

§ 8 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лушкин А. М.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Аннотация: Предметом исследования являются процедуры автоматизированного мониторинга и регулирования безопасности полетов воздушных судов, а также процедуры автоматизированного контроля за изменениями в эксплуатируемой авиационно-транспортной системе. Анализ динамики безопасности полетов воздушных судов необходим для получения объективной оценки эффективности корпоративной системы управления безопасностью полетов и ее планового развития, требуемой стандартами Международной ассоциации воздушного транспорта и рекомендуемой практикой ИКАО. Обнаружение неприемлемых значений показателя безопасности полетов в текущем или прогнозном уровне свидетельствует о состоянии авиационно-транспортной системы, характеризуемом потенциально высоким риском, что требует оперативного реагирования, начиная с анализа авиационных инцидентов и предпосылок к ним, определения основной причины неприемлемых изменений с последующим регулированием риска безопасности полетов. Для решения поставленной задачи использованы материалы регулярного ежемесячного мониторинга текущего уровня безопасности полетов в авиакомпании по статистике авиационных событий, зарегистрированных в системе управления безопасностью полетов компании, для обработки которых применен аппарат теории вероятностей и математической статистики. Новизна исследования заключается в создании математического обеспечения автоматизированного прогностического контроля безопасности полетов воздушных судов авиакомпании с помощью статистического распознавания потенциально опасных изменений уровня безопасности полетов, осуществляемого на основе анализа ретроспективной информации, получаемой в результате мониторинга безопасности полета с учетом требований международных стандартов в области гражданской авиации.

Ключевые слова: управление рисками, авиационная авариология, статистический анализ, мониторинг безопасности полетов, статистический критерий, риски безопасности

полетов, управление безопасностью полетов, мониторинг авиационных инцидентов, ретроспективный анализ, статистическое прогнозирование

Согласно международным стандартам в области гражданской авиации, необходимым условием эффективного функционирования системы управления безопасностью полетов (СУБП) авиакомпании являются мониторинг и регулирование безопасности полетов (БП), а также контроль за изменениями в эксплуатируемой авиационно–транспортной системе (АТС), которая является сложной динамической системой [1-3].

Анализ динамики текущего уровня безопасности полетов воздушных судов (ВС), как состояния АТС, необходимо выполнять для получения объективной оценки эффективности корпоративной СУБП и ее планового развития [2, 4-6]. Такие оценки для авиакомпаний регламентированы стандартами Международной ассоциации воздушного транспорта (International Air Transport Association – IATA) [7] и с рекомендуемой практикой ИКАО [8].

При анализе, проводимом в рамках корпоративной СУБП, обычно используют: материалы регулярного ежемесячного мониторинга текущего уровня БП в авиакомпании по статистике авиационных событий, зарегистрированных в информационной системе (ИС) СУБП компании; аппарат теории вероятностей и математической статистики; методическое обеспечение процедур оценивания и прогнозирования состояний эксплуатируемой АТС [1-9].

Ежемесячный анализ качества обеспечения БП выполняется по динамике частоты авиационных событий, где основным оценочным показателем (индикатором), согласно рекомендациям ИКАО, выбрано «Количество инцидентов на 1000 часов полета» [8]. Для этого может быть применен типовой алгоритм обработки статистической информации, реализуемый при мониторинге уровня БП [10].

Оценка достигнутого уровня БП авиакомпании за прошедшую эпоху эксплуатации ВС (12 месяцев) с прогнозом уровня БП на очередной месяц выполняется по рекомендуемым ИКАО показателям «Количество авиационных инцидентов на 1000 часов полета»: по всем ВС авиакомпании – обобщенный показатель; по каждой группе причинных факторов («человек» – «воздушное судно» – «среда») и по отдельным по типам ВС – частные показатели [9, 11].

Одной из основных задач исследования динамики уровня БП является контроль за изменениями в эксплуатируемой АТС. При этом могут быть сформулированы некоторые предположительные утверждения (гипотезы), которые нуждаются в проверке. Такая проверка может быть выполнена по имеющемуся выборочному ряду наблюдений (измерений) $X_i, i=1 \dots 12$, с помощью различных статистических критериев, применяемых как для анализа резко выделяющихся наблюдений, так и для проверки гипотез [12–22]:

- о типе закона распределения случайной величины;
- об однородности и стационарности обрабатываемого ряда наблюдений;
- о типе зависимости между компонентами обрабатываемого ряда наблюдений;
- о независимости компонентов обрабатываемого ряда наблюдений.

При проверке подлежат использованию как значения показателя БП при очередном мониторинге текущего уровня БП, так и прогнозируемые значения, получаемые при анализе динамики уровня БП ВС авиакомпании [11], сравниваемые с заданными пороговыми и целевыми уровнями показателей БП СУБП, согласно рекомендациям ИКАО [8].

Анализа резко выделяющихся наблюдений необходим для того, чтобы определить, являются ли они следствием влияния факторов случайного характера (случайные изменения), либо отражают развитие «аварийного» состояния АТС, обусловленного происходящими изменениями систематического характера.

Рассмотрим методику применения статистических критериев для обнаружения резко выделяющихся наблюдений (выбросов) в целях контроля за изменениями в АТС, когда текущие или прогнозные значения показателей частоты авиационных инцидентов или предпосылок к ним резко увеличены. Необходимо проверить: действительно ли они увеличены, т.е. величины наблюдений не согласуются с распределением основной массы данных. Если это так, то необходимо проверить, являются ли эти резкие увеличения результатом случайного просчета при обработке данных, или отражают неприемлемые, с точки зрения БП, изменения в эксплуатируемой АТС, когда необходимо найти причины такого увеличения и принять меры по нормализации (регулированию) состояния АТС.

Прежде всего, необходимо провести нормирование исходных данных, т.е. перейти от абсолютных показателей БП (количество инцидентов) к относительным (частота инцидентов).

Пусть имеются данные по количеству инцидентов самолетного парка авиакомпании за 12 месяцев (табл. 1). Приведение исходных данных к сопоставимому виду, т.е. к показателю «Количество авиационных инцидентов на 1000 часов полета» представлено в графе 5 табл. 1.

Таблица 1

Количество инцидентов самолетного парка авиакомпании

Год	Месяц	Налет, час	Количество инцидентов	Количество инцидентов на 1000 часов
2012	ноябрь	16463	6	0,36
2012	декабрь	15808	5	0,32
2013	январь	14931	9	0,60
2013	февраль	13762	7	0,51
2013	март	15636	5	0,32
2013	апрель	15837	2	0,13
2013	май	17311	2	0,12
2013	июнь	18806	3	0,16
2013	июль	19613	2	0,10
2013	август	19523	7	0,36
2013	сентябрь	17834	10	0,56
2013	октябрь	17244	13	0,75

Текущие значения рассматриваемого показателя БП имеют резкое увеличение в октябре. Требуется проверить: является ли это увеличение случайным или носит систематический характер.

Необходимо проверить, подчиняют ли наблюдения из графы 5 таблицы 1 нормальному закону распределения или нет, поскольку методы анализа резко выделяющихся наблюдений различны и зависят от того, известен ли закон распределения.

При малом числе наблюдений (менее 16) возможна лишь грубая проверка соответствия эмпирического закона распределения нормальному закону [12–18].

Оценка среднего квадратического (стандартного) отклонения группы результатов наблюдений:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (1)$$

где \bar{X} – среднее арифметическое значение группы результатов наблюдений; X_i – i -й результат наблюдения; n – число наблюдений в выборке. Затем рассчитывают оценку коэффициента асимметрии μ_1 :

$$\mu_1 = m_3 / S^3, \quad (2)$$

где величину m_3 определяют по формуле:

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3, \quad (3)$$

Точность оценки коэффициента асимметрии определяют из выражения:

$$\sigma_{\mu_1} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}}, \quad (4)$$

Коэффициент асимметрии считается статистически значимым, если выполняется условие:

$$|\mu_1| \geq 3\sigma_{\mu_1}, \quad (5)$$

Коэффициент эксцесса оценивают по формуле:

$$\mu_2 = \frac{n^2(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} m_4 / S^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}, \quad (6)$$

где

$$m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4, \quad (7)$$

Точность оценки коэффициента эксцесса определяют из выражения:

$$\sigma_{\mu_2} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} \quad (8)$$

Коэффициент эксцесса считают статистически значимым, если выполняется условие:

$$\mu_2 \geq 3\sigma_{\mu_2} \quad (9)$$

При выполнении любого из условий (5) или (9) гипотезу о соответствии эмпирического закона распределения нормальному закону отвергают.

В нашем примере $\mu_1 = 0,42$, $\sigma_{\mu_1} = 0,58$, $\mu_2 = -0,81$, $\sigma_{\mu_2} = 0,92$, поэтому гипотеза о нормальности распределения не отвергается.

Проверку наличия выбросов выполняют с помощью метода статистической проверки гипотез [16–22]. Для того выдвигают нулевую гипотезу относительно экстремального (минимального или максимального) результата наблюдения, который вызывает сомнение, и рассматривают его как выброс в множестве (ряде) наблюдений. Нулевая гипотеза заключается в утверждении, что “сомнительный” результат в действительности принадлежит возможной совокупности полученных в конкретных условиях результатов наблюдений, и получение такого результата вероятно.

С использованием статистических критериев проверяют нулевую гипотезу, т.е. предпринимают попытку доказать ее практическую невозможность. Выбор того или иного критерия основан на принципе практической уверенности. Для этого задают уровнем значимости – достаточно малой вероятностью q того, что сомнительный результат действительно мог бы иметь место. Уровень значимости обычно выбирают из ряда: 0,10; 0,05; 0,01 и т.д. Для выбранного значения q определяют критическую область значений критерия проверки нулевой гипотезы: если значение критерия попадает в эту область, то гипотезу отвергают.

Например, для результатов наблюдений, закон распределения которых соответствует нормальному распределению (как в нашем случае), наибольшее значение X_i является выбросом, если выполняется неравенство:

$$\max_{i=1, \dots, n} \frac{|X_i - \bar{X}|}{S^*} \geq T(q, n) \quad (10)$$

где \bar{X} – оценка среднего арифметического группы результатов наблюдений;

$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ – оценка смещенного среднего квадратического (стандартного) отклонения группы результатов наблюдений; $T(q, n)$ – квантиль распределения, соответствующий уровню значимости q и числу наблюдений n (табл. 2); $n=12$ – число наблюдений.

Таблица 2

Квантили распределения $T(q, n)$

n	q			
	0,01	0,02	0,05	0,10
4	1,73	1,72	1,71	1,69
5	1,97	1,96	1,92	1,87
6	2,16	2,13	2,07	2,00
7	2,31	2,26	2,18	2,09
8	2,43	2,37	2,27	2,17
9	2,53	2,46	2,35	2,24
10	2,62	2,54	2,41	2,29
12	2,75	2,66	2,52	2,39
14	2,86	2,76	2,60	2,46

Для нашего примера примем уровень значимости $q=0,05$. Для числа результатов наблюдений $n=12$ квантиль $T(q, n) = 2,52$. Тогда :

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 0,2.$$

Значение $\max_{i=1, \dots, n} \frac{|X_i - \bar{X}|}{S^*} = 1,95$ не соответствует неравенству (10), следовательно, значение приведенного количества инцидентов в октябре 2013 года (0,75) не является критическим (аварийным).

Однако, из данных графы 5 таблицы 1 видно, что, начиная с августа 2013 года, показатель «Количество инцидентов на 1000 часов полета» имеет тенденцию к увеличению.

Следующей процедурой мониторинга в СУБП авиакомпании является прогнозирование значений рассматриваемого показателя [9–11]. При этом выполняют математическую обработку результатов наблюдений с целью нахождения функциональной зависимости между величинами (переменными) X и t : $X=f(t)$. Для нахождения функциональной зависимости обработку экспериментальных данных производят с использованием метода наименьших квадратов (МНК).

Прогнозированием получено, что количество инцидентов в следующем месяце (ноябре) возрастет и составит 1,38 инцидента на 1000 часов полета. Проверка данных с учетом значения прогноза показала, что теперь закон распределения этих наблюдений не соответствуют нормальному закону распределения: $\mu_1 = 1,76, \sigma_{\mu 1} = 0,57, \mu_2 = 3,9, \sigma_{\mu 2} = 0,91$, поэтому гипотезу о соответствии эмпирического закона распределения нормальному закону отвергают. В этом случае могут быть применены статистические критерии проверки наличия выбросов, исключающие экстремальные (вызывающие подозрения) зна-

чения наблюдений – в рассматриваемом примере это значение прогноза, равное 1,38 инцидента на 1000 часов полета.

В качестве статистического критерия может быть применен критерий Романовского, эффективный в случаях, когда число наблюдений меньше 20. Для этого вычисляют отношение:

$$\frac{|X_i - \bar{X}|}{S} = \beta(q, n), \quad (11)$$

где \bar{X} – среднее арифметическое группы результатов измерений; X_i –экстремальное значение (наш прогноз, равный 1,38 инцидента на 1000 часов полета);

$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ – оценка среднего квадратического (стандартного) отклонения группы результатов наблюдений. Величины \bar{X} и S вычисляют без учета экстремального значения X_i (прогнозируемого значения результата наблюдения).

Вычисленное значение $\beta(q, n)$ сравнивают с критерием

$$\beta_K(q, n),$$

где $\beta_K(q, n)$ – квантиль распределения, соответствующий уровню значимости q и числу наблюдений n (табл. 3). Если $\beta(q, n) \geq \beta_K(q, n)$, то результат X_i считают выбросом.

Для рассматриваемого примера принятый уровень значимости $q = 0,05$, поэтому для числа результатов наблюдений $n = 12$ квантиль $\beta_K(q, n) = 2,52$, $S = 0,21$, $\bar{X} = 0,36$, $X_i = 1,38$ и отношение $\frac{|X_i - \bar{X}|}{S} = 4,86$. В результате подтверждено, что прогнозируемое значение показателя БП «Количество инцидентов на 1000 часов» является выбросом и соответствует недопустимому уровню БП.

Таблица 3

Квантили распределения $\beta_K(q, n)$

n	q			
	0,01	0,02	0,05	0,10
4	1,73	1,72	1,71	1,69
6	2,16	2,13	2,07	2,00
8	2,43	2,37	2,27	2,17
10	2,62	2,54	2,41	2,29
12	2,75	2,66	2,52	2,39
15	2,90	2,80	2,64	2,49

Мерами организационно–технического характера, предпринятыми в авиакомпании в ноябре 2013 года, удалось предотвратить резкое увеличение частоты авиационных инцидентов и снизить этот показатель БП до приемлемого уровня, равного 0,93 инцидента на 1000 часов полета.

Таким образом, обнаружение неприемлемых значений показателя БП в текущем или

прогнозом уровне свидетельствует о состоянии АТС, характеризуемом потенциально высоким (выходящим из-под контроля) риском, что требует оперативного реагирования, начиная с факторного анализа авиационных инцидентов для идентификации опасных факторов и определения основной причины неприемлемого изменения в АТС, с последующим регулированием риска для БП.

Библиография :

1. Управление безопасностью полетов. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации ИКАО, документ № 9859–AN/474 [Электронный ресурс]. Монреаль: ИКАО, 2013. URL:<http://www.icao.int/Pages/default.aspx> (дата обращения – 07.08.2014).
2. Гузий А.Г., Онуфриенко В.В. Методология предотвращения авиационных происшествий через активное управление уровнем безопасности предстоящих полетов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2006. № 3. С. 52–60.
3. Есев А.А., Мережко А.Н., Ткачук А.В. Технология квалиметрии технического уровня сложных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 7 (121). С. 28–34.
4. Коломиец Л.В., Федоров М.В., Богомолов А.В., Мережко А.Н., Солдатов А.С., Есев А.А. Метод поддержки принятия решений по управлению ресурсами при испытаниях авиационной техники // Информационно–измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 5. С. 38–40
5. Федоров М.В., Калинин К.М., Богомолов А.В., Стецюк А.Н. Математическая модель автоматизированного контроля выполнения мероприятий в органах военного управления // Информационно–измерительные и управляющие системы. 2011. Т. 9. № 5. С. 46–54
6. Макаренко В.Г., Богомолов А.В., Рудаков С.В., Подорожняк А.А. Технология построения инерциально–спутниковой навигационной системы управления транспортными средствами с нейросетевой оптимизацией состава вектора измерений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 1. С. 39–44.
7. IOSA Standard Manual, Ed. 8, p. 3.3. [Электронный ресурс] IATA, 2014. URL:<http://www.iata.org/whatwedo/safety/audit/iosa/Documents/IOSA%20Standards%20Manual%20Ed%208.pdf> (дата обращения – 20.08.2014).
8. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Издание третье. Дос.9859 – AN/474. – ИКАО, 2013.
9. Гузий А.Г., Лушкин А.М. Методический подход к мониторингу показателей безопасности полетов в авиакомпании // Проблемы безопасности полетов. № 4, 2009. С. 3–9.
10. Лушкин А.М., Чуйко А.А., Сулим А.С. Типовой алгоритм обработки информации при мониторинге уровня безопасности полетов // Материалы Всероссийской научно–технической конференции «XI Научные чтения, посвященные памяти Н.Е.Жуковского». М: Издательский дом Академии имени Н.Е.Жуковского, 2014. С.116–118.
11. Руководство по подготовке анализа состояния безопасности полетов в ОАО «Авиакомпания «ЮТэйр», РД–И1.027–01. – Ханты–Мансийск: «ЮТэйр», 2013. 42 с.

12. ГОСТ 8.508–84. ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки контроля. – М.: Издательство стандартов, 1984. 36 с.
13. Фещенко К.Б., Козлов В.Е., Богомолов А.В., Волобуев А.П., Рудаков С.В. Методика оценивания продолжительности метрологического обслуживания измерительных приборов и аппаратных средств в условиях разомкнутых метрологических цепей // Информационно–измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 54–60.
14. Фещенко К.Б., Рудаков С.В., Козлов В.Е., Волобуев А.П., Богомолов А.В. Математическая модель динамики средней численности приборов и аппаратов медицинского назначения в условиях разомкнутого цикла метрологического обслуживания // Биомедицинская радиоэлектроника. 2006. № 5–6. С. 99–103.
15. Крамер Г. Математические методы статистики. Пер. с англ., 2 изд. М.: 1975. 224 с.
16. МИ 2091. ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 19 с.
17. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики, 3 изд. М.: 1983. 422 с.
18. Рудаков И.С., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведении контроля состояния сложных систем // Информационно–измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 66–72.
19. Марусина М.Я., Ткалич В.Л., Воронцов Е.А., Скалецкая Н.Д. Основы метрологии, стандартизации и сертификации. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 164 с.
20. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
21. Статистика / Под ред. И.И. Елисейевой. М.: ООО «ВИТРЭМ», 2002. 448 с.
22. Шибанов Г.П. Основные понятия и количественные оценки, используемые в авиации и космонавтике: англо–русский словарь–справочник для русскоязычных специалистов. М.: Издательский дом Академии имени Н.Е.Жуковского, 2013. 463 с.

References:

1. Upravlenie bezopasnost'yu poletov. Prilozhenie 19 k Konventsii o mezhdunarodnoi grazhdanskoi aviatsii ICAO, dokument № 9859–AN/474 [Elektronnyi resurs]. Monreal': ICAO, 2013. URL:[http://www.icao.int/Pages/default.aspx \(data obrashcheniya – 07.08.2014\)](http://www.icao.int/Pages/default.aspx?data obrashcheniya – 07.08.2014).
2. Guzii A.G., Onufrienko V.V. Metodologiya predotvrashcheniya aviatsionnykh proisshestvii cherez aktivnoe upravlenie urovнем bezopasnosti predstoyashchikh poletov // Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii. 2006. № 3. S. 52–60.
3. Esev A.A., Merezhko A.N., Tkachuk A.V. Tekhnologiya kvalimetrii tekhnicheskogo urovnya slozhnykh sistem // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii. 2014. № 7 (121). S. 28–34.
4. Kolomiets L.V., Fedorov M.V., Bogomolov A.V., Merezhko A.N., Soldatov A.S., Esev A.A. Metod podderzhki prinyatiya reshenii po upravleniyu resursami pri ispytaniyakh aviatsionnoi tekhniki // Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2010. Т. 8. № 5. S. 38–40.

5. Fedorov M.V., Kalinin K.M., Bogomolov A.V., Stetsyuk A.N. Matematicheskaya model' avtomatizirovannogo kontrol'ya vypolneniya meropriyatii v organakh voennogo upravleniya // Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2011. T. 9. № 5. S. 46–54.
6. Makarenko V.G., Bogomolov A.V., Rudakov S.V., Podorozhnyak A.A. Tekhnologiya postroeniya inertsiyal'no–sputnikovoi navigatsionnoi sistemy upravleniya transportnymi sredstvami s neurosetevoi optimizatsiei sostava vektora izmerenii // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2007. № 1. S. 39–44.
7. IOSA Standard Manual, Ed. 8, p. 3.3. [Elektronnyi resurs] IATA, 2014. URL:<http://www.iata.org/whatwedo/safety/audit/iosa/Documents/IOSA%20Standards%20Manual%20Ed%208.pdf> (data obrashcheniya – 20.08.2014).
8. Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnost' poletov (RUBP). Izdanie tret'e. Doc.9859 – AN/474. – IKA0, 2013.
9. Guzii A.G., Lushkin A.M. Metodicheskii podkhod k monitoringu pokazatelei bezopasnosti poletov v aviakompanii // Problemy bezopasnosti poletov. № 4, 2009. S. 3–9.
10. Lushkin A.M., Chuiko A.A., Sulim A.S. Tipovoi algoritm obrabotki informatsii pri monitoringe urovnya bezopasnosti poletov // Materialy Vserossiiskoi nauchno–tekhnicheskoi konferentsii «XI Nauchnye chteniya, posvyashchennye pamyati N.E.Zhukovskogo». M: Izdatel'skii dom Akademii imeni N.E.Zhukovskogo, 2014. S.116–118.
11. Rukovodstvo po podgotovke analiza sostoyaniya bezopasnosti poletov v OAO «Aviakompaniya «YuTeir», RD–I1.027–01. – Khanty–Mansiisk: «YuTeir», 2013. 42 s.
12. GOST 8.508–84. GSI. Metrologicheskie kharakteristiki sredstv izmerenii i tochnostnye kharakteristiki sredstv avtomatizatsii GSP. Obshchie metody otsenki kontrolya. –M.: Izdatel'stvo standartov, 1984. 36 s.
13. Feshchenko K.B., Kozlov V.E., Bogomolov A.V., Volobuev A.P., Rudakov S.V. Metodika otsenivaniya prodolzhitel'nosti metrologicheskogo obsluzhivaniya izmeritel'nykh priborov i apparatnykh sredstv v usloviyakh razomknytykh metrologicheskikh tsepei // Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 54–60.
14. Feshchenko K.B., Rudakov S.V., Kozlov V.E., Volobuev A.P., Bogomolov A.V. Matematicheskaya model' dinamiki srednei chislennosti priborov i apparatov meditsinskogo naznacheniya v usloviyakh razomknutogo tsikla metrologicheskogo obsluzhivaniya // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2006. № 5–6. S. 99–103.
15. Kramer G. Matematicheskie metody statistiki. Per. s angl., 2 izd. M.: 1975. 224 s.
16. MI 2091. GSI. Izmereniya fizicheskikh velichin. Obshchie trebovaniya. – M.: Komitet standartizatsii i metrologii SSSR, 1991. 19 s.
17. Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Tablitsy matematicheskoi statistiki, 3 izd. M.: 1983. 422 s.
18. Rudakov I.S., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Metodika identifikatsii vida zakona raspredeleniya parametrov pri provedeniya kontrolya sostoyaniya slozhnykh sistem // Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 66–72.
19. Marusina M.Ya., Tkalich V.L., Vorontsov E.A., Skaletskaya N.D. Osnovy metrologii, standartizatsii i sertifikatsii. Uchebnoe posobie. – SPb.: SPbGU ITMO, 2009. 164 s.
20. Aivazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika: Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannykh. M.: Finansy i statistika, 1983. 471 s.
21. Statistika / Pod red. I.I. Elisevoi. M.: OOO «VITREM», 2002. 448 s.
22. Shibanov G.P. Osnovnye ponyatiya i kolichestvennye otsenki, ispol'zuemye v aviatsii i kosmonavtike: anglo-russkii slovar'-spravochnik dlya russkoyazychnykh spetsialistov. M.: Izdatel'skii dom Akademii imeni N.E.Zhukovskogo, 2013. 463 s.