

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

© 2023 П.А. Афанасьев

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Статья поступила в редакцию 14.04.2023

Статья посвящена разработке модели управления рисками предоставления недостоверных результатов испытаний – дерева отказов испытательной лаборатории как социально-технической системы. На основе построенного дерева отказов выявлены причины предоставления лабораторией недостоверных результатов испытаний, даны рекомендации по их количественной оценке, проведению корректирующих и предупреждающих мероприятий.

Ключевые слова: управление рисками, надежность, испытания, испытательная лаборатория, менеджмент качества.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-79-87

EDN: FQXWIN

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Испытательная лаборатория представляет собой социально-техническую систему, целью функционирования которой является получение достоверных результатов испытаний продукции. Техническая составляющая системы состоит из средств измерения, испытательного оборудования, вспомогательного оборудования, прочих элементов инфраструктуры, программного обеспечения, материалов и реактивов. Однако большую роль при проведении испытаний играют принятые работниками решения на вариативных этапах метода испытаний и принятие решений о соответствии (не соответствии) продукции [1]. По этой причине при оценке рисков испытательной лаборатории персонал и оборудование следует рассматривать в качестве равноправных элементов.

Метод анализа дерева отказов с 60-х годов XX века применяется для количественного и качественного анализа комбинации отказов технических устройств, ошибок персонала, нерасчетных внешних воздействий и иных рисков событий, приводящих к нежелательным последствиям. Применяя этот метод к деятельности испытательной лаборатории можно на основе экспертных оценок и статистических данных оценить риски выдачи недостоверных результатов испытаний, разработать комплекс мер по их сдерживанию и выявить направления для улучшения [2].

Задачей данной работы является построение дерева отказов испытательной лаборатории как социально-технической системы. На

основе дерева отказов будут выявлены причины предоставления лабораторией недостоверных результатов испытаний, даны рекомендации по их количественной оценке, проведению корректирующих и предупреждающих мероприятий.

ПОСТРОЕНИЕ «ДЕРЕВА ОТКАЗОВ»

Поскольку основной задачей функционирования испытательной лаборатории как социально-технической системы является получение результатов испытаний продукции, характеристики точности которых соответствуют требованиям метода испытаний, то в качестве вершинного события (отказ всей системы) установим предоставление лабораторией недостоверных результатов испытаний. При этом лаборатория может работать по сотням методов испытаний, для которых требуется разное оборудование и которые могут выполняться разным персоналом. Именно метод испытаний следует рассматривать как базисный элемент дерева отказов испытательной лаборатории. Такой подход позволит специалистам оценить риски наиболее полно, а значит разработать результативные планы корректирующих мероприятий. Естественно, что методы испытаний, как базисные элементы дерева отказов, должны быть связаны между собой логическим элементом «или» (рисунок 1).

Исходя из построенного дерева отказов рассчитаем вероятность предоставления лабораторией, как социально-технической системой, недостоверных результатов испытаний $P(L)$ по формуле (1).

$$P(L) = 1 - [1 - P(M_1)] \cdot [1 - P(M_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(M_N)], \quad (1)$$

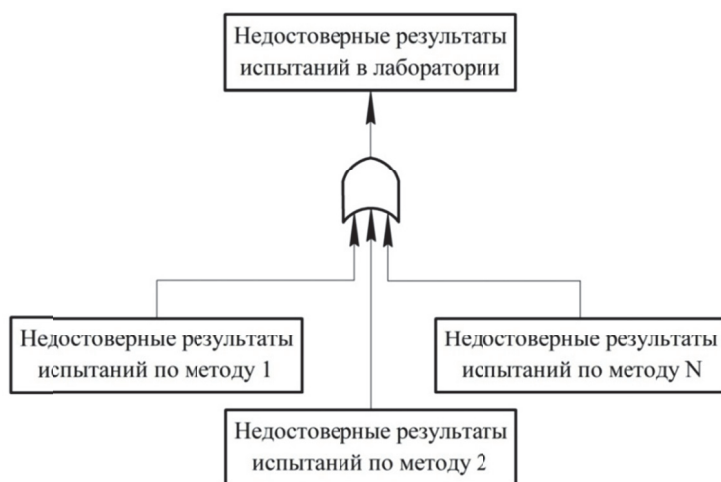


Рисунок 1 – дерево отказов испытательной лаборатории

где $P(M_1), P(M_2), P(M_N)$ – вероятность предоставления недостоверных результатов испытаний по некоторому методу испытаний [3].

Как уже отмечалось выше, лаборатория может работать по очень большому количеству методов испытаний, каждый из которых включает в себя проверки, отличающиеся по виду данных (качественные и количественные), по требованиям к точности, по необходимому для проведения испытаний оборудованию и, наконец, по персоналу, задействованному при проведении испытаний [4]. Оценить вероятность отказа по некоторому методу испытаний $P(M_N)$ можно, рассмотрев предоставление недостоверных результатов испытаний по данному методу, как вершинное событие дерева отказов.

При оценке $P(M_N)$ в качестве базисных событий следует рассматривать

1) метрологический отказ оборудования (выход метрологических характеристик оборудования за установленные методом испытаний значения);

2) предоставление недостоверных результатов испытаний по причине недостаточной квалификации и ошибок персонала;

3) предоставление недостоверных результатов по причине несовершенства методики проведения испытаний. В данном случае под термином «методика испытаний» следует понимать способ реализации метода испытаний в данной лаборатории. Таким образом, дерево отказов для оценки $P(M_N)$ представлено на рисунке 2.

Отсюда получим, что вероятность предоставления лабораторией не достоверных результатов по некоторому методу испытаний $P(M_N)$ может быть рассчитана по формуле (2)

$$P(M_N) = 1 - [1 - P(A)] \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)], \quad (2)$$

где $P(A)$ – вероятность предоставления недостоверных результатов испытаний по причине

недостаточной квалификации и опыта работы персонала, $P(B)$ – вероятность наступления метрологического отказа оборудования, $P(C)$ – вероятность того, что характеристики точности методики проведения испытаний не соответствуют предъявленным требованиям.

На построенном дереве отказов (рисунок 2) базисные события вероятности не обеспечения персоналом требуемой точности $P(A)$ связаны логическим оператором «е» из «E», т.к. проведение испытаний осуществляет несколько работников из общего числа, при этом каждый из них может допустить ошибку с некоторой долей вероятности. Вероятность исходного $P(A)$ события в данном случае рассчитывается по формуле (3).

$$P(A) = P(e, E) = \sum_{w=e}^E C_E^w \cdot p(a_w)^w \cdot (1 - p(a_w))^{E-w}, \quad (3)$$

где e - количество работников, задействованных в проведении испытаний по данному методу, E – общее количество работников лаборатории, $p(a_w)$ – вероятность предоставления работником недостоверных результатов испытаний, C_E^w – биномиальный коэффициент, называемый «числом сочетаний w из E ». Значение C_E^w рассчитывается по формуле (4)

$$C_E^w = \frac{E!}{w!(E-w)!}. \quad (4)$$

Расчет вероятности метрологического отказа оборудования может быть проведен по формуле (5)

$$P(B) = 1 - [1 - P(b_1)] \cdot [1 - P(b_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(b_n)], \quad (5)$$

где $P(b_1), P(b_2), P(b_n)$ – вероятность того, что характеристики точности оборудования не соответствуют предъявляемым требованиям [3].

Однако на практике распространены ситуации, когда лаборатория располагает несколькими единицами однотипного оборудования.

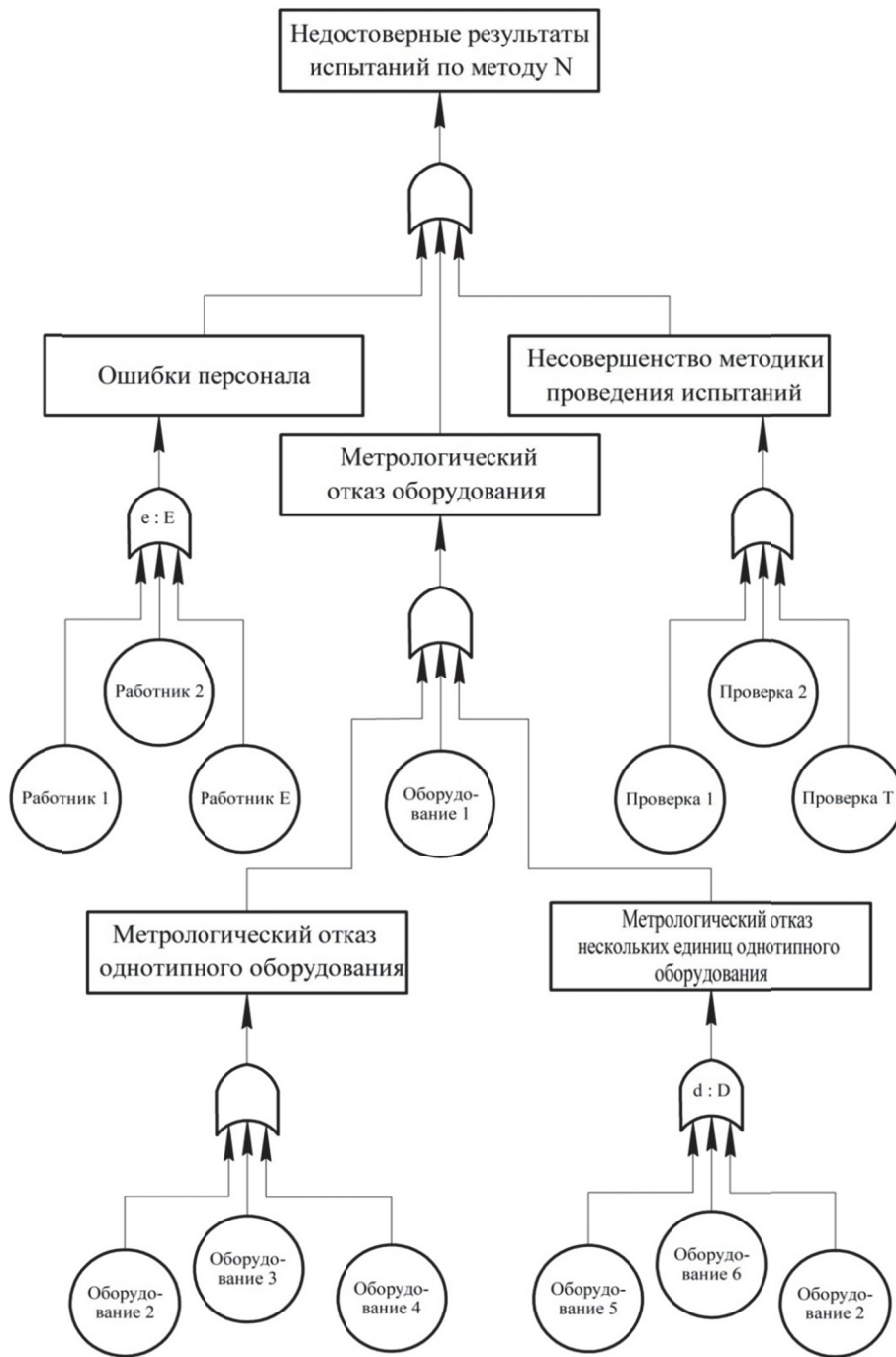


Рисунок 2 – дерево отказов метода испытаний

Например, несколькими климатическими камерами, для поддержания необходимой температуры, влажности и/или атмосферного давления. В таком случае персонал, уполномоченный на проведение испытаний, выбирает одну из нескольких единиц оборудования. Считая данный выбор случайным, вероятность безотказной работы данного оборудования $P(b_1)$ можно рассчитать по формуле (6)

$$P(b_1) = 1 - [1 - P(b_{11})] \cdot [1 - P(b_{12})] \cdot \dots \cdot [1 - P(b_{1n})], \quad (6)$$

где $P(b_{11})$, $P(b_{12})$ и $P(b_{1n})$ – вероятность ме-

трологического отказа некоторой единицы однотипного оборудования.

Второй распространенный на практике случай, несколько усложняющий расчет вероятности безотказной работы. Предположим, что лаборатория располагает некоторым количеством однотипного оборудования D , но для проведения испытаний используется комплект из d единиц этого оборудования. Например, для измерения превышения температуры выводов трехполюсного электрического аппарата используют шесть термопреобразо-

вателей сопротивления ($d = 6$), но при этом располагает комплектом из десяти единиц данного оборудования ($D = 10$). В описанном выше случае вероятность отсутствия метрологического отказа $P(b_2)$ рассчитывается по формуле (7)

$$P(b_2) = P(d, D) = \sum_{f=d}^D C_D^f \cdot p(b_{2f})^f \cdot (1 - p(b_{2f}))^{D-f}, \quad (7)$$

где d – количество единиц однотипного оборудования, задействованных в проведении испытаний по данному методу, D – общее количество однотипного оборудования, $p(b_{2f})$ – вероятность метрологического отказа оборудования, C_D^f – биномиальный коэффициент, называемый «числом сочетаний f из D ». Значение C_D^f рассчитывается по формуле (8)

$$C_D^f = \frac{D!}{f!(D-f)!}. \quad (8)$$

Расчет вероятности отсутствия выхода характеристик точности методики проведения испытаний за установленные методом границы может быть проведен по формуле (9)

$$P(c) = 1 - [1 - P(c_1)] \cdot [1 - P(c_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(c_n)], \quad (9)$$

где $P(c_1)$, $P(c_2)$, $P(c_n)$ – вероятность того, что характеристики точности отдельных проверок не соответствуют предъявляемым требованиям [3].

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ПЕРСОНАЛА

При проведении анализа надежности персонала, как важного элемента функционирования испытательной лаборатории, принято рассматривать только непреднамеренные ошибочные действия, т.е. события, не имеющие отношения к саботажу, диверсии, раскрытию конфиденциальной информации, нарушению беспристрастности проведения испытаний и т.д. [5]

Как правило, в испытательной лаборатории к непреднамеренным ошибкам ошибочным действиям персонала можно отнести:

1) некорректное задание параметров влияющих величин (например, недостаточное либо избыточное сопротивление электрической цепи при испытаниях низковольтного оборудования на отключающую способность);

2) нарушение правил установки образцов на испытательное оборудование (например, недостаточная либо избыточная затяжка контактов при проведении испытаний на превышение температуры выводов низковольтного оборудования; установка образца в нерабочем положении и т.д.);

3) несоблюдение сроков выдержки образцов в условиях воздействия внешних факторов;

4) ошибки считывания результатов измерений со средств измерения (например, ошибки расчета значения тока в цепи по значению падения напряжения на измерительном шунте, некорректный выбор диапазона измерения на стрелочном измерительном приборе);

5) ошибки при фиксации результата измерения при оформлении рабочих записей, либо при перенесении результатов измерений из рабочих записей в протокол испытаний [5].

Естественно, что косвенно вероятность возникновения ошибки работника лаборатории зависит от его опыта работы. Например, до проведения испытаний в сфере обязательного подтверждения соответствия допускаются работники, имеющие опыт работы не менее двух лет [6]. Однако едва ли не большее значение имеет уровень квалификации исполнителя, который должен оцениваться и ежегодно подтверждаться компетентной комиссией. Объем аттестации должен определяться областью деятельности лаборатории. В общем случае, вопросы при проведении аттестации должны включать в себя:

1) правила эксплуатации испытательного оборудования и средств измерения (оценивается умение настройки влияющих параметров, знание правил подготовки оборудования к проведению испытаний (в т.ч. время прогрева), умение считывать показатели измерительных приборов и т.д.)

2) знание методов испытаний (знание требуемых для проведения испытаний значений внешних воздействующих факторов, знание длительности проведения испытаний, знание проводимых после и в процессе проведения испытаний проверок образцов);

3) знание классификации, технических характеристик и принципа работы образцов испытаний (необходимо в т.ч. для определения вариативных этапов метода, определения требований к монтажу оборудования, понимания физических процессов при проведении испытаний);

4) знание системы менеджмента качества испытательной лаборатории в пределах своей компетентности (умение заполнять рабочие записи, знание требований к помещениям и условиям окружающей среды, умение проводить ежедневное техническое обслуживание оборудования и т.д.) [1,5].

Вероятность предоставления работником недостоверных результатов испытаний персоналом $p(a_w)$ требуемой точности может быть экспертно оценена по таблице 1 [1,7].

Таблица 1

Уровень квалификации исполнителя	Стаж работы испытателя					
	до 2-х лет	2-4 года	4-6 лет	6-8 лет	8-10 лет	более 10 лет
Высокая	0,011	0,009	0,007	0,005	0,003	0,001
Средняя	0,012	0,010	0,008	0,006	0,004	0,002
Низкая	0,013	0,011	0,009	0,007	0,005	0,003

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОТКАЗА ОБОРУДОВАНИЯ

Вероятность метрологического отказа оборудования необходимо, в первую очередь, производить на основе результатов предыдущей аттестации, поверки или калибровки. Предположим, что проводилась аттестация установки, предназначенной для проверки степени защиты от воды IP X1, IP X2 [8]. Для такой установки при аттестации производят измерение следующих параметров:

1) расход воды при проведении испытаний на соответствие IP X1 (оборудование считается пригодным для эксплуатации при значении $1^{+0,5}$ мм/мин);

2) расход воды при проведении испытаний на соответствие IP X2 (оборудование считается пригодным для эксплуатации при значении $3^{+0,5}$ мм/мин);

3) значение угла наклона стола для установки образца (оборудование считается пригодным для эксплуатации при значении $14,5...15,5^\circ$) [8,9].

Оценку точности поддержания внешних воздействующих факторов (ВВФ) следует считать

- высокой (3 балла), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $\pm \frac{1}{6}T$ от

середины поля допуска, где T – ширина поля допуска на проверяемый параметр;

- средней (2 балла), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{1}{6}... \frac{2}{6}\right)T \cup -\left(\frac{1}{6}... \frac{2}{6}\right)T$ от середины поля допуска,

- низкой (1 балл), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{2}{6}... \frac{3}{6}\right)T \cup -\left(\frac{2}{6}... \frac{3}{6}\right)T$ от середины поля допуска. Графически оценка метрологической надежности оборудования представлена на рисунке 3.

Как видно из приведенного примера, при аттестации одной единицы оборудования зачастую проводятся измерения нескольких параметров. В данном случае общий балл следует по формуле (10).

$$K_{cp} = \frac{k_1+k_2+...+k_n}{n}, \tag{10}$$

где K_{cp} – итоговая балльная оценка метрологической надежности оборудования; k_1, k_2, k_n – балльные оценки метрологической надежности оборудования по отдельным параметрам; n – количество балльных оценок метрологической надежности оборудования по отдельным параметрам.

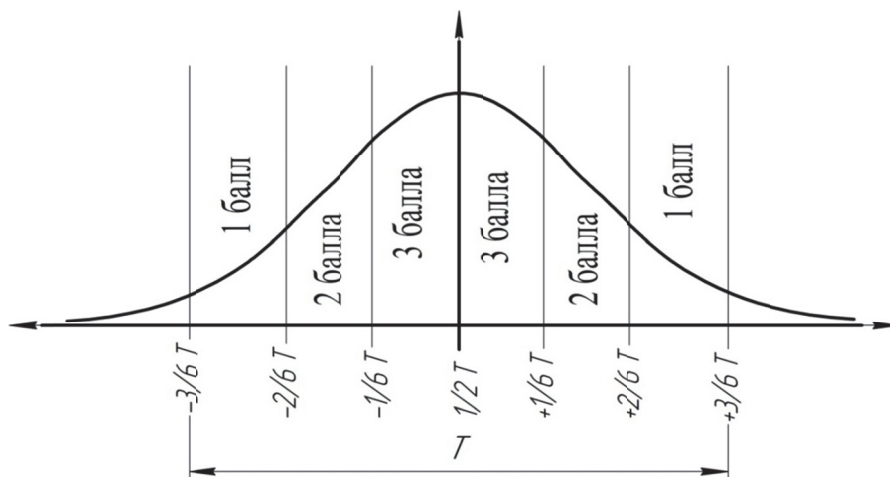


Рисунок 3 – оценка метрологической надежности оборудования

Таблица 2

Оценка точности оборудования	Срок эксплуатации оборудования по отношению к установленному сроку службы					
	до 50 %	51-100 %	101-125 %	126-150 %	151-175 %	176-200%
Высокая	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
Средняя	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012
Низкая	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013

Полученное значение K_{cp} следует округлить до целого значения: значение $K_{cp} = 3$ соответствует высокой метрологической надежности оборудования, $K_{cp} = 2$ соответствует средней метрологической надежности оборудования, $K_{cp} = 1$ соответствует низкой метрологической надежности оборудования.

Вторым важным критерием, влияющим на метрологическую надежность, является срок эксплуатации оборудования. Примем установленный срок эксплуатации за 100% и оценим вероятность метрологического отказа оборудования в зависимости от времени эксплуатации и оценки точности метрологических характеристик оборудования (таблица 2) [1,7].

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ОШИБКИ

Наиболее важным критерием при оценке вероятности возникновения методической ошибки является оценка точности выполнения отдельных проверок по методики проведения испытаний (например, после испытаний на воздействие повышенной влажности воздуха, как правило, выполняют две проверки – проверка сопротивления изоляции и проверка электрической прочности изоляции). Их оценка должна производиться на основе результатов верификации метода, внутрилабораторного контроля или межлабораторных сличительных испытаний аналогично тому, как проводится оценка точности поддержания ВВФ испытательным оборудованием, погрешности средств измерения.

Оценку характеристики точности методики следует считать

- высокой (3 балла), если полученное при верификации, внутрилабораторной контроле или межлабораторных сличительных испытаний значение характеристик точности методики проведения испытаний лежит в диапазоне $\pm \frac{1}{6}T$ от середины поля допуска, где T – ширина диа-

пазона установленных характеристик точности метода испытаний. В качестве таких характеристик могут выступать повторяемость, прецизионность, либо точность метода [10, 11];

- средней (2 балла), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{1}{6} \dots \frac{2}{6}\right)T \cup -\left(\frac{1}{6} \dots \frac{2}{6}\right)T$,

- низкой (1 балл), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{2}{6} \dots \frac{3}{6}\right)T \cup -\left(\frac{2}{6} \dots \frac{3}{6}\right)T$.

Вторым критерием от которого зависит вероятность возникновения методической ошибки при проведении проверки – сложность. Оценка сложности выполнения проверки должна осуществляться работниками лаборатории, непосредственно занятыми проведением испытаний, по трехбалльной системе. В данном случае общий балл следует по формуле (11).

$$M_{cp} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}, \quad (11)$$

где M_{cp} – итоговая балльная оценка сложности выполнения проверки по методики проведения испытаний; m_1, m_2, m_n – балльные оценки сложности проведения проверки; n – количество работников, участвовавших в оценке. Вероятность методической ошибки проведения проверки $P(c_n)$ может быть количественно оценена по таблице 3.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, модель управления рисками предоставления недостоверных результатов испытаний – дерево отказов испытательной лаборатории как социально-технической системы – позволяет выявить базовые события, приводящие к предоставлению недостоверных результатов испытаний:

1) ошибки персонала (за исключением тех, что имеют отношение к саботажу, диверсии, раскрытию конфиденциальной информации, нарушению беспристрастности проведения испытаний и т.д.);

Таблица 3

Оценка характеристик точности проверки	Сложность выполнения проверки		
	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	0,001	0,003	0,005
Средняя	0,002	0,004	0,006
Низкая	0,003	0,005	0,007

2) метрологический отказ оборудования;
3) несовершенство методики проведения испытаний.

Для удобства анализа рисков, разработки предупреждающих и корректирующих мероприятий приводящие к получению недостоверных результатов испытаний события следует группировать по методам проведения испытаний. В свою очередь, разработанные для методов испытаний с высокой вероятностью отказа, корректирующие и предупреждающие мероприятия должны включать в себя:

1) обучение персонала на курсах, соответствующих области деятельности испытательной лаборатории; ужесточение контроля полученных знаний;

2) стимулирование передачи знаний от более опытных работников испытательной лаборатории, самообразования;

3) создание условий, снижающих отток квалифицированных кадров (материальное стимулирование, развитие корпоративной культуры и т.д.);

4) планово-предупредительный ремонт, настройка и т.д. для оборудования, метрологические характеристики которого приближаются к границами поля допуска;

5) обновление парка средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования;

6) совершенствование методик проведения испытаний.

Снижение вероятности предоставления лабораторией недостоверных результатов испытаний, что позволит улучшить качество продукции за счет принятия более обоснованных конструкторских и технологических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (введен в действие Приказом Росстандарта от 15.07.2019 N 385-ст) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332887/ (дата обращения: 15.02.2022)
- Чепегин, И.В. Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / И. В. Чепегин. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017. – 156 с.: схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (дата обращения: 15.02.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-2290-5. – Текст : электронный.
- Леонова, О.В. Надёжность механических систем : учебное пособие / О. В. Леонова. – М.: Альтаир : МГАВТ, 2014. – 179 с.: ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429858> (дата обращения: 15.02.2022). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.
- Горбунова, Т.С. Измерения, испытания и контроль. Методы и средства : учебное пособие / Т. С. Горбунова. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2012. – 108 с. : ил. – Режим доступа: по подписке.– URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258770> (дата обращения 17.02.2022). – Библиогр.: с. 103. – ISBN 978-5-7882-1321-7. – Текст: электронный.
- Безопасность и надежность технических систем: учебное пособие. – Москва : Логос, 2004. – 376 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84762> (дата обращения: 21.02.2022). – ISBN 978-5-98704-115-5. – Текст : электронный.
- Приказ Минэкономразвития России от 26.10.2020 N 707 (ред. от 30.12.2020) «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации» (Зарегистрировано в Минюсте России 16.11.2020 N 60907) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367928/ (дата обращения: 21.02.2022)
- Кане, М.М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: Учебное пособие / М. М. Кане, Б.В. Иванов, В.Н. Корешков, А.Г. Схиртладзе. – СПб.: Питер, 2008. – 560 с.: ил. – (Серия «Учебное пособие»).
- ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013) Межгосударственный стандарт. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) (введен в действие Приказом Росстандарта от 10 июня 2016 г. N 604-ст) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136066> (дата обращения: 21.02.2022)
- ГОСТ Р 8.568-2017 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные поня-

- тия (введен в действие Приказом Росстандарта от 29 декабря 2017 г. N 2121-ст) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158321> (дата обращения: 21.02.2022)
10. Р 50.2.060-2008. Государственная система обеспечения единства измерений. Внедрение стандартизованных методик количественного химического анализа в лаборатории. Подтверждение соответствия установленным требованиям (утверждены и введены в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2008 г. N 320-ст) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069291> (дата обращения: 24.02.2022)
11. *Афанасьев П.А.* Верификация методов испытаний низковольтного оборудования / П.А. Афанасьев, А.Г. Ивахненко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2021. - № 12. - С. 343 - ISSN 2071-6168. - Текст: электронный.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR RISK MANAGEMENT OF THE PROVISION OF UNRELIABLE TEST RESULTS

© 2023 P.A. Afanasiev

South-Western State University, Kursk, Russia

The article is devoted to the development of a risk management model for the provision of unreliable test results - the fault tree of a testing laboratory as a socio-technical system. On the basis of the constructed fault tree, the reasons for the provision of unreliable test results by the laboratory were identified, recommendations were given for their quantitative assessment, corrective and preventive measures.

Key words: risk management, reliability, testing, testing laboratory, quality management.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-79-87

EDN: FQXWIN

REFERENCES

1. GOST ISO/IEC 17025-2019. Interstate standard. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (enacted by the Order of Rosstandart dated July 15, 2019 N 385-st) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332887/ (Accessed: February 15, 2022)
2. *Chepegin, I.V.* Reliability of technical systems and technogenic risk: study guide / I. V. Chepegin; Kazan National Research Technological University. - Kazan: Kazan Research Technological University (KNITU), 2017. - 156 p. : diagrams, tables, illustrations. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (date of access: 02/15/2022). - Bibliography. in book. - ISBN 978-5-7882-2290-5. - Text : electronic.
3. *Leonova, O.V.* Reliability of mechanical systems: textbook: [16+] / O. V. Leonova; Moscow State Academy of Water Transport. - Moscow: Altair: MGAVT, 2014. - 179 p. : illustrations, tables, schemes. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429858> (date of access: 02/15/2022). - Bibliography. in book. - Text : electronic.
4. *Gorbunova, T.S.* Measurements, tests and control. Methods and means: textbook / T.S. Gorbunova; Ministry of Education and Science of Russia, Kazan National Research Technological University. - Kazan: Kazan Research Technological University (KNITU), 2012. - 108 p. : ill. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258770> (accessed 17.02.2022). - Bibliography: p. 103. - ISBN 978-5-7882-1321-7. - Text : electronic.
5. Safety and reliability of technical systems: textbook. - Moscow: Logos, 2004. - 376 p. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84762> (date of access: 02/21/2022). - ISBN 978-5-98704-115-5. - Text: electronic.
6. Order of the Ministry of Economic Development of Russia dated October 26, 2020 N 707 (as amended on December 30, 2020) «On approval of the accreditation criteria and the list of documents confirming the compliance of the applicant, accredited person with the accreditation criteria» (Registered in the Ministry of Justice of Russia on November 16, 2020 N 60907) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367928/ (date of access: 02/21/2022)
7. *Kane M.M., Ivanov B.V., Koreshkov V.N., Skhirtladze A.G.* Systems, methods and tools of quality management: Textbook. - St. Petersburg: Peter, 2008. - 560 p.: ill. - (Series «Tutorial»).
8. GOST 14254-2015 (IEC 60529:2013) Interstate standard. Degrees of protection provided by shells (IP Code) (enacted by Order of Rosstandart dated June 10, 2016 N 604-st) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136066> (date of access: 21.02.2022)
9. GOST R 8.568-2017 National standard of the Russian Federation. State system for ensuring uniformity of measurements. Test equipment certification. Basic concepts (enacted by the Order of Rosstandart dated December 29, 2017 N 2121-st) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158321> (date of access: 21.02.2022)
10. R 50.2.060-2008. State system for ensuring uniformity of measurements. Implementation of standardized methods for quantitative chemical analysis in the laboratory. Confirmation of compliance with

the established requirements (approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 25, 2008 N 320-st) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069291> (date of access: 24.02.2022)

11. *Afanasiev P.A.* Verification of test methods for low-voltage equipment / *P.A. Afanasiev, A.G. Ivakhnenko* // Proceedings of the Tula State University. Engineering Sciences. – 2021. – No. 12. – p. 343 – ISSN 2071-6168. – Text : electronic.