

УДК 004.021

Doi: 10.31772/2712-8970-2025-26-2-202-214

Для цитирования: Русина А. А. Представление и оценка рисков внедрения электронного контента в информационно-измерительные системы аэрогеофизического назначения на базе мягких вычислений // Сибирский аэрокосмический журнал. 2025. Т. 26, № 2. С. 202–214. Doi: 10.31772/2712-8970-2025-26-2-202-214.

For citation: Rusina A. A. [Soft computing-based representation and risk assessment of electronic content implementation in aerogeophysical information and measurement systems]. *Siberian Aerospace Journal*. 2025, Vol. 26, No. 2, P. 202–214. Doi: 10.31772/2712-8970-2025-26-2-202-214.

Представление и оценка рисков внедрения электронного контента в информационно-измерительные системы аэрогеофизического назначения на базе мягких вычислений

А. А. Русина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова
Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1
E-mail: rusina_aa@voenmeh.ru

Аннотация. Развитие беспилотных авиационных систем становится одним из ключевых направлений научно-технологического развития России. В рамках утверждённой стратегии до 2030 г. планируется формирование новой отрасли экономики, специализирующейся на создании и использовании гражданских беспилотников, определены приоритетные направления развития беспилотных технологий. Большой потенциал применения беспилотных аппаратов наблюдается в создании геопространственных баз данных. В связи с этим, при использовании автономных авиационных платформ для аэрогеофизических работ приобретают актуальность вопросы совершенствования и развития информационно-измерительных систем, применяемых на таких носителях, а также вопросы подготовки операторов систем аэрогеофизического назначения. Важное значение приобретает разработка алгоритмического и программного обеспечения информационно-измерительных систем на основе внедрения ранее уже созданного электронного контента: справочных материалов, инструкций по работе, эксплуатации приборной продукции, протоколов обработки получаемых результатов, методики принятия решений и др. Однако применение такого электронного контента несет риски снижения качества съёмочных работ. Одним из способов оценки рисков является совмещение традиционного качественно-категорийного подхода современного риск-менеджмента с многоуровневой репрезентацией иерархии агрегирования экспертно-оцениваемых рисков в составе сводных и интегральных рисков путем применения аппарата мягких вычислений. Для систематизации и приоритизации рисков предлагается использование шкал градуирования и терм лингвистических переменных составляющих рисков, связанных с вероятностью возникновения снижения качества контента информационного обеспечения систем подготовки операторов, с потенциальной величиной возможного ущерба при возникновении факта снижения качества информационного обеспечения. В результате становится возможным разработка модели риск-оценки, представляющей собой процедуру специфического построения матриц последствий и вероятностей для отдельных риск-показателей оценки интеграции электронного контента в информационное обеспечение систем подготовки операторов информационно-измерительных систем аэрогеофизического назначения. Данная процедура есть логическая основа для расчета сводных и интегральных значений риск-показателей оценки, а также градуирования уровней риска.

Ключевые слова: подготовка операторов информационно-измерительных систем аэрогеофизического назначения, риск-показатели оценки интеграции, электронный контент, термы лингвистических переменных.

Soft computing-based representation and risk assessment of electronic content implementation in aerogeophysical information and measurement systems

A. A. Rusina

Baltic state technical university «VOENMEKH» named after D. F. Ustinov
1, 1 st. Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005, Russian Federation
E-mail: rusina_aa@voenmeh.ru

Abstract. The development of unmanned aircraft systems is becoming one of the key areas of Russia's scientific and technological development. Within the framework of the approved strategy until 2030, it is planned to form a new industry specializing in the creation and use of civilian drones, and priority areas for the development of unmanned technologies have been identified. The great potential for the use of unmanned vehicles is observed in the creation of geospatial databases. In this connection, when using autonomous aerial platforms for aerogeophysical works, the issues of improvement and development of information-measuring systems used on such carriers, as well as the issues of training of operators of aerogeophysical systems become relevant. The development of algorithmic and software of information-measuring systems on the basis of implementation of previously created electronic content: reference materials, instructions for work, operation of instrumentation products, protocols for processing of obtained results, decision-making techniques, etc. is becoming important. However, the application of such electronic content carries risks of reducing the quality of surveying works. One of the ways of risk assessment is to combine the traditional qualitative and categorical approach of modern risk management with multilevel representation of the hierarchy of aggregation of expert-assessed risks in the composition of summary and integral risks by applying the apparatus of soft computing. For systematization and prioritization of risks it is proposed to use gradation scales and terms of linguistic variables of risk components associated with the probability of occurrence of a decrease in the quality of content of information support of operator training systems, with the potential value of possible damage in the event of the fact of a decrease in the quality of information support. As a result, it becomes possible to develop a risk-assessment model, which is a procedure for the specific construction of matrices of consequences and probabilities for individual risk-indicators of the assessment of the integration of electronic content in the information support of training systems for operators of information-measuring systems of aerogeophysical applications. This procedure is a logical basis for calculation of summary and integral values of risk-indicators of assessment, as well as gradation of risk levels.

Keywords: training of operators of information-measuring systems of aerogeophysical application, risk-indicators of integration assessment, electronic content, terms of linguistic variables.

Введение

В Перечень приоритетных направлений научно-технологического развития России, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 включены «Интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства» и конкретизирован Перечень важнейших наукоемких технологий, в котором выделены такие направления, как:

– транспортные технологии для различных сфер применения (море, земля, воздух), в том числе беспилотные и автономные системы;

– мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата (в том числе ключевых районов Мирового океана, морей России, Арктики и Антарктики), технологии предупреждения и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, негативных социально-экономических последствий.

В этой связи приобретает особую актуальность развитие информационно-измерительных систем аэрогеофизического назначения, повышение эффективности организации аэрогеофизи-

ческих исследований, оптимизация процессов обработки данных, обеспечение достоверности получаемой информации, обучение операторов таких систем.

Оценка рисков при разработке информационно-измерительных систем, эффективности применения ранее уже созданного электронного контента является критически важным процессом, который позволяет обеспечить надежность и эффективность систем, минимизировать возможные потери и оптимизировать затраты на их реализацию [1]. Для повышения качества оценки модель должна быть итеративной.

Оценка рисков интеграции электронного контента в информационное обеспечение

Один из основных блоков модели итеративной оценки рисков интеграции электронного контента (ЭК) в информационное обеспечение (ИО) систем подготовки операторов информационно-измерительных систем аэрогеофизического назначения (ИИС АН) включает оценку рисков на базе мягких вычислений. Логико-алгоритмическая реализация блока опирается на нормативно-технические документы современного риск-менеджмента [2–4] и применяется, в том числе, в информационных системах [5–7].

Оценка любого риска интеграции ЭК предполагает обоснованное построение матрицы оценки этого риска и является заключением вероятности наступления непереносимых последствий и потенциального ущерба. Показатели риск-оценки определяются по итеративной процедуре через агрегирование значений более простых показателей, входящих в их состав, представляются через агрегирующие объединения $i...j$ риск-показателей из состава семейства простейших показателей. Большое число уровней такого агрегирования и ведет к синтезу иерархии риск-показателей.

Для систематизации и приоритизации рисков предлагается использование следующих шкал градуирования составляющих рисков, полученных путем обработки экспертного опроса методами аналитической иерархии матриц попарных сравнений индивидуальных мнений каждого из k опрошенных экспертов:

- вероятности возникновения снижения качества контента ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав материалов ЭК (табл. 1) (вероятность p_{ij} снижения качества контента, где i и j – элементарные показатели качества ИО, уровни снижения представлены шкалой значений вербальной интерпретации запрашиваемых данных);

- потенциальной величины возможного ущерба при возникновении факта снижения качества ИО систем подготовки операторов ИИС АН (табл. 2) (ущерб y_{ij} , где i и j – элементарные показатели качества ИО, уровни величины ущерба представлены шкалой значений вербальной интерпретации запрашиваемых данных).

Уровни риска снижения качества контента ИО определяются в соответствии с мнениями экспертов (количество экспертов – k), u_{ij} – мультипликативная свертка уровней проявления риска по элементарным показателям качества ИО, и измеряются на основе порядковых или количественных шкал.

Используя результаты исследований [8–11] в модели может быть реализована пятиуровневая шкала градуирования уровней риска с цветовой идентификацией по градации серого цвета: от черного (наибольший риск) к белому (наименьший риск) (табл. 3).

Таблица 1

Шкала уровней вероятности снижения качества ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК

№	Вербальное название уровней и их идентификационное обозначение	Описание отличительного существа, соответствующих граничных признаков	Общие пояснения
1	Непрерывно p_{ij} : «НЕПРЕРЫВНО»	Очевидно, что качество средства ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК будет низким	Наибольшая вероятность наступления

Окончание табл. 1

№	Вербальное название уровней и их идентификационное обозначение	Описание отличительного существа, соответствующих граничных признаков	Общие пояснения
2	Скорее всего p_{ij} : «ОЧ. ВЕРОЯТНО»	Очень возможно, что качество средства ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК будет снижено	
3	Вполне возможно p_{ij} : «ОЖИДАЕМО»	Есть основания полагать, что качество средства ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК будет низким	
4	Мало допустимо p_{ij} : «МАЛОВЕРОЯТНО»	Отдельные проявления и свойства используемого контента могут приводить к снижению качества ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК	
5	Изредка встречающееся, крайне редкое проявление p_{ij} : «КР. РЕДКО»	Нет оснований полагать (ожидать), что качество ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК будет снижено	Наименьшая вероятность наступления

Таблица 2

Шкала уровней величины ущерба от снижения качества ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК

№	Вербальное название уровней и их идентификационное обозначение	Описание отличительного существа, граничных признаков		
		Признаки снижения эффективности подготовки операторов ИИС АН с использованием автоматизированных средств, ЭК		
		Мотивационные, психолого-организационные	Мотивационные, психолого-организационные	Мотивационные, психолого-организационные
I	Неважный, пренебрегаемо малый, сверхмалый u_{ij} : «СВЕРХМАЛЫЙ»	Не констатируется снижение мотивации подготавливаемых специалистов, есть отдельные, не системные факты снижения мотивации	Незначительные, сравнимые с погрешностью метода измерений	Возможно устранение недостатков применения средств ИО силами организаторов процесса подготовки операторов ИИС АН
II	Заметный, небольшой, видимый u_{ij} : «ВИДИМЫЙ»	Констатируется фрагментарное снижение мотивации подготавливаемых специалистов при работе с применением средств автоматизации подготовки, ЭК	Средние, заметно значимые, требующие интенсификации подготовки	Возможно устранение недостатков применения средств ИО силами специализированных подразделений обеспечения, с привлечением дополнительных источников данных
III	Ощутимый, умеренно-значимый, средний u_{ij} : «СРЕДНИЙ»	Констатируется системное снижение мотивации подготавливаемых специалистов к работе с применением средств автоматизации подготовки, электронным контентом, в целом	Ощутимо важные, высокие, требующие компенсации за счет дополнительных временных и других ресурсов	Возможно устранение недостатков применения и функционирования средств ИО силами специализированных внешних организаций – представителей разработчика, с привлечением консультативно-компетентной поддержки внешних провайдеров

Окончание табл. 2

№	Вербальное название уровней и их идентификационное обозначение	Описание отличительного существа, граничных признаков		
		Признаки снижения эффективности подготовки операторов ИИС АН с использованием автоматизированных средств, ЭК		
		Мотивационные, психолого-организационные	Мотивационные, психолого-организационные	Мотивационные, психолого-организационные
IV	Существенно-значимый, большой, сильный y_{ij} : «СИЛЬНЫЙ»	Констатируется критическое снижение мотивации подготавливаемых специалистов как к работе с применением отдельных средств автоматизации подготовки, так и с электронным контентом, в целом	Очень важные, крупные, требующие первоочередной и значительной компенсации за счет дополнительных временных и других ресурсов	Остаются незначительные шансы для устранения недостатков применения и функционирования средств ИО, но они возможны только с привлечением разработчика
V	Критический, катастрофически-сильный, невосполнимый y_{ij} : «ОЧ. СИЛЬНЫЙ»	Констатируется полная потеря мотивации подготавливаемых специалистов как к работе с применением отдельных средств автоматизации подготовки, так и с электронным контентом, в целом	Невосполнимые в рамках текущего курса подготовки потери операторов ИИС АН	Выявленные программно-технологические недостатки, структурно-семантические ошибки в реализации ИО требуют полной переработки средства автоматизации подготовки, что нанесло ущерб курсу подготовки операторов ИИС АН

Таблица 3

Шкала градуирования уровней риска снижения качества контента ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав ЭК

№	Название уровней риска и их идентификационное обозначение	Описание отличительного существа, соответствующих граничных признаков	Быстрая цветовая идентификация, условное штрих-обозначение термина лингвистической переменной
1	Критически опасный, аварийный $r_k(u_{ij})$: «АВАРИЙНЫЙ»	Требует незамедлительных и массированно-решительных корректирующих воздействий с привлечением всех доступных ресурсов (от руководителей подготовки до разработчиков средства ИО систем подготовки операторов ИИС АН)	
2	Опасный, требующий срочного реагирования $r_k(u_{ij})$: «ОПАСНЫЙ»	Требует срочных корректирующих воздействий с частичным и плановым привлечением внешних ресурсов, а также информирования разработчика средства ИО, для устранения выявленных недостатков	
3	Контролируемый, управляемо-компенсируемый $r_k(u_{ij})$: «КОНТРОЛИРУЕМЫЙ»	Требует плановых корректирующих воздействий с частичным привлечением дополнительных ресурсов, а также проработки полноты реализации всех функциональных возможностей средства ИО систем подготовки операторов ИИС АН, заложенных в него разработчиком	

№	Название уровней риска и их идентификационное обозначение	Описание отличительного существа, соответствующих граничных признаков	Быстрая цветовая идентификация, условное штрих-обозначение термина лингвистической переменной
4	Локализуемый, низкий $r_k(u_{ij})$: «НИЗКИЙ»	Хеджируется и/или локализуется в рамках типовых схем повседневного функционирования, ущерб предотвращается в объеме планово-обязательных процедур донастройки, индивидуализации подготовки	
5	Незначимый, не влияющий $r_k(u_{ij})$: «НЕЗНАЧИМЫЙ»	Контролируется периодически с целью своевременного выявления фактов изменений, несоответствий и пр.	

Применение аппарата мягких вычислений для оценки риска интеграции электронного контента в информационное обеспечение

Необходимость математической свертки значений простейших рисков в значения u_{ij} сводных r_k и интегрального R_0 риск-показателей оценки интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН определяет потребность в количественном выражении указанных градаций составляющих риска p_{ij} и y_{ij} на основе применения математического аппарата мягких вычислений: алгебры лингвистических переменных, использующей теорию нечетких множеств.

Так, в частности, на основании аппарата лингвистических переменных, указанных в табл. 1 и 2, обозначения уровней, составляющих простейших рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН, могут быть рассмотрены как соответствующие термы следующих лингвистических переменных:

$$L_1 = \langle \text{вероятность снижения качества контента ИО} \rangle ; \quad (1)$$

$$L_2 = \langle \text{ущерб от снижения качества контента ИО} \rangle . \quad (2)$$

Теоретический базис (основные понятия, соответствующие алгебры из теории нечетких множеств и пр.) работы с лингвистическими переменными (1) и (2) соответствует разделу современной математики мягких вычислений – теории лингвистических переменных, теории нечетких множеств [12–14]. В силу выше сказанного, при обосновании и синтезе представляемой модели оценки качества исследованы именно специфические аспекты научно-методического применения введенных лингвистических переменных L_1 и L_2 , (1) и (2), а аспекты построения их терм-множеств, назначения конкретных идентификаторов переменных и пр. могут быть отнесены к общеизвестным. В целом, каждая из лингвистических переменных L_1 и L_2 задается как некоторое теоретико-множественное обобщение $L^\wedge$:

$$L^\wedge = \langle \beta, F^\wedge(\beta), X^\wedge, G^\wedge, N^\wedge \rangle, \quad (3)$$

где β – вербальный идентификатор, выступающий в роли имени лингвистической переменной; $F^\wedge(\beta)$ – семейство значений (термов) лингвистической переменной β , т. н. терм-множество. Это семейство (т. е. проиндексированное множество) вербализованных значений лингвистической переменной β , в котором каждое из таких терм, значений есть нечеткая переменная с областью определения $X^\wedge$; $G^\wedge$ – правило синтаксиса – грамматика, порождающее конкретизированные значения $\alpha^\wedge$ нечетких переменных для термов лингвистической переменной β ($\alpha^\wedge \in F^\wedge(\beta)$); $N^\wedge$ – правило семантики, определяющее соответствие каждой нечеткой переменной $\alpha^\wedge \in F^\wedge(\beta)$ соответствующее нечеткое подмножество [15].

Основным источником данных о нечисловых «измерениях» простейших рисков и их составляющих, в данной предметной области, выступает человек-эксперт. Для него существо такого «нечислового измерения» для значения того или иного риск-показателя заключается в неметрическом оценивании степени совпадения констатируемой им текущей картины возможного возникновения ущерба по рассматриваемому риск-показателю с некоторой эталонной моделью идеальной картины текущей ситуации. Именно степень такого совпадения с указанным идеалом в сознании эксперта выступает в качестве меры неинструментального измерения, разницы:

$$\Delta U_i = U_i - U_0, \quad (4)$$

где U_i – уровень проявления риска по i -му риск-показателю оценки; U_0 – эталонный, идеальный уровень проявления риска по i -му риск-показателю оценки, осознаваемый экспертом.

Для репрезентации составляющих риска p_{ij} и y_{ij} на основе применения математического аппарата мягких вычислений как лингвистических переменных L_1 и L_2 , т. е. (1) и (2), математического вида $L^\wedge$ в соответствии (3), с терм-множеством значений, определенным на шкалах, представленных в табл. 1 и 2, установлено соответствие градаций шкал оценки указанных параметров как нечетких множеств, идентифицируемых в качестве термов (значений) указанных лингвистических переменных. Иными словами, методологически принимается, что при оценке составляющих простейших рисков эксперты обязаны использовать именно термы – значения лингвистических переменных L_1 и L_2 соответственно. Синтез термов – нечетких множеств для лингвистических шкал оценки реализуется по общеизвестным методикам построения функций принадлежности нечетких чисел [15].

В частности, в рамках предлагаемой модели итеративной оценки рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН применен как математический аппарат синтеза функций принадлежности нечетких чисел – термов лингвистических переменных L_1 и L_2 достаточно известный метод относительных частот [15]. При этом значения лингвистических переменных, по методикам из [15], могут быть заданы (т. е. синтезированы) как нечеткие числа в форме $(L-R)$ -функций, а могут как т. н. треугольные нечеткие числа (ТНЧ), что показано на рис. 1.

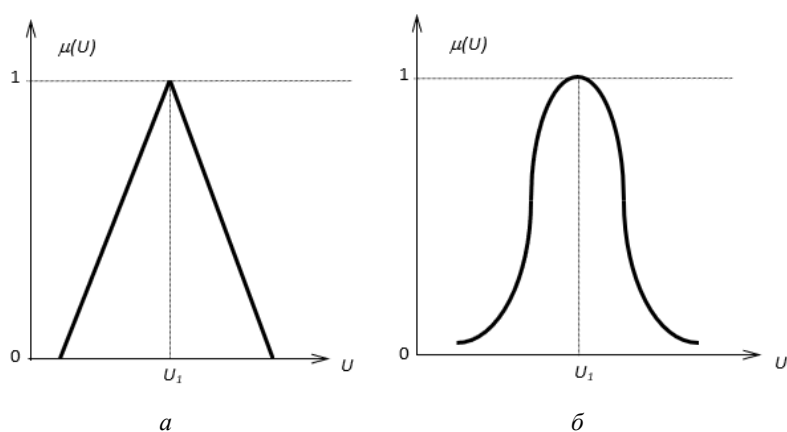


Рис. 1. Исследованные функции принадлежности для термов лингвистических переменных в форме:
а – треугольных нечетких чисел; б – $(L-R)$ -функций

Fig. 1. Investigated membership functions for terms of linguistic variables in the form of:
а – triangular fuzzy numbers; б – $(L-R)$ -functions

На основе описаний шкал уровней вероятности снижения и уровней величины потенциального ущерба от снижения качества контента для ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав материалов ЭК, показанных в табл. 1 и 2, аналитически определяются функции принадлежности нечетких множеств $\mu(u)$, задающих термы-значения лингвисти-

ческих переменных L_1 и L_2 . Для такого синтеза $\mu(u)$ применена стандартизированная математическая подмодель расчета функций принадлежности на базе данных экспертных оценок. Эта подмодель позволяет рассчитывать функции принадлежности μ_T^L термов переменных L_1 и L_2 как в форме $(L-R)$ -функций, так и в форме треугольных нечетких чисел (ТНЧ).

Разработанная модель итеративной оценки рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН инвариантна в применении к конкретизированной подмодели, методике, аппарату и пр. расчета функций принадлежности μ_T^L терм-значений лингвистических переменных L_1 и L_2 . Применение μ_T^L с ТНЧ-формой характерно для ситуаций грубой, ускоренной оценки рисков, при более детальном и обоснованном анализе рисков снижения качества контента ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав материалов ЭК, в силу реализации «более осторожного» подхода к оцениванию рисков, следует применять μ_T^L в форме $(L-R)$ -функций.

Расчет μ_T^L в форме $(L-R)$ -функций, согласно принятой подмодели расчета, определяется для каждой терма-градации лингвистических переменных L_1 и L_2 , из соотношения

$$\mu_T^L(U) = \exp(-a(T - U)^2), \quad (5)$$

где T – срединное значение терма для μ_T^L равной единице, применительно к шкалам переменных L_1 и L_2 , показанным в табл. 1 и 2; $a = 4Ln \frac{0,5}{b^{\wedge 2}}$ – согласующий коэффициент; $b^{\wedge}$ – расстояние между точками перегиба: точками, в которых график функции μ_T^L , согласно (5), принимает значение 0,5.

Основные параметры расчета терм-градаций лингвистических переменных L_1 и L_2 , согласно (5), приведены в табл. 4.

Итоги расчета функций принадлежности μ_T^L всех термов для всех уровней шкал лингвистических переменных L_1 и L_2 , (1) и (2), по формуле (5) дает возможность получить количественные шкалы оценки этих лингвистических переменных L_1 и L_2 . Эти количественные шкалы дают возможность осуществить переход от вербальных оценок экспертов к нечетким числовым их значениям с μ_T^L .

Функции принадлежности терм-градаций (значений) лингвистических переменных L_1 и L_2 в форме $(L-R)$ -функций соответствовать следующим условиям:

$$\begin{aligned} & \left[\mu_{T1}^L(U_1) = 1; \quad \mu_{T5}^L(U_5) = 5 \right]; \\ & (\forall \beta^{\wedge} \in B^{\wedge} \setminus \{\beta^{\wedge}\}) (0 < \sup u \in U \mu_{T_i \cap T_{i+1}}^L(U) < 1); \\ & (\forall \beta^{\wedge} \in B^{\wedge}) (u \in U) : (\mu_T^L(U) = 1); \\ & (\forall B^{\wedge}) (u_1 \in R_1) (u_2 \in R_2) ((u \in U)(u_1 < u < u_2)). \end{aligned}$$

Таблица 4

Основные параметры расчета терм-градаций лингвистических переменных L_1 и L_2

№ п/п	Термы для L_1	Значение при $\mu_T^{L1} = 1$	Термы для L_2	Значение при $\mu_T^{L2} = 1$	Уточненный вид аналитического расчета функции принадлежности термов
1	Отсутствие вероятности	0	Отсутствие ущерба	0	$\mu_T^L(U) = 1 - 2U$
2	Крайне редко	1	Сверхмалый	1	$\mu_T^L(U) = e^{-13,1(1-U)^2}$
3	Маловероятно	3	Видимый	3	$\mu_T^L(U) = e^{-1,46(1-U)^2}$

№ п/п	Термы для L_1	Значение при $\mu_T^{L1} = 1$	Термы для L_2	Значение при $\mu_T^{L2} = 1$	Уточненный вид аналитического расчета функции принадлежности термов
4	Ожидаемо	5	Средний	5	$\mu_T^L(U) = e^{-0,35(1-U)^2}$
5	Очень вероятно	7	Сильный	7	$\mu_T^L(U) = e^{-0,27(1-U)^2}$
6	Непрерывно	9	Очень сильный	9	$\mu_T^L(U) = e^{-0,16(1-U)^2}$

Таким образом, совокупность функций принадлежности нечетких чисел – термов (значений) лингвистической переменных L_1 и L_2 формируют в своей совокупности количественную шкалу проведения нечеткого оценивания соответствующих им составляющих простейших рисков снижения качества контента ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав материалов ЭК.

Обобщенный вид графического представления такой шкалы для простейшего риск-показателя дан на примере лингвистической переменной L_1 и представлен на рис. 2.

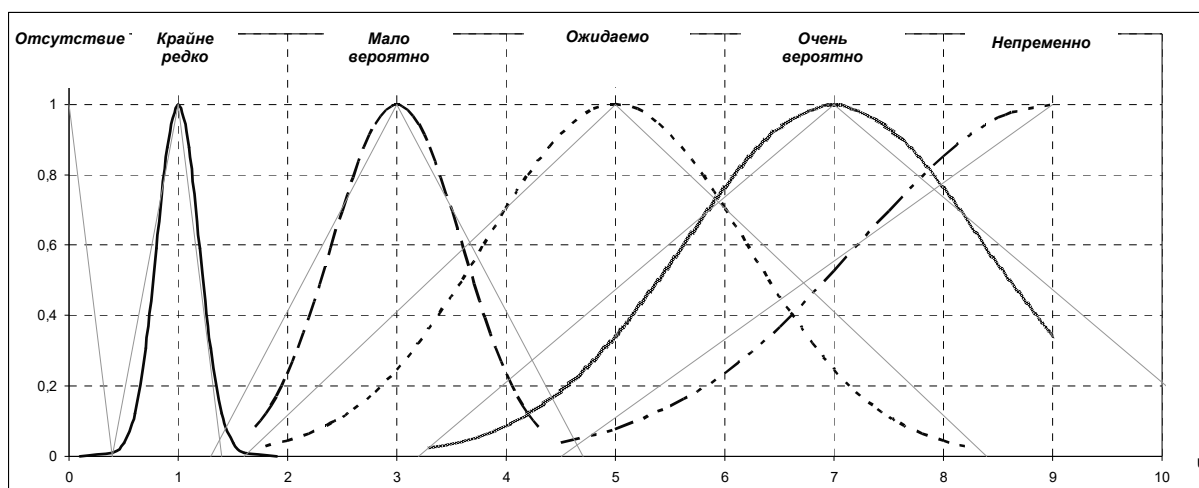


Рис. 2. Представление шкалы уровней вероятности снижения качества ИО из-за интеграции в их состав ЭК (табл. 1) в виде терм-множества значений лингвистической переменной L_1

Fig. 2. Representation of the probability level scale for the decrease in information provision quality due to the integration of electronic content (Table 1) in the form of a term set of values for the linguistic variable L_1

Далее возможна интерпретация значения шкал простейших риск-показателей в иерархии оценки рисков снижения качества контента ИО систем подготовки операторов АПП из-за интеграции в их состав материалов ЭК как произведение функций принадлежности μ_T^L нечетких чисел – терм-значений лингвистических переменных L_1 и L_2 для каждого из простейших риск-показателей.

Методически, согласно классическим канонам риск-менеджмента, оценка риска есть синтез матрицы последствий и вероятностей, в которой увязываются входные параметры, такие как значения оценки вероятностей неблагоприятных событий и значения оценки потенциального ущерба (на входе) с интегральным заключением об уровне риска-опасности (на выходе). Ответное реагирование на значение риска в виде корректирующих, воздействующих комплексов мероприятий и есть существо управления рисками. Таким образом, блок оценки простейших рисков на базе мягких вычислений разработанной модели риск-оценки, по сути, представляет собой процедуру специфического построения матриц последствий и вероятностей для отдель-

ных риск-показателей оценки интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН. Данная процедура есть логическая основа для расчета сводных и интегрального значений риск-показателей оценки.

Соответственно для модели итеративной оценки рисков интеграции ЭК в информационное обеспечение систем подготовки операторов ИИС АН блок оценки простейших рисков на базе мягких вычислений разработанной модели риск-оценки сворачивается в логико-математический аппарат обеспечения расчета значений риск-оценки по показателям в соответствии со структурой иерархии оценки рисков при сохранении сути логики синтеза соответствующих матриц последствий и вероятностей. Указанная логика заключается в традиционно-принятом градуировании уровней риска (опасности ущерба) с соответствующим дифференциально-цветовым представлением. Пример этого градуирования уровней риска с соответствующим дифференциально-цветовым представлением для целей итеративной оценки рисков интеграции ЭК в информационное обеспечение систем подготовки операторов ИИС АН, взятых за основу в разработанной модели и показанных в табл. 3, приведен на рис.3.

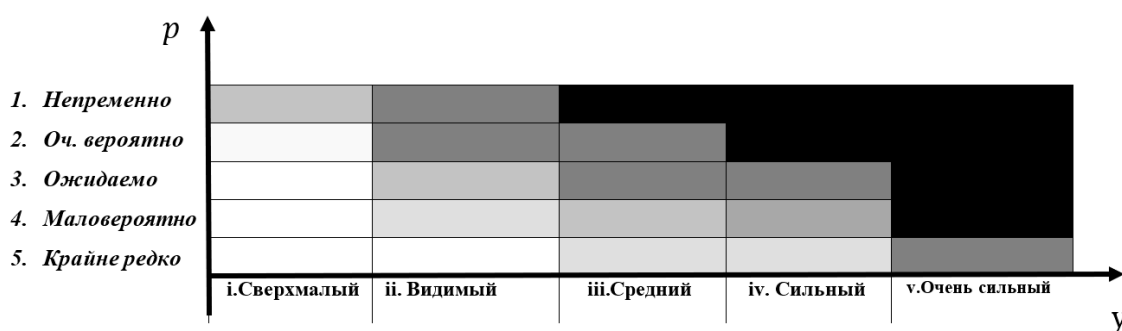


Рис. 3. Вариант матрицы последствий и вероятностей оценки рисков по одному из простейших показателей

Fig. 3. A variant of the matrix of consequences and probabilities of risk assessment based on one of the simple indicators

Представленная интерпретация значения шкал простейших риск-показателей в иерархии оценки рисков снижения качества контента ИО систем подготовки операторов ИИС АН из-за интеграции в их состав материалов ЭК как произведение функций принадлежности μ_T^L нечетких чисел – терм-значений лингвистических переменных L_1 и L_2 дает возможность рассматривать каждую из ячеек матрицы последствий и вероятностей оценки рисков по простейшему показателю как нечеткое число L_{ij}^* :

$$L_{ij}^* = \langle \text{значение оценки по данному риск-показателю} \rangle$$

где, применительно к простейшим риск-показателям, верно, что указанное значение L_{ij}^* есть произведение нечетких чисел i -го терма от L_1 и j -го терма от L_2 :

$$L_{ij}^* = L_1^i \times L_2^j.$$

Функции принадлежности $\mu_T^{L_{ij}^*}$ для значений L_{ij}^* находятся согласно правилам операций умножения нечетких чисел из алгебры мягких вычислений [15].

Заключение

Визуальному виду матрицы последствий и вероятностей оценки рисков по одному из простейших показателей, в которой работает эксперт – оценщик рисков, может быть сопоставлено нечетко-числовое представление, которое выражает его оценивающее мнение количественно в категориях нечетких чисел. Это дает возможность применять такие нечеткие числовые выра-

жения оценок по простейшим показателям в ходе свертки этих оценок в сводные и интегральный риск-показатели оценки интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН, на базе алгебры мягких вычислений. При этом матрица последствий и вероятностей оценки рисков по одному, любому из простейших показателей является шкалой риск-оценки интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов по этому показателю. Тогда оценивание его текущего значения экспертом-оценщиком заключается в обоснованном выявлении соответствующей ячейки выше указанной матрицы последствий и вероятностей, а также и нечеткого значения риск-оценки, соответствующей этой ячейке. Суть указанного процесса риск-оценки показана на рис. 4. Следовательно, на основании (1) и (2) сами шкалы оценивания риска по простейшим показателям и оценки на базе этих шкал сводимы к одномерным нечетким шкалам и значениям оценок на них, как значение L_{ij}^* .

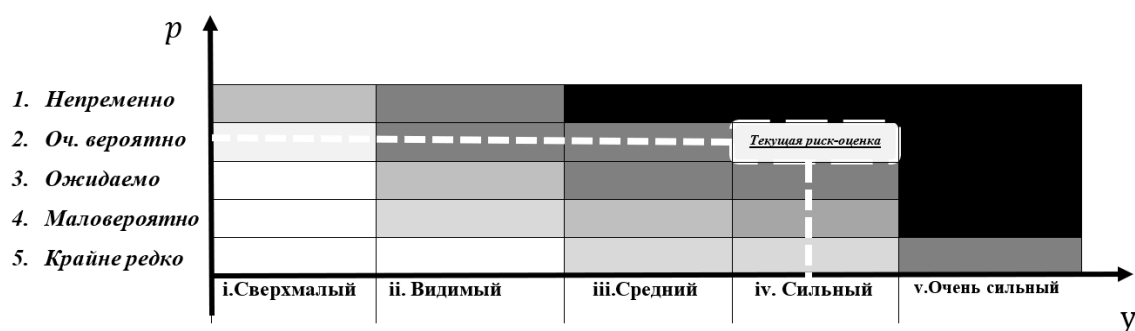


Рис. 4. Сущность оценивания риска по простейшему показателю

Fig. 4. The essence of risk assessment based on the simple indicator

Конструктивной новацией разработанной модели итеративной оценки рисков интеграции ЭК в информационное обеспечение систем подготовки операторов ИИС АН является совмещение традиционного качественно-категорийного подхода современного риск-менеджмента с многоуровневой репрезентацией иерархии агрегирования экспертно-оцениваемых рисков в составе сводных и интегрального рисков рассматриваемой интеграции путем применения аппарата мягких вычислений. Это подход позволил реализовать переход от качественно-понятийного представления риска рассматриваемой интеграции к количественному.

Таким образом, предложенный блок оценки простейших (непосредственно измеряемых или оцениваемых) рисков в модели итеративной оценки рисков интеграции ЭК в информационное обеспечение систем подготовки операторов ИИС АН и подход к установлению значения текущего риска по данному простейшему показателю дает возможность применять такие значения в расчетах значений сводных и интегрального риск-показателей.

Библиографические ссылки

1. Семенов В. П., Соколов Р. В., Андреевский И. Л. Мягкая оценка эффективности разработки интеллектуальных информационных систем // Материалы XXVII Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2024). 2024. С 483–485.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 – 2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. М. : Стандартинформ, 2020. 26 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. М. : Стандартинформ, 2012. 70 с.
4. ГОСТ Р 51 901.2 – 2005. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности. М. : Стандартинформ, 2005. 74 с.
5. Разумников С. В. Нечеткая модель оценки рисков внедрения облачных технологий при формировании системы безопасности // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10, ч. 2. С. 290–295.

6. Зубкова Т. М., Ишакова Е. Н. Автоматизация управления рисками программных проектов на основе нечеткого логического вывода // Науч.-технич. вестник информ. технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-upravleniya-riskami-programmnyh-proektov-na-osnove-nechetkogo-logicheskogo-vyvoda> (дата обращения: 15.02.2025).
7. Технология оценки рисков на этапах жизненного цикла продукции с использованием нечеткой логики. Российский технологический журнал / А. Н. Чесалин, С. Я. Гродзенский, Ты Фам Ван и др. 2020. № 8(6). С. 167–183.
8. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Л. : Наука, 1982. 222 с.
9. ДеМарко Т., Листер Т. Вальсируя с медведями. Управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения. М. : Издат. дом DH, 2005. 196 с.
10. ДеМарко Т. Deadline. Роман об управлении проектами. М. : Манн-Иванов-Фербер, 2016. 352 с.
11. Тихонов А. Г., Субботина Т. Н. Управление рисками при разработке программного обеспечения // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 5–3 (87). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-riskami-pri-razrabotke-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения: 10.01.2025).
12. Купиллари А. Мир математики. Трудности доказательств. М. : Техносфера, 2002. 303 с.
13. Окстоби Дж. Мера и категория. М. : Мир, 1974. 158 с.
14. Ноден П., Китте К. Алгебраическая алгоритмика. М. : Мир, 1999. 719 с.
15. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д. А. Поспелова. М. : Наука, 1986. 396 с.

References

1. Semenov V. P., Sokolov R. V., Andreevskiy I. L. [A soft assessment of the effectiveness of the development of intelligent information systems]. *Materialy XXVII Mezhdunarodnoy konferentsii po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM'2024)* [Proceedings of the XXVII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2024)], St. Petersburg, 2024, P. 483–485 (In Russ.).
2. *GOST R ISO/MEK 31000 – 2019. Menedzhment riska. Printsipy i rukovodstvo* [Risk management. Principles and guidelines]. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 26 p.
3. *GOST R ISO/MEK 31010 – 2011. Menedzhment riska. Metody otsenki riska* [Risk management. Risk assessment methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 70 p.
4. *GOST R 51 901.2 – 2005. Menedzhment riska. Sistemy menedzhmenta nadezhnosti* [Risk management. Reliability management systems]. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 74 p.
5. Razumnikov S. V. [A fuzzy model for assessing the risks of implementing cloud technologies in the formation of a security system]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2019, No. 10, P. 290–295 (In Russ.).
6. Zubkova T. M., Ishakova E. N. [Automation of risk management of software projects based on fuzzy logical inference]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki*. 2015, Vol. 15, No. 5. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-upravleniya-riskami-programmnyh-proektov-na-osnove-nechetkogo-logicheskogo-vyvoda> (accessed: 15.02.2025).
7. Chesalin A. N., Grodzenskiy S. Ya., Fam Van Ty, Nilov M. Yu., Agafonov A. N. [The technology of risk assessment at the stages of the product lifecycle using fuzzy logic]. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal*. 2020, No. 8(6), P. 167–183 (In Russ.).
8. Gubinskiy A. I. *Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem* [Reliability and quality of ergatic systems functioning]. Leningrad, Nauka Publ., 1982, 222 p.
9. DeMarko T., Lister T. *Val'siruya s medvedyami. Upravlenie riskami v proektakh po razrabotke programmnoy obespecheniya* [Waltzing with the bears. Risk management in software development projects]. Moscow, Izdatel'skiy dom DH Publ., 2005, 196 p.

10. DeMarko T. *Deadline. Roman ob upravlenii proektami* [Deadline. A novel about project management]. Moscow, Mann-Ivanov-Ferber Publ., 2016, 352 p.
11. Tikhonov A. G., Subbotina T. N. [Risk management in software development]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. 2022, No. 5-3 (87) (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-riskami-pri-razrabotke-programmnogo-obespecheniya> (accessed: 10.01.2025).
12. Kupillari A. *Mir matematiki. Trudnosti dokazatel'stv* [The world of mathematics. Difficulties of proof]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2002, 303 p.
13. Okstobi Dzh. *Mera i kategoriya* [Measure and category]. Moscow, Mir Publ., 1974, 158 p.
14. Noden P., Kitte K. *Algebraicheskaya algoritmika* [Algebraic algorithmics]. Moscow : Mir, 1999. 719 p.
15. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. Ed. Pospelova D. A. Moscow, Mir Publ., 1986, 396 p.

© Русина А. А., 2025

Русина Алена Андреевна – старший преподаватель кафедры двигателей и энергоустановок летательных аппаратов, начальник центра образовательных инициатив; Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова. E-mail: rusina_aa@voenmeh.ru. <https://orcid.org/0009-0004-8070-4995>.

Rusina Alena Andreevna – senior lecturer of the department Engines and power plants of aircraft, head of the Center for Educational Initiatives; Baltic state technical university «VOENMEKH» named after D. F. Ustinov. E-mail: rusina_aa@voenmeh.ru. <https://orcid.org/0009-0004-8070-4995>.

Статья поступила в редакцию 19.03.2025; принята к публикации 30.04.2025; опубликована 30.06.2025
The article was submitted 19.03.2025; accepted for publication 30.04.2025; published 30.06.2025

Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0
The article can be used under the Creative Commons Attribution 4.0 License