Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности

М

Многие сферы человеческой деятельности немислимы без достоверной количественной оценки, осуществить которую возможно только лишь путём проведения измерений. Некоторые виды измерений настолько важны для обеспечения, например, транспортной (в том числе авиационной) безопасности, что от степени их достоверности зависят здоровье и жизнь людей (как отдельных граждан, так и целых социумов). При этом обеспечение единства измерений относится к одному из видов безопасности согласно Федеральному закону от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ [1].

Среди основных и производных терминов и определений в отечественной и международной практике такой термин, как “метрологический риск”, отсутствует. Да и само словосочетание “метрологический риск” в литературе практически не встречается [2]. В настоящее вре-

А.А. Богоявленский,
кандидат технических наук

А.Е. Боков

ФГУП ГосНИИ ГА, Москва

Ключевые слова: авиационная деятельность; метрологический риск; достоверность измерений; модель причинной обусловленности авиационного происшествия

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НЕГАТИВНЫХ СИТУАЦИЙ

мя головной организацией метрологической службы гражданской авиации (ГА) – ФГУП ГосНИИ ГА – в рамках Программы Технического комитета ТК-034 “Воздушный транспорт” на 2013–2014 гг. проводится разработка проекта национального стандарта “Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Метрологические риски. Основные положения”. При разработке стандарта впервые введён термин “метрологический риск” и дано его определение: *метрологический риск* – это мера опасности и последствий наступления неблагоприятных событий, обусловленных применением недостоверных методов, средств и способов достижения требуемой точности измерений.

В ряде публикаций, например в статье [3], описываются причинно-следственные связи между сериями катастроф авиационной и ракетно-космической техники, произошедших в 1985–1986 гг. в США, Японии и других высокоразвитых странах, и погрешностями измерений и вычислений контролируемых параметров. Данные события можно отнести к категории метрологических рисков, а их оценку производить на основе вероятностного подхода либо на основе теории редких событий [4–6] с учётом человеческого фактора [7, 8].

Вероятностный подход к оценке метрологических рисков (ошибки I и II рода при контроле параметров процессов авиационной деятельности)

Согласно ГОСТ 19919–74 [9] *достоверность контроля* – это пока-

затель степени объективности отображения контроля действительного состояния изделия. Она может быть рассчитана по формуле

$$D = 1 - (P_I + P_{II}), \quad (1)$$

где P_I – вероятность “ложного отказа”, т.е. условная вероятность получения решения “не годен” при измерении параметра, значения которого в действительности соответствуют требованиям технической документации; P_{II} – вероятность “необнаруженного отказа”, т.е. условная вероятность получения решения “годен” при контроле параметра, значения которого в действительности не соответствуют требованиям технической документации.

Пусть с помощью некоторого средства измерений контролируется величина параметра X . Предположим, что систематические погрешности измерений известны и исключены, т.е. будем учитывать только случайные погрешности измерений. Введём следующие обозначения: x – действительное значение измеряемого параметра X для множества однотипных изделий (случайная величина); $f(x)$ – плотность распределения значений x измеряемого параметра X ; y – результат измерения; $\tau = y - x$ – погрешность измерения; $f(\tau)$ – плотность распределения τ . Предположим, что результат измерения y не зависит от значения x параметра X , т.е. случайные величины x и y независимы.

Пусть в результате измерения величины x параметра X с измерительного прибора считано показание y . При этом возможны следующие события:

H_x – значение x параметра X находится в границах (a, b) поля допуска;

$H_{\bar{x}}$ – значение x параметра X находится вне границ поля допуска;

H_y – результат измерения y находится в границах поля допуска;

$H_{\bar{y}}$ – результат измерения y находится вне границ поля допуска.

Полная группа попарно совместных событий при измерении значений параметра и наличии случайных погрешностей (как пример возникновения ошибок I и II рода) показана на рис. 1. События, связанные со значением x параметра X и результатом измерения y , попарно совместны. Поэтому возможны следующие сложные события:

H_{xy} – значение и результат измерения находятся в поле допуска (см. рис. 1, а). В этом случае делается верное заключение о том, что значение величины параметра находится в границах поля допуска;

Рис. 1

Пример возникновения ошибок I и II рода при измерениях: а, б – верные заключения о нахождении значений параметра в границах поля допуска (а) и вне поля допуска (б); в – ложный отказ; г – необнаруженный отказ

H_{xy}^- – величины x и y находятся вне границ поля допуска, т.е. делается верное заключение о результате измерения параметра (см. рис. 1,б);

H_{xy}^- – действительное значение величины x параметра X находится в границах поля допуска, а результат измерения y – вне границ поля допуска. Это событие обычно называют ложным отказом (см. рис. 1,в);

H_{xy}^- – действительное значение x находится вне границ поля допуска, а результат измерения y – в границах поля допуска. Это событие называют необнаруженным отказом (см. рис. 1,г).

Очевидно, что качество или инструментальную достоверность контроля параметра X можно оценить вероятностной мерой появления рассмотренных сложных событий. Эти события несовместные и составляют группу событий, поэтому сумма вероятностей их появления равна единице:

$$P(H_{xy}) + P(H_{xy}^-) + P(H_{xy}^-) + P(H_{xy}^-) = 1. \quad (2)$$

Назовём сумму вероятностей событий $P_{вз}$,

$$P_{вз} = P(H_{xy}) + P(H_{xy}^-), \quad (3)$$

вероятностью верного заключения о результате измерения, а сумму вероятностей $P_{нз}$,

$$P_{нз} = P(H_{xy}^-) + P(H_{xy}^-), \quad (4)$$

вероятностью неверного заключения. При этом имеет место очевидное равенство

$$P_{вз} + P_{нз} = 1. \quad (5)$$

Вероятность события $P(H_{xy}^-)$ называется вероятностью ложного отказа и обозначается $P_{ло}$, а вероятность события $P(H_{xy}^-)$ называется вероятностью необнаруженного от-

каза и обозначается как $P_{но}$. В этом случае можно записать:

$$P_{нз} = P_{ло} + P_{но}. \quad (6)$$

Вероятности $P_{ло}$, $P_{но}$, $P_{нз}$, $P_{вз}$ зависят от погрешностей средств измерений, поля допуска и распределения значений x измеряемого параметра X .

Если эти вероятности выразить через указанные характеристики, то можно вычислять их значения и производить оценку инструментальной достоверности измерений и метрологических рисков. При заданных вероятностных мерах качества измерений можно решать обратную задачу, т.е. выбирать необходимую точность средств измерений при определённых допусках для измеряемого параметра X .

Оценка метрологических рисков на основе теории нечётких множеств (математическая интерпретация концепции ИКАО)

Академиком А.Н. Колмогоровым было отмечено, что частотный подход, основанный на понятии предельной частоты при стремящемся к бесконечности числе испытаний, не позволяет обосновать применимость результатов теории вероятностей к практическим задачам, в которых предусмотрено конечное число испытаний [10]. К аналогичным выводам на основании закона редких событий (Пуассона) пришёл и американский ученый Л. Заде. С учётом этого в практике ИКАО [4] была принята концепция риска “Risk Concept: Likelihood & Severity of Harm”.

Исходя из того, что согласно [4] физический риск – это опасность с нечёткой мерой случайности возникновения рисков события с негативными (нечёткими) последствиями в виде ущерба, формула оценивания значимости риска, вытекающая из концепции риска по ИКАО, будет иметь вид:

$$\tilde{R} = (\mu_1, H_R | \Sigma 0), \quad (7)$$

где $\Sigma 0$ – комплекс условий определения системы в пространстве событий и принятая в системе менеджмента безопасности модель опасности; R – множество элементов; μ_1 – мера возможности появления события R ; H_R – ущерб. Выражение (7) является математической формой концепции риска по ИКАО [4].

Для исчисления рисков на основе доктрины, обеспечивающей определение уровня безопасности авиационных систем, целесообразно разрабатывать альтернативные методы оценки уровня безопасности по ИКАО для ГА, например, в виде функции от множества 2 элементов:

$$\bar{R} = f(\tilde{R} | \Sigma 0), \quad (8)$$

где $\bar{R}$ – интегральная значимость риска в системе с прогнозируемым рисковым событием $\tilde{R}$ с негативным результатом H_R ; H_R – мера последствий или ущерба (цена риска – “тяжесть” вреда); $\Sigma 0$ – условия опыта или ситуация при эксплуатации системы (класс опасности и модель опасности системы, дерево отказов и т.д.); $R = (\mu_1, H_R)$ – двухмерная оценка риска, которая находится, например, в рамках проблемы редких событий Fuzzy Sets.

Иллюстрирует данную концепцию соотношение для математического представления идеи (7) ИКАО [4]:

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НЕГАТИВНЫХ СИТУАЦИЙ

$$\bar{R} = f(\mu_1, H_R | \Sigma 0), \quad (9)$$

где $\bar{R}$ – интегральная оценка уровня риска (“количества опасности”) в виде функции от двухэлементного множества $\{R; H_R$ (ущерб) $\}$.

Для дальнейшего практического применения согласно [4] используются матрицы оценок риска по ИКАО.

Анализ источников возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в системе менеджмента безопасности авиационной деятельности

В процессе авиационной деятельности источниками возникновения метрологических рисков могут являться измерения, выполняемые в ходе технического обслуживания и ремонта воздушных судов (ВС), авиатопливообеспечения полётов, аэродромного и аэропортового обслуживания, управления воздушным движением и другие. Примерами такого рода измерений являются: измерения, связанные с эшелонированием полётов и доплеровской скоростью движения самолёта в полёте; измерения коэффициента сцепления ($K_{\text{сц}}$) колёс самолёта со взлётно-посадочной полосой (ВПП) аэродрома; измерения массы и положения центра масс ВС; измерения концентрации продуктов изнашивания в работающих маслах авиационных газотурбинных двигателей; измерения натяжения тросов в проводках систем управления ВС; измерения величины крутящего момента на испытательном стенде хвостовой трансмиссии вертолётов при производстве и ремонте вер-

Рис. 2
Самолёт, выкатившийся при посадке за пределы ВПП

толётов; измерения давления зарядки бортовых гидроаккумуляторов гидравлических систем и др.

При этом неправильные результаты измерений жизненно важных параметров, влияющих на безопасность авиационной деятельности, могут сложиться (суммироваться) с другими факторами риска, обусловленными человеческими ошибками. Например, возможно выкатывание за пределы ВПП самолёта при посадке (рис. 2). В данном случае графическим примером такого суммирования может служить модель причинной обусловленности авиационного происшествия, связанного с метрологическими рисками. Вид такой модели (рис. 3) разработан авторами настоящей публикации на основании модели Дж. Ризона [7, 8] на примере измерения $K_{\text{сц}}$ колёс самолёта с ВПП при использовании измерителей $K_{\text{сц}}$ с визуальной регистрацией. Все учтённые в модели погрешности и ошибки приводят к авиационному проис-

шествию (см. 6 на рис. 3), обусловленному метрологическими рисками негативной ситуации при принятии неправильного решения о величине действительного $K_{\text{сц}}$.

Таким образом, впервые поставлена задача разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в ходе авиационной деятельности, введён термин “метрологические риски” и дано его определение. Проведены также анализ и обобщение теоретических основ разработки методов оценки и управления метрологическими рисками, определены методические подходы к формированию принципов менеджмента безопасности авиационной деятельности на основе методологии исчисления метрологических рисков. Выполнен предварительный анализ источников возникновения метрологических рисков негативных ситуаций на примере авиационной деятельности.

Для гармонизации применения на территории РФ Приложения 19 к “Конвенции о международной ГА” [4] специалистами метрологической службы ГосНИИ ГА разрабатывается проект стандарта “Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Метрологические риски. Основные положения”. Работа ведётся при Техническом комитете “Воздушный транспорт” (ТК-034) в рамках Программы разработки национальных стандартов РФ на 2013–2014 гг.

Разработка стратегии управления метрологическими рисками является перспективной с точки зрения обеспечения приемлемого уровня риска в области обеспечения единства измерений при авиационной деятельности и развития предложенного методического подхода до уровня практической реализации.

Методический подход к оценке метрологических рисков на основе теории редких событий может быть помимо воздушного применён на любых видах транспорта, а также в других отраслях народнохозяйственной деятельности.

Рис. 3

Модель причинной обусловленности авиационного происшествия, связанного с метрологическим риском при измерении коэффициента сцепления: 1 – ошибка, возникшая из-за нарушения условий калибровки измерителя $K_{сц}$; 2 – ошибка, обусловленная использованием при калибровке измерителя $K_{сц}$ эталонов, не соответствующих требованиям методики калибровки и локальной калибровочной схемы; 3 – инструментальная погрешность измерения $K_{сц}$; 4 – ошибка, возникшая в результате нарушения условий эксплуатации прицепного измерителя $K_{сц}$, например, неправильного температурного режима или несоответствия скорости движения автомобиля-буксировщика по ВПП; 5 – ошибка оператора, обусловленная измерением $K_{сц}$ с визуальной фиксацией значений $K_{сц}$; 6 – авиационное происшествие

Литература

1. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ “О техническом регулировании”.
2. Никифоров Н. В. О метрологических рисках // Методы оценки соответствия. – 2009. – № 3. – С. 16–18.
3. Левин С. Ф. Погрешности измерений и вычислений как причина “катастрофического феномена 1985–1986 годов” в авиационной и ракетно-космической технике // Контрольно-измерительные приборы и системы. – 2000. – № 3. – С. 21–24.
4. Конвенция о международной гражданской авиации. Приложение 19: Управление безопасностью полётов. – 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2013.
5. Doc. 9859-AN/474. Руководство по управлению безопасностью полётов. – 2-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2009.
6. Гипич Г. Н., Евдокимов В. Г., Куклев Е. А., Шапкин В. С. Риски и безопасность авиационных систем. – М.: ГосНИИ ГА, 2013. – (в печати).
7. Циркуляр ИКАО 253 AN/151. Человеческий фактор // Сборник материалов № 12. Роль человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекции воздушных судов. – Монреаль: ИКАО, 1995.
8. Reason J. Human Error. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
9. ГОСТ 19919–74. Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения.
10. Колмогоров А. Н. Избранные труды: В 3-х т. Т. 2: Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1986.