеет место ситуация, описанная в предыдущем абзаце. Однако причина может быть и иной, в частности, лежать за пределами рассматриваемой системы. Например, проникновение влаги в некоторое устройство может привести к отказам нескольких его элементов.

Игнорирование зависимости отказов может приводить к грубым ошибкам при оценке надежности. Поэтому анализ ООП необходим при решении задач обеспечения надежности объектов ответственного назначения, в частности, систем безопасности [5]. Наиболее широко он применяется в атомной энергетике [6]. Этому способствовали расследование причин аварии на американской АЭС «Три Майл Айленд», происшедшей в 1979 году, и сделанные по его результатам выводы. Необходимость учета ООП в этой отрасли предписывается стандартами, нормативными документами

Ростехнадзора и МАГАТЭ. Конечно, ООП влияют на оценку надежности и в других отраслях. Например, еще в начале 1970-х стали учитывать одновременные отказы каналов связи при оценке надежности трактов передачи данных [7, 8] (термин ООП тогда еще не использовался, и в этих работах говорилось о коррелированных отказах). Достаточно общие математические модели для учета ООП стали разрабатываться в 1970-х и 1980-х годах.

Таким образом, правильное понимание соответствующих понятий и грамотный учет ООП являются весьма важными. К сожалению, в этой области далеко не все благополучно. Имеется множество разных определений ООП, не все из которых вполне корректны. В некоторых публикациях допущены ошибки в применении методов учета ООП при расчетах надежности и в интерпретации полученных результатов. Цель данной статьи – улучшить эту ситуацию. В ней анализируются определения ООП, приведенные в различных международных и отечественных стандартах, и разбираются типичные ошибки, связанные с ООП.

Определения отказов по общей причине

Существует довольно много различных определений ООП. Обзор таких определений в англоязычных источниках по состоянию на 2012 год был сделан в [2]. Здесь будет дан анализ определений ООП, приведенных в различных стандартах. С сожалением приходится констатировать, что эти определения различаются и не все из них корректны.

Определения ООП из различных международных и отечественных стандартов приведены соответственно в табл. 1 и табл. 2. При этом все рассмотренные отечественные стандарты разработаны с использованием международных или региональных (европейских) стандартов. Напомним, что в обозначениях идентичных стандартов соответствующий международный или региональный стандарт указан непосредственно после букв ГОСТ (для межгосударственных стандартов) или ГОСТ Р (для российских стандартов), в обозначениях модифицированных стандартов соответствующий международный стандарт указан в скобках после обычного обозначения межгосударственного или российского стандарта, для неэквивалентных стандартов соответствующий международный стандарт упомянут в предисловии к стандарту. Поэтому какие-то недостатки в наших стандартах могут быть обусловлены неточным переводом на русский язык.

Табл. 1. Определения ООП в международных стандартах

Стандарт	Определение	Примечание
IEC 60050-192:2015 [3]	Failures of multiple items, which would otherwise be considered independent of one another, resulting from a single cause. Отказы нескольких объектов, вызванные одной причиной, которые в противном случае считались бы независимыми друг от друга	Ссылки на это определение даны в IEC 60050-692:2017 и IEC 60050-821:2017
ISO 13849-1:2015	Failures of different items, resulting from a single event, where these failures are not consequences of each other. Отказы различных объектов, возникающие в результате одного события, в случае, когда эти отказы не являются следствиями друг друга	Сам термин в единственном числе, хотя в определении множественное число

Табл. 2. Определения ООП в отечественных стандартах

Стандарт	Определение	Примечание
ГОСТ Р 27.002–2009 (разработан с учетом основных нормативных положений IEC 60050-191:1990, не действует)	Отказы различных изделий или их составных частей, происходящие из-за одного события, если эти отказы не являются следствиями друг друга	Первый отечественный терминологический стандарт по надежности, в котором есть этот термин
ГОСТ 27.002–2015 (разработан с учетом IEC 60050-192:2015, не действует); ГОСТ Р 27.102–2021 [4]	Отказы различных объектов, возникающие вследствие одного события (отказа, ошибки персонала, внешнего или внутреннего воздействия), которые без рассмотрения причин считались бы независимыми	
ГОСТ Р 27.303–2021 (МЭК 60812:2018)	Отказы нескольких объектов, возникающие вследствие одного события, которые без рассмотрения причин считались бы независимыми	
ГОСТ ЕН 1070–2003 (идентичен европейскому стандарту EN 1070:98)	Отказ оборудования, вытекающий из единичного события, в тех случаях, когда этот отказ не является следствием другого отказа	В термине и в определении единственное число. Фактически определяет независимый отказ
ГОСТ Р МЭК 60880–2010, ГОСТ Р МЭК 60709–2011, ГОСТ Р МЭК 61226–2011	Отказ двух или более конструкций, систем или компонентов вследствие единичного конкретного события или единичной конкретной причины	В термине и в определении единственное число. Определения со ссылками на документы МАГАТЭ
ГОСТ Р МЭК 61508-4–2012	Отказ, являющийся результатом одного или нескольких событий, вызвавших одновременные отказы двух и более отдельных каналов в многоканальной системе, ведущих к отказу системы	В термине и в определении единственное число. Определение относится к частному случаю: отказ всей многоканальной системы
ГОСТ ISO 13849-1–2014	Повреждения разных частей машины, произошедшие в результате одного события и не являющиеся следствиями друг друга	Термин в единственном числе, хотя в определении множественное число. Говорится о повреждениях, а не об отказах
ГОСТ Р 57329–2016/ EN 13306:2010	Отказы разных элементов, возникающие в результате одного события, когда эти отказы не вытекают один из другого	
ГОСТ Р МЭК 61511-1–2018	Одновременные отказы разных устройств, вызванные одним событием, в котором эти отказы не являются последствиями друг друга	
ГОСТ Р МЭК 61513–2020	Отказ двух или более конструкций, систем и компонентов вследствие единичного события или причины	В термине и в определении единственное число
ГОСТ Р ИСО 26262-1–2020	Отказ двух или более элементов устройства в результате одного конкретного события или исходной причины, которая для всех этих элементов является внешней либо внутренней	В термине и в определении единственное число
ГОСТ 34332.3–2021 (учтены основные нормативные положения IEC 61508-2:2010, IEC 61508-4:2010, ISO/IEC Guide 51:2014)	Отказ оборудования, вызванный единичным событием в случаях, когда отказ не является следствием другого отказа	В термине и в определении единственное число. Фактически определяет независимый отказ

Первое, что бросается в глаза при взгляде на эти таблицы, это разнообразие определений. Такое положение нельзя считать нормальным. Подобная несогласованность подрывает доверие и уважение к стандартам, а также противоречит ГОСТ Р ИСО 10241-1-2013 [9]. Следует выработать единое определение, закрепить его базовым общетехническим терминологическим стандартом по надежности (они выделены в таблицах полужирным шрифтом), и в других стандартах приводить это же определение со ссылкой на базовый стандарт (в настоящее время это [3] и [4]). Как видно из табл. 1, именно так и поступили разработчики терминологических стандартов ИЕС 60050-692:2017 и ИЕС 60050-821:2017.

Во многих стандартах в самом термине ООП и его определении слово «отказ» стоит в единственном числе. Это противоречит базовым стандартам [3] и [4] и представляется нелогичным, поскольку понятие ООП предполагает возникновение отказов нескольких объектов. Вообще, если отказ один, то с чем же тогда его причина является общей? В стандарте ISO 13849-1 ситуация еще менее логичная: сам термин дан в единственном числе, а в определении использовано множественное число. Такой разницей не соответствует требованиям [9].

Особо стоит выделить определения в ГОСТ ЕН 1070-2003 и ГОСТ 34332.3-2021. Они весьма похожи друг на друга и, по своей сути, определяют независимый отказ, т.е. понятие почти что противоположное по смыслу ООП!

Попутно стоит обратить внимание на то, что в некоторых из указанных в табл. 2 стандартов есть серьезные ошибки и в других терминах, относящихся к надежности. Они есть, в частности, в ГОСТ Р 27.102-2021, ГОСТ ЕН 1070-2003, ГОСТ Р 57329-2016/EN 13306:2010, ГОСТ Р МЭК 60880-2010, ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012, ГОСТ 34332.3-2021. Однако их рассмотрение выходит за рамки темы данной статьи. Разбор некоторых подобных ошибок, объяснения причин их возникновения и предложения по улучшению общей ситуации со стандартизацией в области надежности были приведены в [10]. К сожалению, за время, прошедшее после публикации этой статьи, ситуация нисколько не улучшилась.

Отказы по общей причине и отказы общего вида

В терминологических стандартах [3, 4] с термином ООП соседствует другой термин – отказы общего вида (ООВ). К сожалению, их подчас путают или не делают между ними различия (см., например, [11]). Возможно, что этому способствуют краткие примечания, приведенные в указанных стандартах к этим терминам (они будут рассмотрены ниже). Поэтому важно разобраться в этих понятиях и соотношении между ними.

ООВ определяются как отказы различных объектов, характеризующиеся одним и тем же видом отказа [3, 4]. Под видом отказа понимается единица классифи-

кации отказов на основе установленных критериев: особенностей, причины, последствий отказа; функции, способность выполнения которой утрачена в результате отказа; или изменения состояния объекта [4]. Например, в электрических схемах часто выделяют отказы двух видов: обрыв – нарушение контакта там, где он должен быть, и короткое замыкание – возникновение контакта там, где его не должно быть. Если в нескольких элементах устройства произошли обрывы, то их можно считать ООВ. Не обязательно, что все они имеют какую-то общую причину. Об этом говорит примечание 1 к термину ООВ. В этой ситуации ООВ не будут ООП. С другой стороны, возможен случай, когда ООВ имеют общую причину, при этом ООВ будут и ООП. О такой возможности сказано в примечании 2 к термину ООВ. Например, общей причиной обрывов в разных элементах устройства может быть вибрация, которой это устройство подверглось.

В этом примере общая причина привела к ООВ. О такой возможности говорит примечание к термину ООП. Однако это вовсе не обязательно, и общая причина может привести к отказам различного вида в разных элементах системы. Например, влага, проникшая в некоторое устройство, может в одном из его элементов вызвать короткое замыкание, а в другом – нарушение контакта из-за возникшей при этом коррозии. Тогда это будут ООП, но не ООВ.

Учет отказов по общей причине в расчетах надежности

Игнорирование ООП может приводить к серьезным ошибкам в расчете надежности систем. Простой и наглядный пример, подтверждающий это, приведен в [5]. В нем рассмотрена система из двух параллельных элементов. При отсутствии ООП схема для расчета ее надежности имеет вид, изображенный на рис. 1а. Пусть вероятность безотказной работы каждого из элементов равна $P_i = 0,999$ ($i = 1, 2$). Тогда вероятность безотказной работы системы без учета ООП определяется как

$$P_{c1} = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) = 1 - (1 - 0,999)^2 = 0,999999.$$

Для учета ООП в схему вводится условный элемент, моделирующий ООП и соединяемый последовательно с парой параллельных основных элементов (рис. 1б). Пусть вероятность ООП $Q = 10^{-3}$. Тогда для вероятности безотказной работы системы получим:

$$P_{c2} = [1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2)] \cdot (1 - Q) = 0,999999 \cdot 0,999 = 0,998999.$$

Сравнивая значения $1 - P_{c2}$ и $1 - P_{c1}$, приходим к выводу, что из-за ООП реальная вероятность отказа системы возросла на три порядка!

Однако столь грубую ошибку, т.е. полное игнорирование ООП, может сделать разве что совсем уж малокомпетентный специалист. Не столь грубой, но также весьма серьезной и более распространенной ошибкой является попытка учета ООП для каждого элемента отдельно в предположении, что отказы элементов независимы.

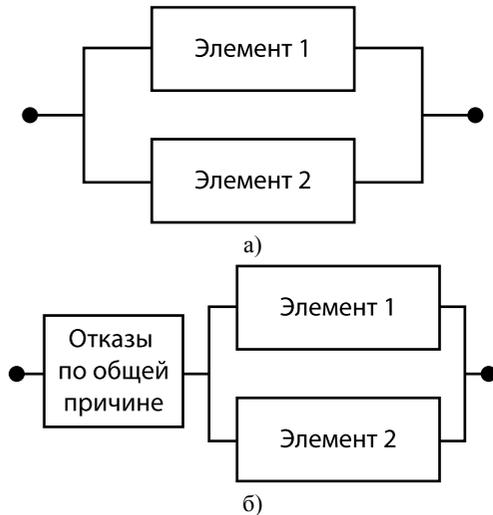


Рис. 1. Схема расчета надежности системы из двух параллельных элементов: а) – без учета ООП, б) – с учетом ООП

Это означает, что в качестве вероятностей безотказной работы элементов берутся значения $P_i' = P_i \cdot (1 - Q) = 0,999 \cdot 0,999 = 0,998001$. Тогда вероятность безотказной работы системы получится равной

$$P_{c3} = 1 - (1 - P_1')(1 - P_2') = 1 - (1 - 0,998001)^2 = 0,999996.$$

Сравнивая $1 - P_{c3}$ и $1 - P_{c2}$, получим, что при такой ошибке вероятность отказа системы оказывается меньше реальной в 250 раз, что также очень много (хотя и меньше, чем 10^3).

Для наглядности отказы, учитываемые в каждом из приведенных выше вариантов расчета, показаны на рис. 2.

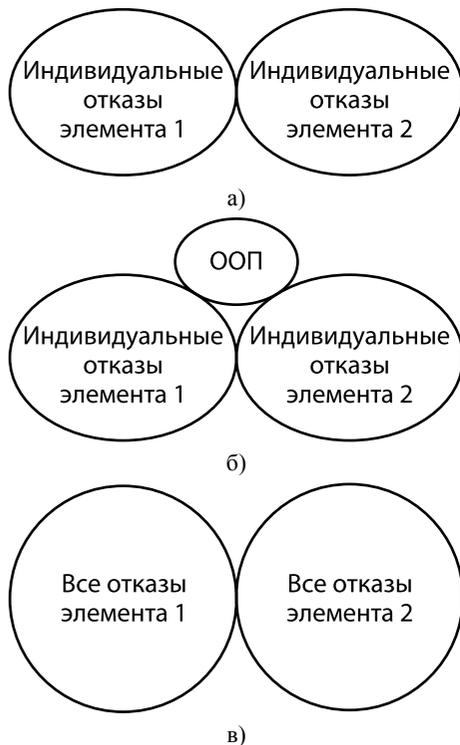


Рис. 2. Отказы элементов, учитываемые в разных вариантах расчета надежности системы: а) – при расчете P_{c1} , б) – при расчете P_{c2} , в) – при расчете P_{c3}

Приведенный пример убедительно показывает, что ООП действительно снижают эффективность резервирования, как об этом сказано в примечании к термину ООП в стандарте [3], причем весьма существенно.

Перейдем теперь к рассмотрению более общей ситуации. При анализе надежности систем часто используются бинарные индикаторы состояний элементов x_i : $x_i = 1$, если i -й элемент работоспособен, и $x_i = 0$, если i -й элемент неработоспособен. При наличии ООП они будут связанными (ассоциированными) случайными величинами [12]. В [12] математически доказано, что если при расчете вероятности безотказной работы последовательной (параллельной) системы состояния элементов предполагаются независимыми, тогда как на самом деле они статистически связаны, то полученная вероятность окажется заниженной (завышенной) по сравнению с истинным значением. Этот факт отражен также в учебном пособии [13], а для последовательных систем был указан в популярных справочниках [14, 15].

Порой этому обстоятельству дают такую интерпретацию: учет ООП повышает надежность последовательной системы [16, 17]. Такое высказывание представляется неудачным, поскольку никакие отказы и их учет никак не могут повысить надежность. Правильная формулировка может быть такой: неучет ООП занижает представление о надежности последовательной системы.

Чтобы это явление стало более понятным, приведем словесное объяснение его причин. Факт работоспособности некоторого элемента системы повышает вероятность отсутствия ООП, в силу чего повышаются и вероятности работоспособности всех остальных элементов, а значит и системы в целом. С другой стороны, факт отказа какого-то элемента повышает вероятность наличия ООП, в силу чего повышаются вероятности отказов остальных элементов, однако поскольку для отказа последовательной системы достаточно отказа только одного элемента, то отказы других элементов не ухудшат ситуацию. Поэтому вероятность работоспособности системы оказывается выше, чем она была бы при независимости элементов.

Для количественного учета ООП имеются различные математические модели: базового параметра, альфа-фактора, бета-фактора, множества греческих букв, биномиальная (шоковая). Они описаны и исследованы во многих публикациях, краткое описание их сути приведено в [2]. Самой простой и широко используемой из них является модель бета-фактора. Ее исследование было проведено в [16]. К сожалению, в этой статье получены результаты, с которыми нельзя согласиться. Дело в том, что некоторые сделанные там выводы противоречат указанным выше свойствам последовательных и параллельных систем с зависимыми элементами [12–15]. Более того, при некоторых значениях параметров в [16] вообще получаются значения вероятностей большие единицы! Причиной этого является ошибка, от которой предостерегали авторы [17]. Однако там суть дела описана довольно кратко, рассмотрим ее более подробно.

В основе модели бета-фактора лежат предположения, что отказ некоторого элемента (для упрощения записи обозначений его номер не указывается) может произойти из-за индивидуальной причины (событие I) или из-за общей причины (событие C), действующей на все элементы, причем полная вероятность отказа элемента q равна сумме вероятностей его отказов по индивидуальной и общей причине (как будет видно из дальнейших рассуждений, последнее предположение не всегда допустимо). Используемый в этой модели и давший ей название параметр β определяется как отношение вероятности отказа элемента по общим причинам к полной вероятности его отказа (по всем причинам): $\beta = P(C)/q$, откуда

$$P(C) = \beta q. \quad (1)$$

Из теории вероятностей хорошо известна формула для вероятности объединения (суммы, дизъюнкции – логического «или») двух событий, в соответствии с которой

$$q = P(I \cup C) = P(I) + P(C) - P(IC). \quad (2)$$

Отсюда видно, что вероятность объединения двух событий равна сумме вероятностей этих событий только в случае, когда эти события несовместны, т.е. $P(IC) = 0$. Именно такое предположение об отказах по индивидуальной и общей причине сделано в [16]. Однако несовместные события неизбежно будут зависимыми. Зависимость между отказами по индивидуальной и общей причине вряд ли имеет место на практике. Гораздо естественнее считать, что индивидуальные и общие причины отказов действуют независимо друг от друга. Тогда $P(IC) = P(I)P(C) > 0$, и (2) преобразуется к виду

$$q = P(I) + P(C) - P(I)P(C). \quad (3)$$

При малых значениях вероятностей $P(I)$ и $P(C)$ их произведение будет величиной более высокого порядка малости, чем сами эти вероятности, поэтому в этом случае последним членом в (3) можно пренебречь, т.е. вместо (3) положить

$$q \approx P(I) + P(C). \quad (4)$$

Именно это приближенное равенство, справедливое лишь при малых значениях вероятностей отказов, и лежит в основе модели бета-фактора [17]. При этом с учетом (1) и (4) можно считать, что

$$P(I) = (1 - \beta)q. \quad (5)$$

Однако в [16] модель бета-фактора используется и в тех ситуациях, когда лежащие в ее основе допущения не выполняются, т.е. при относительно больших значениях вероятности отказа. Именно эта ошибка видимо и послужила основной причиной того, что некоторые результаты и выводы этой статьи оказались неверными.

Отметим, что в [17] описана модификация модели, которая позволяет преодолеть указанное ограничение. При этом $P(C)$ по-прежнему определяется равенством (1), а вместо (5) используется равенство $P(I) = (1 - \beta)q/(1 - \beta q)$. Оно получается как решение уравнения (3), в которое подставлено $P(C)$, определяемое равенством (1).

Кроме того, существует разновидность модели бета-фактора, в которой рассматриваются не вероятности, а интенсивности отказов [2]. При этом общие и инди-

видуальные причины отказов также предполагаются независимыми, а полная интенсивность отказов представляется в виде суммы

$$\lambda = \lambda_c + \lambda_i, \quad (6)$$

где $\lambda_c = \beta\lambda$ – интенсивность ООП, $\lambda_i = (1 - \beta)\lambda$ – интенсивность отказов по индивидуальным причинам. Это означает, что параметр β определяется как отношение интенсивности ООП к полной интенсивности отказов. При этом равенство (6) является точным, а не приближенным, как (4), поэтому предположение о малости вероятностей отказов здесь уже не требуется. Однако необходимо, чтобы интенсивности отказов были постоянными, это эквивалентно тому, что наработки до отказов имеют экспоненциальные распределения.

Заключение

ООП снижают эффект от резервирования и поэтому обязательно должны учитываться при проектировании систем, к которым предъявляются высокие требования по надежности. Поэтому важно правильно понимать и использовать это понятие, в частности не путать с отказами общего вида. К сожалению, определения отказов по общей причине весьма многочисленны и различаются в разных стандартах. Целесообразно использовать единое определение, беря его из базового терминологического стандарта по надежности с соответствующей ссылкой, как это установлено правилами стандартизации. При этом и в самом термине, и в его определении слово «отказы» должно быть во множественном числе. Особенно неудачны определения в ГОСТ ЕН 1070–2003 и ГОСТ 34332.3–2021, поскольку они совершенно не соответствуют содержанию определяемого понятия. Отказы, в том числе по общей причине, не могут повысить надежность. Однако неучет таких отказов в некоторых случаях может снизить оценку надежности. Самая простая и часто используемая математическая модель для учета отказов по общей причине при расчете надежности – модель бета-фактора для вероятностей отказов – может использоваться только при малых значениях этих вероятностей. В противном случае она может приводить к результатам, которые будут диаметрально противоположны реальной картине.

Библиографический список

1. Карцев В.П., Хазановский П.М. Стихиям не подвластен: 2-е изд., доп. М.: Знание, 1980. 192 с.
2. Jones H.W. Common cause failures and ultra reliability // 42nd Intern. Conf. on Environmental Systems, 2012, San Diego [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/268473930_Common_Cause_Failures_and_Ultra_Reliability.
3. IEC 60050-192:2015. International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability.
4. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения.
5. Аронов И.З. Анализ зависимых отказов – важный способ обеспечения безопасности сложных систем // Методы менеджмента качества. 2004. № 10. С. 49–53.

6. Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М. Безопасность ядерных энергетических установок: Учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 280 с.

7. Каналы передачи данных / Под ред. Шварцмана В.О. М.: Связь, 1970. 304 с.

8. Шварцман В.О., Михалев Д.Г. Расчет надежностных характеристик трактов передачи данных. М.: Связь, 1975. 152 с.

9. ГОСТ Р ИСО 10241-1–2013. Терминологические статьи в стандартах. Часть 1. Общие требования и примеры представления.

10. Нетес В.А. Как вернуть доверие? О системе стандартов «Надежность в технике» // Стандарты и качество. 2019. № 2. С. 19–24.

11. Морозов В.Б., Токмачев Г.В. Подход к моделированию отказов по общей причине в ВАБ проектов новых АЭС с ВВЭР-1000 // Изв. вузов. Ядерная энергетика. 2008, № 4, с.31–41.

12. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Пер. с англ. Ушакова И.А. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит, 1984. 328 с.

13. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: Учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2008. 239 с.

14. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975. 472 с.

15. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. Ушакова И.А. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

16. Антонов А.В., Чепурко В.А., Черняев А.Н. Исследование модели учета отказов по общей причине бета-фактора // Надежность. 2019. № 2. С. 9–17.

17. Ершов Г.А., Ермакович Ю.Л., Парфентьев М.А. Моделирование отказов по общей причине в рамках ВАБ АЭС на основе новых информационных технологий и подходов // Сб. тр. 5-й Междунар. научно-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 2007, Подольск [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2007/disc/documents/f129.pdf>.

References

1. Kartsev V.P., Khazanovsky P.M. [Beyond the elements: second edition]. Moscow: Znanie; 1980. (in Russ.)

2. Jones H.W. Common cause failures and ultra reliability. 42nd Intern. Conf. on Environmental Systems; San Diego; 2012. Available at: https://www.researchgate.net/publication/268473930_Common_Cause_Failures_and_Ultra_Reliability.

3. IEC 60050-192:2015. International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability.

4. GOST R 27.102– 2021. Dependability in technics. Dependability of item. Terms and definitions. (in Russ.)

5. Aronov I.Z. [Analysis of secondary failures is an important way of ensuring the safety of complex systems]. *Metody menedzhmenta kachestva* 2004;10:49-53. (in Russ.)

6. Samoylov O.B., Usynin G.P., Bakhmetiev A.M. [Safety of nuclear power plants: a course book]. Moscow: Energoatomizdat; 1989. (in Russ.)

7. Shvartsman V.O., editor. [Data communication channels]. Moscow: Sviiaz; 1970. (in Russ.)

8. Shvartsman V.O., Mikhaliyov D.G. [Calculating the dependability characteristics of data communication paths]. Moscow: Sviiaz; 1975. (in Russ.)

9. GOST R ISO 10241-1-2013. Terminological entries in standards. Part 1. General requirements and examples of presentation.

10. Netes V.A. [How to regain trust? About the system of standards “Dependability in engineering”]. *Standarty i kachestvo* 2019;2:19-24. (in Russ.)

11. Morozov V.B., Tokmachiov G.V. [An approach to simulating common cause failures in the PSA of new NPP designs with VVER-1000]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika* 2008;4:31-41. (in Russ.)

12. Barlow R., Proschan F. Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models. Moscow: Nauka, Chief Editorial Board for Literature on Physics and Mathematics; 1984. (in Russ.)

13. Ushakov I.A. [Course of systems dependability theory]: a study guide for higher education institutions. Moscow: Drofa; 2008. (in Russ.)

14. Kozlov B.A., Ushakov I.A. [Handbook for dependability calculation of electronic and automation equipment]. Moscow: Sov. radio; 1975. (in Russ.)

15. Ushakov I.A., editor. [Dependability of technical systems: a handbook]. Moscow: Radio i sviaz; 1985. (in Russ.)

16. Antonov A.V., Chepurko V.A., Cherniaev A.N. Research of the beta-factor model of accounting for common cause failures. *Dependability* 2019;2:9-17.

17. Yershov G.A., Yermakovich Yu.L., Parfentiev M.A. [Simulating common cause failures as part of PSA of NPP using new information technology and techniques]. In: Proceedings of the 5-th International Science and Engineering Conference Ensuring the Safety of NPP with PWR; Podolsk; 2007. Available at: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2007/disc/documents/f129.pdf>. (in Russ.)

Сведения об авторе

Нетес Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор Московского технического университета связи и информатики, Москва, Российская Федерация, e-mail: v.a.netes@mtuci.ru.

About the author

Viktor A. Netes, Doctor of Engineering, Professor, Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russian Federation, e-mail: v.a.netes@mtuci.ru.

Вклад автора в статью

Нетес В.А. провел анализ международных и отечественных стандартов в части определений отказов по общей причине и выявлены имеющиеся в них недостатки; проведен анализ публикаций, посвященных учету отказов по общей причине в расчетах надежности, указаны имеющиеся в них типичные ошибки и неточности, объяснены их причины.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.