УДК 004.05: 51-74

В.И. Фрейман

АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

В статье решаются вопросы обработки и принятия решения по результатам тестового диагностирования элементов систем управления. Сформулирована проблема обеспечения качества процедур диагностирования, показана важность этапа дешифрации и оценки результатов контроля, определена цель работы. Предложена диагностическая модель проверки правильности функционирования, в которой атомарным объектом контроля является элементарная функция. Проанализированы основные положения математической статистики для оценки событий при принятии решения. Введены основные термины и условия для определения явления компенсации дифференциальных оценок интегральным результатом: положительная и отрицательная компенсация, «жесткое» и «мягкое» условия компенсации, пороговые значения принятия решения; приведены иллюстрирующие примеры. Показано, что из-за линейного формата выбранного критерия оценивания возникает риск ошибочного принятия решения из-за явления компенсации интегральным результатом дифференциальных составляющих. Предложена методика количественной оценки рисков для двоичной и многозначной шкалы оценивания. Выполнен анализ вероятностных характеристик явления компенсации для разных условий принятия решения. Даны практические рекомендации по учету последствий компенсации для двоичной и многозначной шкал оценивания и анализу рисков ошибочного принятия решения по результатам диагностирования элементов систем управления.

Ключевые слова: тестовое диагностирование, элементы, системы управления, риск, компенсация, принятие решения, вероятностные характеристики.

Введение

Производственная и экономическая деятельность современных предприятий и организаций характеризуется реализацией в них широкого спектра основных и вспомогательных процессов. Их основой является *информационное взаимодействие* между участниками, количественные и качественные показатели которого во многом определяют эффективность и результативность соответствующих процессов. Физической основой для обмена информацией является *программно-техническая платформа*, реализующая передовые информационные и коммуникационные технологии [1]. Указанная *распределенная инфраструктура* (РИС) предназначена для организации взаимодействия объектов *технологических систем*, формирующих и сопровождающих бизнес-процессы. Показатели качества профильных процессов существенно зависят от характеристик аппаратных и программных средств распределенных инфраструктур [2]. Для этого необходим мощный инструментарий, который реализуется *системами управления* (СУ), решающими поставленные задачи эффективной реализацией процедур конфигурирования, мониторинга и диагностирования [3]. Поэтому важной и актуальной задачей является повышение качественных и эксплуатационных характеристик элементов систем управления распределенными инфраструктурами с использованием методов и процедур диагностирования [2].

После реализации выбранного вида и количества контролирующих мероприятий, получения, дешифрации и обработки итоговых данных проверки (диагностирования, тестирования) формируются оценки результатов в виде степени выполнения совокупности *элементарных функций* (ЭФ), предусмотренных заданной *диагностической моделью проверки правильности функционирования* объекта контроля – элемента системы управления распределенной инфраструктурой. Далее возникает актуальная задача определения оценок, составляющих иерархической диагностической модели вышележащих уровней в следующей последовательности: элементарные функции $\rightarrow$ группы функций $\rightarrow$ подсистемы видов обеспечения $\rightarrow$ виды обеспечения $\rightarrow$ элемент системы управления. Отметим, что приведенная последовательность может быть сокращена путем уменьшения количества уровней и увеличения составляющих каждого уровня.

Наиболее простым и апробированным инструментом решения подобного типа задач является *метод сверток*, который предлагается представить в формате *аддитивного интегро-дифференциального критерия оценивания* (АИДКО) [4]. Однако существенным недостатком указанного метода является возможность *компенсации* (парирования) одних оценок другими (например, высоких низкими и наоборот). При этом полученный итоговый результат (интегральная оценка), например, усредненная или средневзвешенная, не отражает действительное распределение составляющих (дифференциальных оценок), наличие «выбросов», и т.п.

Целью статьи является исследование проблемы анализа *рисков* принятия решения при оценке результатов тестового диагностирования элементов систем управления, которые возникают вследствие линейного формата аддитивного интегро-дифференциального критерия.

Материалы и методы

Применение некоторых положений математической статистики для определения условий компенсации. Из-за линейного формата АИДКО имеет место риск неправильного принятия решения – влияние неопределенности в ожидаемом результате. Риск можно выразить в терминах комбинации «последствий» и связанных с ними вероятностей. В данном случае последствием является возникновение явления компенсации значения (или для двоичной шкалы – знака) дифференциальной оценки значением (знаком) интегральной оценки. Это явление требует отдельного изучения, поскольку и при равнозначных, и при неравнозначных весовых коэффициентах в АИДКО (а на практике обычно встречаются оба варианта) оно приводит к необходимости анализа всех дифференциальных оценок и принятию решения о дополнительном диагностировании.

Для анализа явления компенсации результатов тестирования воспользуемся аппаратом *математической статистики*, адаптированным к рассматриваемой предметной области. В математической статистике одной из основных задач является проверка статистических гипотез. Наибольшее применение указанная задача получила в областях, где используется «бинарное» («двоичное») принятие решения (две гипотезы – H_0 и H_1) на основании выбранного критерия сравнения. При этом важным является оценить возможность (условия, вероятность) ошибочного принятия решения (неправильного выбора гипотезы). В зависимости от выбора гипотез ошибки классифицируются как «ошибки первого рода» и «ошибки второго рода» [5]. Очевидно, что ошибки являются взаимно-симметричными, т.е. при смене нумерации гипотез меняются местами ошибки (Таблица 1).

Таблица 1 – Иллюстрация принятия решения

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="2">Верная гипотеза</td></tr>
<tr><td>H_0</td><td>H_1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Результат применения критерия</td><td>H_0</td><td>H_0 верно принята</td><td>H_0 неверно принята
H_1 неверно отвергнута
(ошибка второго рода)</td></tr>
<tr><td>H_1</td><td>H_0 неверно отвергнута
H_1 неверно принята
(ошибка первого рода)</td><td>H_1 верно принята</td></tr>
</table>

На практике нулевой гипотезой H_0 считается «нормальное» («по умолчанию») состояние объекта, а H_1 – альтернативное состояние. В этом случае ошибка первого рода, называемая в технике «ложной тревогой», «ложным срабатыванием», «ложной браковкой» и т.п., возникает в случае принятия решения в пользу гипотезы H_1 при верной гипотезе H_0. Ошибка второго рода, называемая в технике «пропуском события» и т.п., возникает в случае принятия решения в пользу гипотезы H_0 при верной гипотезе H_1. Очевидно, что ошибки коррелированы между собой – уменьшение вероятности одной приводит к увеличению вероятности другой. В каждом конкретном случае определяется, какое событие (ошибка) важнее, и принимается компромиссное решение. Так, например, ошибка второго рода в большом количестве случаев более критична, поэтому ей уделяется повышенное внимание.

В рассматриваемой предметной области – определение степени выполнения элементарной функции, рассчитываемой с использованием интегро-дифференциального критерия, сформулируем гипотезы следующим образом. Пусть H_0 – ЭФ выполняется, H_1 – ЭФ не выполняется. При этом будем считать, что ошибки возникают в случаях, когда результаты конкретных тестов (дифференциальные оценки, представленные также в двоичной шкале «положительный/отрицательный») отличаются от принятого решения о выполнении или не выполнении ЭФ.

Будем считать, что ошибка первого рода возникает в случае, когда принимается решение о том, что ЭФ не выполняется, а при этом один или несколько результатов тестов – положительные. Аналогично, будем считать, что ошибка второго рода возникает в случае, когда принимается решение о том, что ЭФ выполняется, а при этом один или несколько результатов тестов – отрицательные. Указанные проблемы могут возникать на всех уровнях принятия решения – по группе функций (при невыполнении некоторых ЭФ), по подсистеме (при невыполненных ГФ и/или ЭФ), по виду обеспечения – при отрицательных оценках ПС. При переходе от двухуровневой к многоуровневой шкале последствия ошибок при принятии решения усиливаются.

Анализ возможности компенсации дифференциальных оценок интегральным результатом. Сформулируем условия, по которым принимается решение о возможности расчета степени выполнения элементарной функции в зависимости от результатов проверяющих его тестов. При этом примем, что результаты тестирования оцениваются по двоичной шкале – результат теста «отрицательный» или «положительный». Пороговые значения для оценки результатов тестирования определяются, например, процентом правильно выполненных элементарных проверок, либо суммой результатов выполнения элементарных проверок (с соблюдение условий нормирования – сумма результатов всех решенных заданий равна 1, а также равнозначности весов (показателей важности, значимости) тестов) [6].

Примем, что степень выполнения ЭФ по результатам контролирующих его тестов также определяется по двоичной шкале – «ЭФ выполняется» или «ЭФ не выполняется». Пороговые значения для построения АИДКО и определения степени выполнения ЭФ могут быть сформулированы в соответствие с разными критериями, например :

- процент положительных (N^+) результатов из поданных N тестов ($N = N^+ + N^-$) превышает $N_{\text{порог.}}$;
- значение степени выполнения ЭФ, построенное с использованием АИДКО (с учетом нормализованных в интервале [0; 1] результатов тестов и значений их весовых коэффициентов), превышает заданное $O_{\text{порог.}}$.

Можно расширить шкалу вводом дополнительных условий о возможности или невозможности расчета степени выполнения ЭФ по интегро-дифференциальному критерию. Например, можно ввести условие, что количество отрицательных N^- результатов тестирования из N тестов не превышает заданное пороговое значение $N_{\text{порог.}}$; или количество положительных N^+ результатов тестирования из N тестов превышает заданное пороговое значение $N_{\text{порог.}}$.

При этом возможны следующие способы принятия решения о возможности расчета степени выполнения ЭФ по результатам тестирования:

а) расчет степени выполнения ЭФ производится только в том случае, когда количество отрицательных результатов тестов не превышает заданное пороговое значение ($N^- < N_{\text{порог.}}$, где $N_{\text{порог.}} = 1/3$, 1/4 и т.п.; в предельном случае $N_{\text{порог.}} = 0$, т.е. все N тестов должны дать положительные результаты: $N^- = 0$; $N^+ = N$);

б) расчет степени выполнения ЭФ производится в любом случае, даже при наличии произвольного количества отрицательных результатов тестов.

В дальнейшем ограничимся введенной выше двухуровневой шкалой и общим подходом к принятию решения о возможности расчета АИДКО (вариант б) [7].

С учетом введенных подходов к оценке результатов тестирования и степени выполнения ЭФ сформулируем условия для определения компенсации:

- «жесткое»: компенсация имеет место при несовпадении значения хотя бы одной дифференциальной оценки со значением интегральной оценкой при выбранной шкале оценивания;
- «мягкое»: компенсация имеет место при превышении количества значений дифференциальных оценок,

несовпадающих со значением интегральной оценки при выбранной шкале оценивания, заданного порогового значения.

Далее будем рассматривать условия возникновения компенсации при обоих вариантах ошибок (первого и второго рода).

Пример 1. Рассмотрим пример определения условий компенсации при расчете степени выполнения ЭФ $Э_1$ ($О_1$), контролируемого пятью тестами с результатами $О_{11}$ ... $О_{15}$. Степень выполнения $О_1$ будем рассчитывать с использованием количественного критерия АИДКО с заданным пороговом значением $N_{порог.} = 3$: $N^+ \geq N_{порог.}$ – ЭФ выполняется, $N^+ < N_{порог.}$ – ЭФ не выполняется. Определим условия компенсации для «жесткого» условия принятия решения (количество несовпадающих со значением степени выполнения ЭФ результатов тестов $N_{\neq} = 0$ – компенсации нет, $N_{\neq} > 0$ – компенсация есть) при двоичной шкале оценивания и равнозначных весовых коэффициентах и сведем результаты расчетов в Таблицу 2.

Таблица 2 – Иллюстрация к примеру 1

№	$О_{11}$	$О_{12}$	$О_{13}$	$О_{14}$	$О_{15}$	N^+	$О_1$	$N_{\neq}$	Вывод
1	0	0	0	0	0	**0**	**0**	**0**	Компенсации нет
2	0	0	1	0	0	**1**	**0**	**1**	Компенсация оценкой $О_1$(0) результата $О_{13}$ (1)
3	0	0	1	1	0	**2**	**0**	**2**	Компенсация оценкой $О_1$(0) результатов $О_{13}$ (1) и $О_{14}$ (1)
4	0	1	1	1	0	**3**	**1**	**2**	Компенсация оценкой $О_1$ (1) результатов $О_{11}$ (0) и $О_{15}$ (0)
5	1	1	1	1	0	**4**	**1**	**1**	Компенсация оценкой $О_1$ (1) результата $О_{15}$ (0)
6	1	1	1	1	1	**5**	**1**	**0**	Компенсации нет

Пример 2. Для начальных условий примера 1 определим условие компенсации для «мягкого» условия принятия решения (пороговое значение принятия решения о компенсации $N^к_{порог.} = 1$, т.е. если количество несовпадающих со значением степени выполнения ЭФ результатов тестов $N_{\neq} \leq 1$ – компенсации нет, $N_{\neq} > 1$ – компенсация есть) при двоичной шкале оценивания и равнозначных весовых коэффициентах и сведем результаты расчетов в Таблицу 3.

Таблица 3 – Иллюстрация к примеру 2

№	O_1^1	O_1^2	O_1^3	O_1^4	O_1^5	N^+	O_1	$N_{\neq}$	Вывод
1	0	0	0	0	0	**0**	**0**	**0**	Компенсации нет
2	0	0	1	0	0	**1**	**0**	**1**	Компенсации нет
3	0	0	1	1	0	**2**	**0**	**2**	Компенсация оценкой O_1(0) результатов O_{13} (1) и O_{14} (1)
4	0	1	1	1	0	**3**	**1**	**2**	Компенсация оценкой O_1 (1) результатов O_{11} (0) и O_{15} (0)
5	1	1	1	1	0	**4**	**1**	**1**	Компенсации нет
6	1	1	1	1	1	**5**	**1**	**0**	Компенсации нет

В условие определения возникновения компенсации может быть включена разная значимость ошибок первого и второго рода. Например, если принято считать, что значимость ошибки второго рода (пропуск) значительно выше, чем первого рода («ложная тревога»), то не учитывать соответствующие варианты как компенсацию (например, варианты № 2 и № 3 таблицы 2 и вариант № 3 таблицы 3).

Условия возникновения компенсации определяются с учетом требований к процедуре обработки результатов тестового диагностирования, приведенных в соответствующей нормативной документации (руководящие документы, приказы, инструкции и т.п.) [8]. После формулирования условий по результатам всех тестов определяются их бинарные (двоичные) оценки, и далее строится интегро-дифференциальный критерий либо по всем результатам, либо только по положительным (в этом случае при двоичной шкале оценивания компенсации не будет). После этого определяется факт (например, по выполнению условия $O \geq O_{\text{порог.}}$) и степень выполнения элементарной функции (по многоуровневой шкале). Сборка (свертка) каждого последующего уровня иерархической структуры диагностической модели (виды обеспечения, их подсистемы, группы функций и элементарные функции) реализуется только при условии выполнения всех составляющих предшествующего уровня [9].

Для задания количественных параметров условия компенсации, например, порогового значения $N^{\text{к}}_{\text{порог.}}$, можно путем расчета или полного перебора определить вероятностные показатели компенсации (процент несовпадающих критериев, вероятность возникновения компенсации и т.п.). Сравнив полученные значения с допустимыми, при необходимости можно скорректировать количественные параметры условий возникновения компенсации.

Формализованное определение рисков возникновения компенсации. Далее рассмотрим условия возникновения компенсации при «жестком» принятии решения. Назовем возникновение ошибки первого рода «отрицательной компенсацией», а ошибки второго рода – «положительной компенсацией». Физический смысл отрицательной компенсации – принято отрицательное решение (ЭФ не выполняется) при некотором количестве положительных результатов тестов. Соответственно, физический смысл положительной компенсации – принято положительное решение (ЭФ выполняется) при некотором количестве отрицательных результатов тестов.

Явление компенсации объясняется линейным форматом интегро-дифференциального критерия, поскольку для мультипликативного формата критерия при бинарной системе принятия решения указанная проблема не актуальна. Действительно, в мультипликативном критерии при положительных дифференциальных оценках и интегральная оценка положительная, а если имеет место хотя бы одна отрицательная дифференциальная оценка, то и интегральная будет отрицательной. Но поскольку построение мультипликативного критерия более сложное (например, с точки зрения единства размерности шкал для интегральных и дифференциальных оценок, алгоритмов вычисления весовых коэффициентов, соответствия диагностической модели и т.д.), на практике чаще применяются линейные критерии. При этом возникают частные задачи:

1. Дать определение компенсации для данного конкретного случая.
2. Проанализировать негативные последствия компенсации.
3. Сформулировать условия возникновения компенсации.
4. Разработать алгоритмы парирования компенсации.

Рассмотрим подходы к решению указанных частных задач для двоичной шкалы принятия решения (результат положительный/отрицательный) и без учета возможной различной значимости ошибок первого второго рода.

1. Как было сказано выше, компенсация может быть представлена как аналог проявления статистических ошибок первого и второго рода. Компенсация возникает при несовпадении знака (при двоичном критерии) анализируемой дифференциальной и интегральной оценок, т.е. интегральная оценка «маскирует», «компенсирует» дифференциальную.

Для двоичной шкалы вводится пороговое значение ($O_{порог.}$) и условия принятия решения относительно оценки O через разность $\Delta O = O - O_{порог.}$:

$O < O_{порог.}$; $O - O_{порог.} < 0$; $\Delta O < 0$ – отрицательный результат, (1)
$O \geq O_{порог.}$; $O - O_{порог.} \geq 0$; $\Delta O \geq 0$ – положительный результат. (2)

Рассмотрим определение компенсации через АИДКО ЭФ $Э_i$ (оценка степени выполнения $О_i$) и оценки контролирующих ее тестов $О_{ij}$, где j – индекс контролирующего $Э_i$ теста $Т_j$, $j \in [1; H]$, где H – количество тестов, которые контролируют $Э_i$.

Определение 1. Назовем «отрицательной компенсацией» (ошибка первого рода) событие, описываемое следующим условием:

$\Delta О_i < 0$, и $\exists\ \Delta О_{ij} \geq 0$, $j \in [1; H]$, $\Delta О_i = О_i - О_{\text{порог.}}$; $\Delta О_{ij} = О_{ij} - О_{\text{порог.}}$.

Определение 2. Назовем «положительной компенсацией» (ошибка второго рода) событие, описываемое следующим условием:

$\Delta О_i \geq 0$, и $\exists\ \Delta О_{ij} < 0$, $j \in [1; H]$, $\Delta О_i = О_i - О_{\text{порог.}}$; $\Delta О_{ij} = О_{ij} - О_{\text{порог.}}$.

Из определения 1 можно сделать вывод, что отрицательная компенсация имеет место в случае принятия решения о том, что ЭФ не выполняется, при наличии как минимум одного положительного результата среди контролирующих ее тестов.

Из определения 2 можно сделать вывод, что положительная компенсация имеет место в случае принятия решения о том, что ЭФ выполняется, при наличии как минимум одного отрицательного результата среди контролирующих ее тестов.

2. Негативное следствие компенсации заключается в том, что знаки интегральной оценке и одной или нескольких дифференциальных оценок не совпадают. Это приводит к необходимости анализа всех дифференциальных оценок и реализации условных алгоритмов тестового диагностирования для повышения точности оценки. Очевидно, что при переходе от двоичной шкалы к более сложным шкалам (троичным, четверичным и т.д.) определение, следствие и условия возникновения компенсации значительно усложняются, поэтому указанные вопросы – тема отдельного исследования.

3. Дадим общие формулировки условий компенсации интегральной оценки дифференциальных в составе аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки:

$$О_i = \lambda_{i1} \cdot О_{i1} + \lambda_{i2} \cdot О_{i2} + \ldots + \lambda_{ij} \cdot О_{ij} + \ldots + \lambda_{iH} \cdot О_{iH}. \quad (3)$$

Вычтем из левой и правой частей выражения $О_{\text{порог.}}$:

$$О_i - О_{\text{порог.}} = \lambda_{i1} \cdot О_{i1} + \lambda_{i2} \cdot О_{i2} + \ldots + \lambda_{ij} \cdot О_{ij} + \ldots + \lambda_{iH} \cdot О_{iH} - О_{\text{порог.}}.$$

С учетом выполнения условий нормирования весовых коэффициентов (их сумма равна 1) можно записать:

$$О_i - О_{\text{порог.}} = \lambda_{i1} \cdot О_{i1} + \lambda_{i2} \cdot О_{i2} + \ldots + \lambda_{ij} \cdot О_{ij} + \ldots + \lambda_{iH} \cdot О_{iH} - 1 \cdot О_{\text{порог.}} =$$
$$= \lambda_{i1} \cdot О_{i1} + \lambda_{i2} \cdot О_{i2} + \ldots + \lambda_{ij} \cdot О_{ij} + \ldots + \lambda_{iH} \cdot О_{iH} - (\lambda_{i1} + \lambda_{i2} + \ldots + \lambda_{ij} + \ldots + \lambda_{iH}) \cdot О_{\text{порог.}}.$$

Представим полученное выражение в следующем виде:

$$O_i - O_{\text{порог.}} = \lambda_{i1}\cdot(O_{i1} - O_{\text{порог.}}) + \lambda_{i2}\cdot(O_{i2} - O_{\text{порог.}}) + \ldots + \lambda_{ij}\cdot(O_{ij} - O_{\text{порог.}}) + \ldots + \lambda_{iH}\cdot(O_{iH} - O_{\text{порог.}}).$$

Запишем разностное уравнение:

$$\Delta O_i = \lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{ij}\cdot\Delta O_{ij} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH}. \quad (4)$$

Определим условие единичной отрицательной компенсации интегральной оценкой (оценкой степени выполнения элементарной функции) O_i дифференциальной оценки O_{ij} (оценки за тест T_j):

$$\Delta O_{ij} \geq 0,\ \Delta O_i < 0;$$
$$\lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{ij}\cdot\Delta O_{ij} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH} < 0;$$
$$\lambda_{ij}\cdot\Delta O_{ij} < -[\lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH}];$$
$$\Delta O_{ij} < -[\lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH}] / \lambda_{ij}.$$

Определим условие единичной положительной компенсации интегральной оценкой (оценкой степени выполнения элементарной функции) O_i дифференциальной оценки O_{ij} (оценки за тест T_j):

$$\Delta O_{ij} < 0,\ \Delta O_i \geq 0;$$
$$\lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{ij}\cdot\Delta O_{ij} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH} \geq 0;$$
$$\lambda_{ij}\cdot\Delta O_{ij} \geq -[\lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH}];$$
$$\Delta O_{ij} \geq -[\lambda_{i1}\cdot\Delta O_{i1} + \lambda_{i2}\cdot\Delta O_{i2} + \ldots + \lambda_{iH}\cdot\Delta O_{iH}] / \lambda_{ij}.$$

Условия компенсации могут быть конкретизированы в зависимости от необходимости и принятых правил (требований). Например, если весовой коэффициент результата достаточно мал (например, меньше 0,05 и т.п.), то можно считать данный критерий несущественным для дальнейшего анализа условий возникновения компенсации. Или можно анализировать на выполнение условий компенсации только результат с максимальным весовым коэффициентом (или несколько результатов с наибольшими весовыми коэффициентами) и т.д. Эти ограничения уменьшат сложность реализации и увеличат сходимость алгоритма анализа, снижая точность вычислений на величину, не превышающую заданного показателя.

4. Проверка компенсации производится после реализации всех проверяющих тестов, дешифрации результатов проверок и заполнения таблицы диагностирования. Каждая дифференциальная оценка проверяется на соответствие знака с интегральной оценкой для проверки выполнения сформулированных условий компенсации: $\text{sign}(\Delta O_{ij}) \neq \text{sign}(\Delta O_i)$. Далее в зависимости от соотношения знаков принимается

решение о присутствии отрицательной или положительной компенсации. После этого в соответствии с принятым алгоритмом определяется необходимость коррекции результата (повторная реализация теста – при положительной компенсации, или реализация других тестов – при отрицательной компенсации). В рамках данного алгоритма могут быть введены ограничения анализа компенсации (из соображений, приведенных выше):

а) При определенных соотношениях значений весовых коэффициентов (например, рассматривать условия компенсации только для оценки с максимальным весовым коэффициентом, или для оценок, весовые коэффициенты которых превышают заданное пороговое значение, и т.п.).

б) При значимых отличиях абсолютных значений $|\Delta O_{ij}|$ и $|\Delta O_i|$, например, более чем на 10 % и т.п.

в) При определенном количестве несовпадающих с интегральной оценкой дифференциальных оценок (в случае равнозначных или мало различающихся критериев), например, более чем 30 % и.т.п.

Анализ условий компенсации является основанием для реализации условных процедур диагностирования, позволяющий детализировать элементарную функцию с недостаточной степенью выполнения.

Определение и анализ рисков возникновения компенсации для недвоичных шкал оценивания

Для дискретной оценки результатов тестирования вводится M-уровневая шкала: $\{L_0, L_1, ..., L_k, ..., L_{M-1}\}$. Очевидно, что названия уровней могут быть произвольными (например, «хорошо», «4», «высокий уровень» и т.д.).

Для каждого уровня шкалы L_k вводятся условия попадания в заданный интервал $\{R^k_{\min} \; ... \; R^k_{\max}\}$, $k \in [0, M–1]$ (крайние значения могут включаться или исключаться из интервала, в зависимости от установленных правил). В связи с заданным нормализованным диапазоном возможных значений результатов тестирования $R^0_{\min} = 0$, $R^{M-1}_{\max} = 1$.

Оценка результата проверки элементарной функции $Э_i$ тестом $Т_j$ $\check{O}_{ij}$ осуществляется путем сравнения соответствующего результата O_{ij} с интервалами $\{R^k_{\min} \; ... \; R^k_{\max}\}$ и выбора подходящего L_k (процедура дискретизации по уровню – квантование). Аналогично может быть оценен результат выполнения O_i элементарной функции $Э_i$, рассчитанный в формате интегро-дифференциального критерия, как оценка $\check{O}_i$.

В соответствии с данными выше определениями, явление компенсации возникает при несовпадении дифференциальных (одной или нескольких) и интегральной оценок:

– отрицательная компенсация: $\check{O}_{ij} = L_\mu$; $\check{O}_i = L_\nu$; $\mu > \nu$; $\mu, \nu \in [0, M–1]$;
– положительная компенсация: $\check{O}_{ij} = L_\mu$; $\check{O}_i = L\nu$; $\mu < \nu$; $\mu, \nu \in [0, M–1]$.

Введем понятие *различимости* оценок: $\Delta\check{O}_{ij} = (\nu - \mu)$. Тогда условия компенсации можно представить в виде:

– отрицательная компенсация: $\Delta\check{O}_{ij} < 0$;
– положительная компенсация: $\Delta\check{O}_{ij} > 0$.

Абсолютное значение различимости показывает степень (глубину, размер) компенсации. Диапазон возможных значений: $0 \le |\Delta\check{O}_{ij}| \le (M - 1)$. Явление компенсации отсутствует, если $|\Delta\check{O}_{ij}| = 0$ (оценки равны). Компенсация максимальна, когда $|\Delta\check{O}_{ij}| = (M - 1)$ (оценки соответствуют крайним уровням шкалы). Степень компенсации может быть выражена в процентах: $|\Delta\check{O}_{ij}|_\% = |\Delta\check{O}_{ij}|/(M - 1)\cdot 100$ %.

Условия для возникновения компенсации возникают тогда, когда результаты O_{ij} и O_i попадают в разные интервалы $\{R^k_{\min} \ldots R^k_{\max}\}$. Если ввести в рассмотрение величину «размер интервала» $\Delta R^k = R^k_{\max} - R^k_{\min}$, то условие компенсации можно записать так:

$$| O_i - O_{ij}| > \min\{\Delta R^k\},\ k \in [0, M–1]. \qquad (5)$$

Примечание. Min – минимальное значение, поскольку интервалы ΔR^k могут отличаться друг от друга.

Предлагается следующий *алгоритм* расчета.

1. Определение результатов тестирования O_{ij} для каждой элементарной функции $Э_i$.

2. Формирование и расчет согласно ИДК интегрального результата выполнения элементарной функции O_i.

3. Приведение всех результатов к оценкам $\check{O}_{ij}$ ($\check{O}_i$) путем сравнения их с интервалами шкалы $\{R^k_{\min} \ldots R^k_{\max}\}$, $k \in [0, M–1]$ (квантование).

4. Проверка условий компенсации.

5. Выбор из списка компенсированных оценок тех, которые нуждаются в коррекции, с учетом ограничений, приведенных выше:

– проверка оценки (оценок), которая наиболее отличается от интегральной;

– проверка оценки (оценок) с максимальным весовым коэффициентом;

– проверка оценки (оценок) с наихудшим результатом;

– проверка оценки (оценок) с наименее ресурсоемкой реализацией корректирующих мероприятий и повторного контроля и т.п.

Явление компенсации гарантировано отсутствует, когда все результаты одинаковые (или близки, т.е. находятся в одном диапазоне ΔR^k) при равных весовых коэффициентах. Во всех остальных случаях (при различающихся оценках и весовых коэффициентах) необходимо проверять наличие выполнение условий компенсации аналитическим моделированием (расчетом).

Важным также является то, что при выборе компенсируемой оценки и ее коррекции возможно изменение интегральной оценки. Это приводит к повторному пересмотру условий компенсации для всех оценок. Поэтому нужно выбирать такие оценки, которые не приведут к изменению интегральной оценки.

Пусть интегральный результат принадлежит диапазону $\{R^{\nu}_{\min} \ldots R^{\nu}_{\max}\}$: $\check{O}_i = L_{\nu}$. Тогда определим условие перехода к следующему (ν+1) уровню шкалы, приводящее к повторному пересмотру условий компенсации для всех оценок:

$$\Delta O_{i\,\min} = R^{\nu+1}_{\min} - O_i. \qquad (6)$$

Зная влияние изменения дифференциального результата на интегральный результат: $\Delta O_i = \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij}$, можно определить минимальное значение изменение дифференциального результата, чтобы интегральный результат перешел в следующий диапазон:

$$\Delta O_{ij\,\min} = \Delta O_{i\,\min} / \lambda_{ij}. \qquad (7)$$

Вычислив $\Delta O_{ij\,\min}$, можно определить, отразится ли коррекция дифференциального результата O_{ij} на изменение интегрального результата O_i.

Пример 3. Пусть элементарная функция $Э_1$ контролируется четырьмя равнозначными (λ_{1j} = const = 1/4 = 0,25, $j \in [1,4]$) тестами, и результат его выполнения определяется через ИДК так:

$$O_1 = 0{,}25 \cdot O_{11} + 0{,}25 \cdot O_{12} + 0{,}25 \cdot O_{13} + 0{,}25 \cdot O_{14}.$$

Имеем четырехуровневую (M = 4) шкалу $\{L_0, L_1, L_2, L_3\}$ и следующее распределение интервалов (примем, что $R^k_{\max}$ для всех k, кроме k = M – 1 = = 3, исключаются из диапазона L_k и включаются в диапазон L_{k+1}) с шагом квантования 0,25:

L_k	$R^k_{\min}$	$R^k_{\max}$
L_0	0	0,25
L_1	0,25	0,5
L_2	0,5	0,75
L_3	0,75	1

Предположим, что проведено тестирование, дешифрация и обработка результатов, при этом дифференциальные и интегральный результаты и соответствующие им оценки следующие:

O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_1
0,2	0,4	0,6	0,8	0,5
L_0	L_1	L_2	L_3	L_2

Для оценок O_{11} ($L_0 < L_2$) и O_{12} ($L_1 < L_2$) выполняются условия положительной компенсации, а для оценки O_{14} ($L_3 > L_2$) – условие отрицательной компенсации.

Определим условия, при которых интегральный результат перейдет в следующий больший диапазон (от уровня L_2 к уровню L_3) согласно (6): $\Delta O_{1\ min} = 0{,}75 - 0{,}5 = 0{,}25$. Тогда согласно (7) определим требования к изменению дифференциальных оценок при переходе каждой из них к следующему большему уровню (улучшение оценки):

$\Delta O_1 = \lambda_{11}\cdot\Delta O_{11} = \lambda_{11}\cdot(R^1_{min} - O_{11}) = 0{,}25\cdot(0{,}25 - 0{,}2) = 0{,}0125 < 0{,}25\ (\Delta O_{1\ min})$;
$\Delta O_1 = \lambda_{11}\cdot\Delta O_{11} = \lambda_{11}\cdot(R^1_{max} - O_{11}) = 0{,}25\cdot(0{,}5 - 0{,}2) = 0{,}075 < 0{,}25\ (\Delta O_{1\ min}) \Rightarrow$
$\Rightarrow$ при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_1 условия компенсации для остальных оценок не изменятся.

$\Delta O_1 = \lambda_{11}\cdot\Delta O_{11} = \lambda_{11}\cdot(R^2_{min} - O_{11}) = 0{,}25\cdot(0{,}5 - 0{,}2) = 0{,}075 < 0{,}25\ (\Delta O_{1\ min})$;
$\Delta O_1 = \lambda_{11}\cdot\Delta O_{11} = \lambda_{11}\cdot(R^2_{max} - O_{11}) = 0{,}25\cdot(0{,}75 - 0{,}2) = 0{,}1375 < 0{,}25\ (\Delta O_{1\ min})$
$\Rightarrow$ при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_2 условия компенсации для остальных оценок не изменятся.

$\Delta O_1 = \lambda_{11}\cdot\Delta O_{11} = \lambda_{11}\cdot(R^3_{min} - O_{11}) = 0{,}25\cdot(0{,}75 - 0{,}2) = 0{,}1375 < 0{,}25\ (\Delta O_{1\ min})$;
$\Delta O_1 = \lambda_{11}\cdot\Delta O_{11} = \lambda_{11}\cdot(R^3_{max} - O_{11}) = 0{,}25\cdot(1 - 0{,}2) = 0{,}2 < 0{,}25\ (\Delta O_{1\ min}) \Rightarrow$
$\Rightarrow$ при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_3 условия компенсации для остальных оценок не изменятся.

Вывод: любая коррекция результата O_{11} не приведет к изменению интегральной оценки и, соответственно, к изменению условий компенсации для дифференциальных оценок. Аналогично проверяются другие оценки, например, O_{12}.

Пример 4. Пусть для условий примера 3 получены следующие результаты:

O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_1
0,2	0,45	0,7	0,9	0,5625
L_0	L_1	L_2	L_3	L_2

Определим условия, при которых интегральный результат перейдет в следующий диапазон (от уровня L_2 к уровню L_3) согласно (6): $\Delta O_{1\,min} = 0{,}75 - 0{,}5625 = 0{,}1875$. Тогда согласно (7) определим требования к изменению дифференциальных оценок при переходе к следующему уровню (используя результаты предыдущего примера, сразу последний вариант):

$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^3_{min} - O_{11}) = 0{,}25 \cdot (0{,}75 - 0{,}2) = 0{,}1375 < 0{,}1875$ ($\Delta O_{1\,min}$);

$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^3_{max} - O_{11}) = 0{,}25 \cdot (1 - 0{,}2) = 0{,}2 > 0{,}1875$ ($\Delta O_{1\,min}$) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_3 условия компенсации остальных оценок могут измениться. Определим значение оценки O_{11}^* после коррекции:

$\lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} \geq \Delta O_{1\,min} \Rightarrow \Delta O_{11} \geq \Delta O_{1\,min}/\lambda_{11}$; $\Delta O_{11} \geq 0{,}1875/0{,}25$; $\Delta O_{11} \geq 0{,}75$.

$\Delta O_{11} = O_{11}^* - O_{11}$; $O_{11}^* - O_{11} \geq 0{,}75 \Rightarrow O_{11}^* \geq 0{,}75 + 0{,}2$; $O_{11}^* \geq 0{,}95$.

Вывод: если после коррекции результат O_{11} будет больше или равен 0,95, то интегральная оценка изменится (увеличится к следующему уровню), и придется пересматривать повторно условия компенсации для всех дифференциальных оценок. Процедура анализа условий возникновения положительной и отрицательной компенсации аналогичны.

Результаты

Для оценки возможности возникновения компенсации введем понятие *вероятности компенсации* как отношение количества вариантов несовпадения значения интегральной и дифференциальной оценок ($M_к$) к общему количеству вариантов оценок (M):

$$P_к = M_к / M. \tag{8}$$

Общее количество вариантов M для шкалы оценивания с количеством уровней L и количеством дифференциальных оценок в составе ИДК N определяется как $M = N^L$. Количество вариантов компенсации определяется аналитическим моделированием методом полного перебора [10].

На Рисунке 1 приведен график, характеризующий зависимость вероятности компенсации $P_к$ от количества дифференциальных оценок N при условии L = const и равных весовых коэффициентах ИДК. По графику можно сделать вывод о монотонно возрастающем значении вероятности компенсации и ее незначительной зависимости от количества уровней квантования.

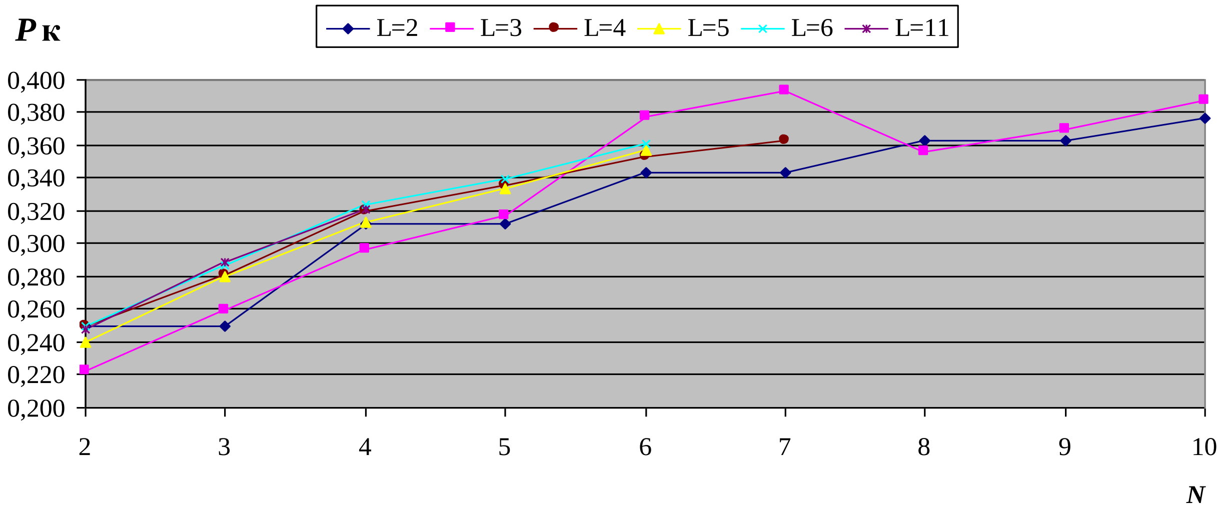

Рисунок 1 – Зависимость вероятности компенсации от количества дифференциальных оценок

На Рисунке 2 приведен график, характеризующий зависимость вероятности компенсации $P_к$ от количества уровней шкалы оценивания L при условии N = const и равных весовых коэффициентах ИДК. Из анализа графика можно сделать вывод о незначительной зависимости вероятности компенсации от количества уровней шкалы квантования и линейной зависимости от количества составляющих дифференциальных оценок.

Также путем моделирования можно определить и проанализировать зависимости вероятности компенсации от выбора пороговых значений уровней шкал, распределения весовых коэффициентов дифференциальных оценок и т.д. Эффективная реализация моделирования эффективна только в рамках автоматизированной информационной. Разработка такой системы – ближайшая перспектива работы в данном направлении.

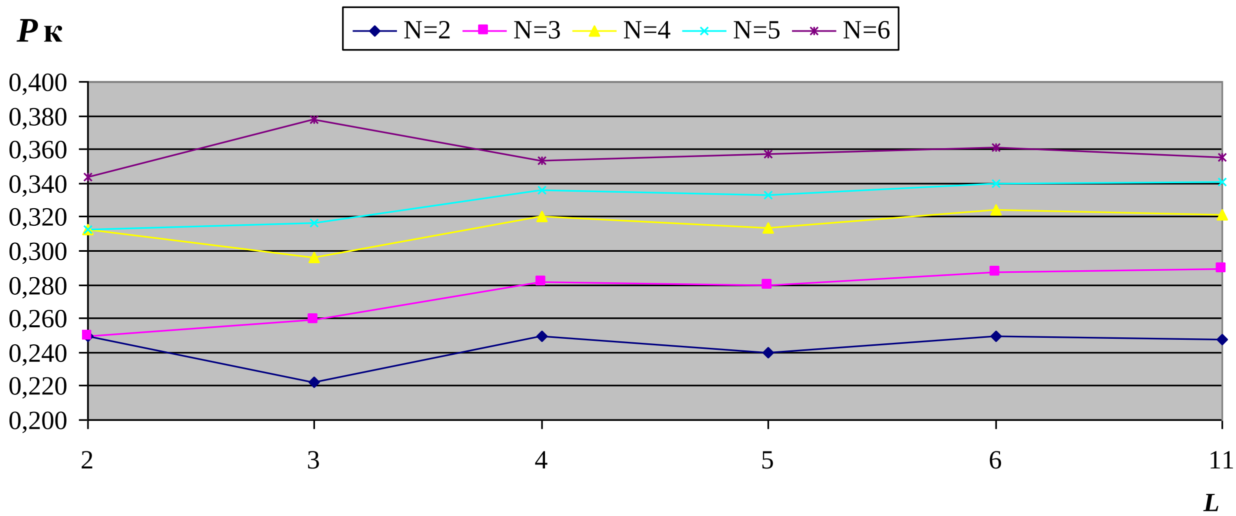

Рисунок 2 – Зависимость вероятности компенсации от количества уровней шкалы оценивания

Обсуждение

Явление компенсации, присутствующее всегда при использовании линейного формата критерия, в большинстве случаев не учитывается. Например, часто применяемое усреднение результатов нескольких тестов, мнения нескольких экспертов и т.п. При этом максимум, на что обращается внимание для повышения достоверности итогового результата, это введение мультипликативности (например, принятие решения об отрицательном интегральном результате при наличии хотя бы одного отрицательного дифференциального результата теста или повышенной значимости одного из критериев (теста). Часто полученная оценка корректируется на основании субъективного фактора, что еще больше снижает ее объективность и достоверность.

Кроме того, проблема повышения достоверности оценки результатов тестового диагностирования особенно важна для допуска оборудования систем управления особо важными объектами (медицина, макроэкономика, критическая инфраструктура и т.п.). Поэтому важно разработать, апробировать и предложить инструментарий для решения указанных задач, в информационное и методическое обеспечение которого включены предлагаемые наработки.

Рассмотрим определения, условия, оценки, пороги, рекомендации по исключению (или парированию) компенсации.

Для *двоичной* шкалы оценивания:

- определяются дифференциальные оценки (результаты тестов, степени выполнения элементарных функций одной группы функций и т.п.) D_j, $j \in [1, N]$, N – количество дифференциальных оценок;
- вычисляется интегральная оценка I (количественно, таблично или математически (интегро-дифференциальный критерий, с последующим квантованием (округлением));
- вводится понятие «отрицательное значение оценки» ($I <$ О$_{\text{пор.}}$, I^{-} или $D_j <$ О$_{\text{пор.}}$, D_j^{-}) и «положительное значение оценки» ($I \geq$ О$_{\text{пор.}}$, I^{+} или $D_j \geq$ О$_{\text{пор.}}$, D_j^{+});
- вводится понятие и условия «положительной компенсации» (ПК): I^{+} и $\exists\ D_j^{-}$, $j \in [1, N]$ (количество отрицательных оценок $N^{-} > 0$); «физический смысл» ПК – итоговый результат положительный, но результаты некоторых тестов отрицательные; или в рамках группы функций имеются невыполненные элементарные функции, и т.п.;
- вводится понятие и условия «отрицательной компенсации» (ОК): I^{-} и $\exists\ D_j^{+}$, $j \in [1, N]$ (количество положительных оценок $N^{+} > 0$); «физический смысл» ОК – итоговый результат отрицательный, но результаты некоторых тестов положительные; или в рамках группы

функций имеются выполненные элементарные функции, которые можно, например для экономии ресурсов, исключить из повторного контроля и т.п.;

- вводятся условия принятия решения о наличии компенсации:
  - если $N^{-} \geq N^{-}_{\text{пор.}}$, то имеет место ПК;
  - если $N^{+} \geq N^{+}_{\text{пор.}}$, то имеет место ОК;
- вводятся варианты принятия решения:
  - «жесткое»: $N^{-}_{\text{пор.}} = 1$, $N^{+}_{\text{пор.}} = 1$;
  - «мягкое»: $N^{-}_{\text{пор.}} > 1$, $N^{+}_{\text{пор.}} > 1$;
  - «комбинированное»: $N^{-}_{\text{пор.}} = 1$, $N^{+}_{\text{пор.}} > 1$ и т.д.;
- при необходимости вводятся весовые коэффициенты (показатели важности) дифференциальных оценок, чтобы повысить значимость отдельных составляющих и их определяющее влияние на итоговый результат (проверяется аналитическим моделированием);
- оцениваются и сравниваются последствия ПК и ОК (как правило, последствия ПК намного серьезнее, поэтому ОК для расчета оценок верхнего уровня в некоторых случаях можно пренебречь), задаются пороговые значения $N^{-}_{\text{пор.}}$, $N^{+}_{\text{пор.}}$.

Для *недвоичной* (*k*-ичной) шкалы оценивания:

- при наличии порогового значения (например, при четырехбальной шкале «2» – отрицательная оценка, «3», «4», «5» – положительные оценки) определение условий компенсации сводится к двоичной шкале с соответствующими пороговыми значениями;
- при необходимости детализированной (точной) оценки:
  - после получения дифференциальных оценок и расчета интегральной оценки проводится квантование (с использованием выбранного алгоритма округления) до уровня выбранной *k*-ичной шкалы оценивания ($L_1, L_2, \ldots, L_k$);
  - вводится понятие и условия «положительной компенсации» (ПК): среди дифференциальных оценок имеют место оценки меньше интегральной (относящиеся к уровням шкалы, меньшим итоговой оценки); результаты некоторых тестов меньше («ниже», «хуже») итогового результата, имеются элементарные функции со степенью выполнения ниже итоговой оценки и т.п.;
  - вводится понятие и условия «отрицательной компенсации» (ОК): среди дифференциальных оценок имеют место оценки больше интегральной (относящиеся к уровням шкалы, большим итоговой оценки); результаты некоторых тестов больше («выше», «лучше») итогового результата, имеются

элементарные функции со степенью выполнения выше итоговой оценки и т.п.;

- «физический смысл» компенсации – итоговый результат не полностью тождествен распределению дифференциальных составляющих;
- вводятся характеристики компенсации:
  - O_{max} – максимальная дифференциальная оценка, большая интегральной оценки O ($O_{max} = L_i$, O = L_j, $i > j$; $i, j \in [1, k]$);
  - $\Delta_{max} = (O_{max} – O)$ – максимальное отклонение, может быть определено в процентах от интегральной оценки;
  - O_{min} – минимальная дифференциальная оценка, меньшая интегральной оценки O ($O_{min} = L_i$, O = L_j, $i < j$; $i, j \in [1, k]$);
  - $\Delta_{min} = (O – O_{min})$ – минимальное отклонение, может быть определено в процентах от интегральной оценки;
  - спектр распределения количества дифференциальных оценок D_j, $j \in [1, N]$;
  - $N_{ОК} = (N_{>}/N)\cdot 100$ %: доля (процент) дифференциальных оценок, больших интегральной (отрицательная компенсация);
  - $N_{ПК} = (N_{<}/N)\cdot 100$ %: доля (процент) дифференциальных оценок, меньших интегральной (положительная компенсация);
  - $N_{=} = (N_{=}/N)\cdot 100$ %: доля (процент) дифференциальных оценок, совпадающих с интегральной оценкой;
  - условия возникновения компенсации, например, если $N^{-} < 10$ %, то компенсацией пренебречь, и т.п.

Для учета компенсации введем *показатель уверенного принятия решения* (адекватности, достоверности и т.п.), который определяется как относительное количество дифференциальных оценок (в долях или процентах), совпадающих (или несовпадающих) с интегральной оценкой и принадлежит диапазону от 0 до 100 %.

Пример 5. Ряд оценок {4, 5, 5, 5}; интегральная оценка 5; количество совпадающих 75 %; вывод – интегральная оценка с высокой степенью соответствует совокупности дифференциальных оценок.

Пример 6. Ряд оценок {3, 3, 5, 5}; интегральная оценка 4; количество совпадающих 0 %; вывод – интегральная оценка не соответствует совокупности дифференциальных оценок и представляет собой только их усреднение, что не всегда достаточно и показательно.

Для использования на практике можно ввести порог принятия решения о компенсации, например, 25 % (значение порога подобрать по результатам моделирования – он может быть для разного количества дифференциальных оценок разным; или задать количество – не менее 1/3, 1/4 и т.п.).

Заключение

В настоящей работе предложена методика анализ рисков принятия решения при оценке результатов тестового диагностирования элементов систему управления, который возникает из-за явления компенсации одних дифференциальных составляющих линейного критерия другими. Построена и верифицирована математическая модель учета рисков для двоичной и недвоичной шкал оценивания, определены вероятностные характеристики рисков возникновения компенсации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов А.В., Кон Е.Л., Фрейман В.И. К вопросу об управлении распределенными гетерогенными мультивендорными инфокоммуникационными системами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 264-270.
2. Тюрин С.Ф. Надежность систем автоматизации. – Пермь: Изд-во Перм. национ. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 191 с.
3. Кон Е.Л., Кулагина М.М. Надежность и диагностика компонентов инфокоммуникационных и информационно-управляющих систем: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 310 с.
4. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Применение интегро-дифференциального критерия оценки освоения компонентов компетенций // Образование и наука. – 2013. – № 6. – С. 47-63.
5. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Под ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая российская энциклопедия, 2003. – 912 с.
6. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 64 с.
7. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Количественная оценка результатов обучения, представленных в компетентностном формате //

Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19. – № 1. – С. 206-212.
8. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Новые подходы к подготовке специалистов в области инфокоммуникаций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2015. – № 1 (25). – С. 73-89.
9. Freyman V., Kavalerov M. Application of Fuzzy Logic for Decoding and Evaluation of Results within the Process of Information System Components Diagnosis. Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 ElCon-Rus), February 1-3, 2017, p. 134-139.
10. Моделирование систем. Подходы и методы: учеб. пособие / Волкова В.Н., Горелова Г.В., Козлов В.Н. [и др.]. – СПб: Изд-во Санкт-Петербург. политехн. ун-та Петра Великого, 2013. – 568 с.

V.I. Freyman

THE ANALYSIS OF DECISION MAKING RISKS DURING THE ESTIMATION OF TEST DIAGNOSTICS RESULTS OF CONTROL SYSTEMS ELEMENTS

Perm national research polytechnic university,
Perm, Russia

In this paper a processing and decision-making questions by test diagnostics results of control systems elements are resolved. The problem of diagnostics procedures quality providing is formulated, the importance of testing results decoding and estimation step is shown, the research purpose is defined. The diagnostic model of verify the correct functioning with elementary function as atomic checking object is offered. The basic provisions of math statistics for decision making events estimation are analyzed. The general terms and conditions for compensation event determination of differential assessments by integral result are entered, such as positive and negative compensation, «hard» and «soft» compensation conditions, threshold values of decision making; the illustrated examples are given. The possibility of error decision making risk due to linear format of selected criteria and compensation event by integral result of differential components is shown. The method of quantitative assessment of risks for binary and multilevel estimation scales is offered. The analysis of compensation events probabilistic characteristics for decision making different conditions is executed. The practical recommendation for the compensation consequences consideration for binary and multilevel estimation scales and risk analysis of error decision making by the diagnostic results of control systems elements are given.

Keywords: test diagnostics, elements, control systems, risk, compensation, decision making, probability characteristics.

REFERENCES

1. Gavrilov A.V., Kon E.L., Freyman V.I. K voprosu ob upravlenii raspredelennymi geterogennymi mul'tivendornymi infokommunikatsionnymi sistemami // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya. – 2011. – No. 5. – pp.264-270.
2. Tyurin S.F. Nadezhnost' sistem avtomatizatsii. – Perm': Izd-vo Perm. natsion. issled. politekhn. un-ta, 2012. – 191 p.
3. Kon E.L., Kulagina M.M. Nadezhnost' i diagnostika komponentov infokommunikatsionnykh i informatsionno-upravlyayushchikh sistem: ucheb. posobie. – Perm': Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn. un-ta, 2011. – 310 p.
4. Kon E.L., Freyman V.I., Yuzhakov A.A. Primenenie integro-differentsial'nogo kriteriya otsenki osvoeniya komponentov kompetentsiy // Obrazovanie i nauka. – 2013. – No. 6. – pp.47-63.
5. Veroyatnost' i matematicheskaya statistika: Entsiklopediya / Pod red. Yu.V. Prokhorova. – M.: Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya, 2003. – 912 p.
6. Podinovskiy V.V. Vvedenie v teoriyu vazhnosti kriteriev v mnogokriterial'nykh zadachakh prinyatiya resheniy. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 64 p.
7. Kon E.L., Freyman V.I., Yuzhakov A.A. Kolichestvennaya otsenka rezul'tatov obucheniya, predstavlennykh v kompetentnostnom formate // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2015. – T. 19. – No. 1. – pp.206-212.
8. Kon E.L., Freyman V.I., Yuzhakov A.A. Novye podkhody k podgotovke spetsialistov v oblasti infokommunikatsiy // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy. – 2015. – No. 1 (25). – pp.73-89.
9. Freyman V., Kavalerov M. Application of Fuzzy Logic for Decoding and Evaluation of Results within the Process of Information System Components Diagnosis. Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 ElCon-Rus), February 1-3, 2017, pp. 134-139.
10. Modelirovanie sistem. Podkhody i metody: ucheb. posobie / Volkova V.N., Gorelova G.V., Kozlov V.N. [i dr.]. – SPb: Izd-vo Sankt-Peterburg. politekhn. un-ta Petra Velikogo, 2013. – 568 p.