

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИТЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТЕНТА В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

В. М. Балашов<sup>1✉</sup>, Е. Г. Семенова<sup>2</sup>, А. А. Русина<sup>3</sup>

*АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс» (1),*

*balashov\_vm@radar-mms.com, Санкт-Петербург, Россия;*

*кафедры: «Информационные системы и программная инженерия» (2);*

*«Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (3),*

*ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет*

*«ВОЕНМЕХ им. Д. Ф. Устинова», Санкт-Петербург, Россия*

**Ключевые слова:** итеративная оценка; модель итеративной оценки; оценка рисков; риск-показатель; электронный контент.

**Аннотация:** Рассмотрены структура и принцип функционирования модели оценки рисков интеграции электронного контента в информационно-измерительные системы. Выделены логические блоки модели, реализующие процедуры итеративной оценки. Приведено описание входных и выходных данных модели оценки рисков. Представлен алгоритм, разработанный для определения важности риск-показателей. Алгоритм базируется на составлении матрицы попарных сравнений весов сводных риск-показателей и оценке глобального коэффициента доминантности. Приведена иерархическая структура риск-показателей в трех различных формах логико-математического представления, использование которой позволяет получить численные значения важности простейших рисков, а также провести линейную свертку значений оценок простейших рисков.

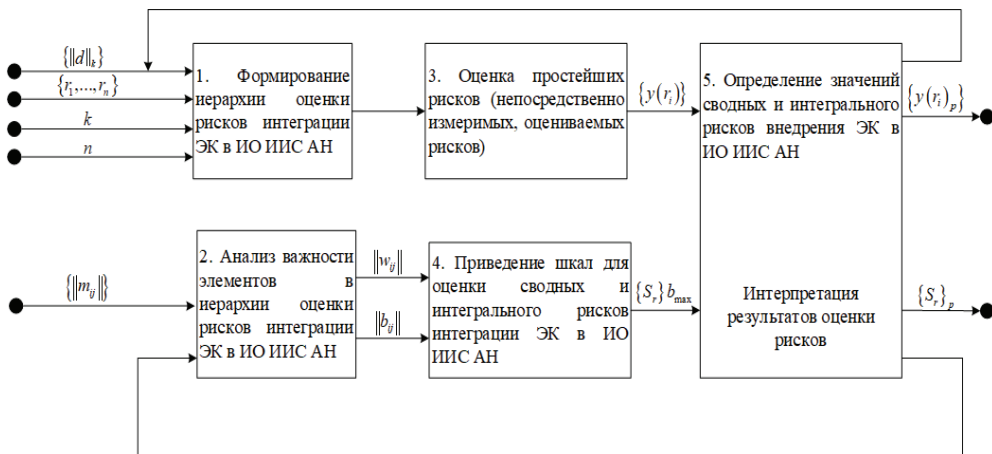
---

### Введение

Модель итеративной оценки рисков интеграции электронного контента (ЭК) в информационно-измерительные системы (ИИС) представима как математико-алгоритмический и логический процесс преобразования входной информации в выходную, структура которого показана на рис. 1.

Структурно модель включает в себя пять функционально выделенных логических блоков, реализующих соответствующие процедуры итеративной оценки:

- 1) формирование иерархической системы оценки рисков интеграции ЭК в информационное обеспечение (ИО) систем подготовки операторов ИИС;
- 2) анализ важности элементов в иерархической системе оценки рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС;
- 3) оценка простейших (непосредственно измеряемых или оцениваемых) рисков;
- 4) приведение шкал для оценки сводных и интегрального рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС;
- 5) определение сводных и интегрального рисков внедрения ЭК в ИО операторов ИИС. Интерпретация результатов оценки рисков.



**Рис. 1. Модель итеративной оценки рисков интеграции электронного контента в информационное обеспечение ИИС**

### Описание входных и выходных данных модели оценки рисков

Входные данные для модели:

$\{ ||d||_k \}$  – совокупность матриц  $||d||$  индивидуальных мнений каждого из  $k$  экспертов о доминантном агрегировании более простых риск-показателей в композиционно более сложные показатели риска;

$\{ r_1, \dots, r_n \}$  – множество анализируемых рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС;

$k$  – общее число привлеченных экспертов к первоначальному синтезу иерархической системы агрегирования простых риск-показателей в более сложные [1, 2];

$n$  – общее число рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС, учитываемое при их итеративной оценке;

$\{ ||m_{ij}||_i \}$  – множество матриц доминантного агрегирования простых риск-показателей в сложные показатели риска (определение важности в каждом акте агрегирования), определяемых для каждого из узлов иерархической системы оценки рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС.

Промежуточные данные, передаваемые между логическими моделями:

$||z_{ij}||$  – матрица доминирования, описывающая структуру иерархической системы доминантного агрегирования риск-показателей;

$||w_{ij}||$  – числовой вектор коэффициентов важности в каждом акте агрегирования простых риск-показателей в более сложные, согласованный с матрицей  $||z_{ij}||$ ;

$||b_{ij}||$  – числовой вектор глобальных коэффициентов доминантности при агрегировании простых показателей рисков в составе интегрального значения риска;

$\{ y(r_i) \}$  – семейство значений простейших и сводных показателей рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС;

$\{ S_r \}_{b_{\max}}$  – множество линий агрегирования в иерархической системе рисков интеграции ЭК в ИО подготовки операторов ИИС  $\{ r_{ij} \}$  с максимальными значе-

ниями глобальных коэффициентов доминантности при агрегировании простых показателей рисков в составе интегрального значения риска.

Выходные данные модели оценки рисков:

$\{y(r_i)_p\}$  – подмножество семейства  $\{y(r_i)\}$ , включающее оценки рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС  $\{r_i\}$  с текущими высокими значениями;

$\{S_r\}_p$  – множество линий агрегирования в иерархической системе рисков интеграции.

Конструктивом предлагаемой модели итеративной оценки является ее ориентированность на многократно повторяющийся характер разработки ИО для систем подготовки операторов ИИС.

Предложенная модель является инструментарием оперативного анализа причин высокого уровня интегрального риска и выявления текущих аномалий разрабатываемого программно-информационного обеспечения ИИС.

Иерархическую систему показателей для оценки рисков интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС представим как древовидно-сетевую структуру вложенности показателей оценки рисков  $\tilde{D}$ , в которой определяется понятие риска снижения качества ИО систем подготовки операторов ИИС  $x_i$ .

Совокупность показателей риск-оценки  $X$  состоит из группы показателей  $\{\tilde{x}_i\}$ , формируемых из сводных показателей риска, и совокупности простейших риск-показателей.

Начальная совокупность показателей риск-оценки снижения качества ИО систем подготовки операторов ИИС за счет интеграции в их структуру ЭК  $\{x_i\}$  в предлагаемой модели формируется путем синтеза на базе имеющихся данных стратифицированной древовидной иерархии целей и задач.

В составе стратифицированной древовидной иерархии показателей риск-оценки значимость частных показателей  $r_i$  для расчета значения интегрального риск-показателя  $R_0$  будет разной. Для численного представления показателей  $r_i$  используем коэффициенты доминантного агрегирования.

Коэффициенты доминантного агрегирования определяются в двух видах:

–  $W_{m,n}$  – локальные коэффициенты доминантности:

$$\sum_m W_{m,n} = 1; \quad (1)$$

–  $b_m^*$  – глобальные коэффициенты доминантности при агрегации интегрального риска.

### Описание алгоритма оценки важности риск-показателей

В рассматриваемой иерархии оценки риска обосновано использование процедуры расчета собственного взвешенного вектора матрицы попарных сравнений показателей в каждом узле агрегирования [1, 2].

Для определения важности риск-показателей разработан алгоритм.

I. Для любого сводного риск-показателя выявляется матрица  $V$  попарных сравнений веса в агрегации сводного риск-показателя

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & \dots & v_{ij} & \dots \\ v_{n1} & \dots & \dots & v_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $V_{ij}$  – экспертная оценка попарной важности включения  $i$ -го риск-показателя перед  $j$ -м. Диагональная матрица  $\|V\|$  имеет размерность  $n \times n$  (где  $n$  – число риск-показателей).

II. Оценка значимости простых риск-показателей включает вычисление численного вектора  $W$  матрицы  $V$

$$VW = DW, \quad (3)$$

где  $D$  – есть собственное число матрицы  $V$ ;  $W = \langle w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \rangle$  – локальные коэффициенты доминантного агрегирования.

Для оценки вектора  $W'$  как вектора весов  $W$  сводных риск-показателей справедливо [3]

$$w'_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n v_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left( \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n v_{ij}} \right)}. \quad (4)$$

Основные процедуры определения индексов локальных коэффициентов доминантности при агрегировании более простых риск-показателей в композиционно более сложные показатели риска показаны на рис. 2.

В случае идеального согласования матрицы попарных сравнений

$$D_{\max} = n. \quad (5)$$

Упомянутые пределы вводятся при расчете индекса согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС) вводятся пределы [3]:

$$D_{\max} \approx \sum_{j=1}^n \left( \left( \sum_{i=1}^n v_{ij} \right) w_i \right); \quad (6)$$

$$\text{ИС} = (D_{\max} - n) / (n - 1). \quad (7)$$

При этом

$$D_{\max} \geq n; \quad (8)$$

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\bar{\eta}} 100 \%, \quad (9)$$

где  $\bar{\eta}$  – случайная согласованность для матрицы  $\|V_{ij}\|$ . Если ОС превышает 10–20 %, то следует провести новый акт согласование попарных сравнений в матрице  $\|V\|$  посредством нового экспертного опроса.

III. Семейство локальных коэффициентов доминантности реализует расчет глобальных коэффициентов при агрегировании  $b_i$  для любого риск-показателя. Глобальный коэффициент доминантности при агрегировании  $b_i$  – это произведение локальных коэффициентов

$$b_i = \prod_{t=1}^T w_{i_t}, \quad (10)$$

где  $T$  – число уровней иерархии между  $i$ -м и интегральным риск-показателями снижения качества ИО.

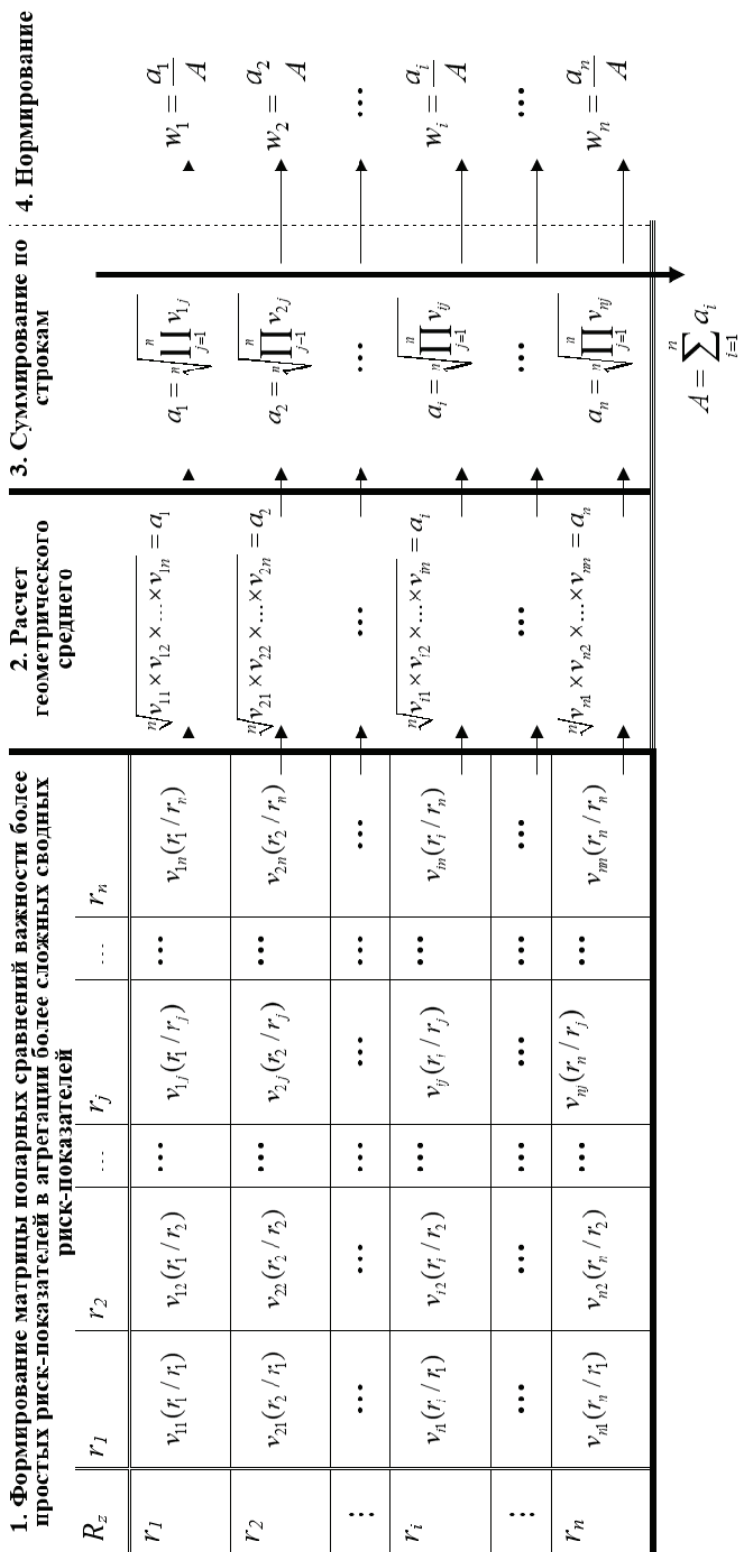


Рис. 2. Основные этапы и вычислительные процедуры расчетной схемы определения локальных коэффициентов доминантности при агрегировании простых риск-показателей в сложные

IV. При числе риск-показателей  $n > 3$  совокупность коэффициентов доминантности преобразуется в соответствующую совокупность глобальных приведенных коэффициентов  $b_i^*$ . Приведенный глобальный коэффициент доминантности  $b_i^*$  рассчитывается посредством умножения значения  $b_i$  каждого риск-показателя на число более простых риск-показателей ( $n_i''/p$ ) с нижестоящего уровня стратифицированной древовидной иерархии показателей:

$$b_i'' = \frac{b_i \times n_i^*}{p}; \quad (11)$$

$$b_{iH}^* = \frac{b_i^*}{\sum_i b_i''}. \quad (12)$$

V. В рамках предложенной модели для ОС справедливо

$$OC \leq 10-20 \%. \quad (13)$$

Выделяются риск-показатели, для которых

$$b_i'' \leq |w_i - w_i'|. \quad (14)$$

Таковыми показателями в древовидной иерархии показателей риск-оценки можно пренебречь.

Для идеального согласования мнений экспертов в исходной матрице (2) попарных сравнений риск-показателей необходимо считать верным следующее выражение:

$$(V - nE)W = 0. \quad (15)$$

С учетом этого обстоятельства риск-показатели с важностью ниже критического значения удаляются, а далее осуществляется повторная нормализация глобальных коэффициентов доминантности  $b_i''$ .

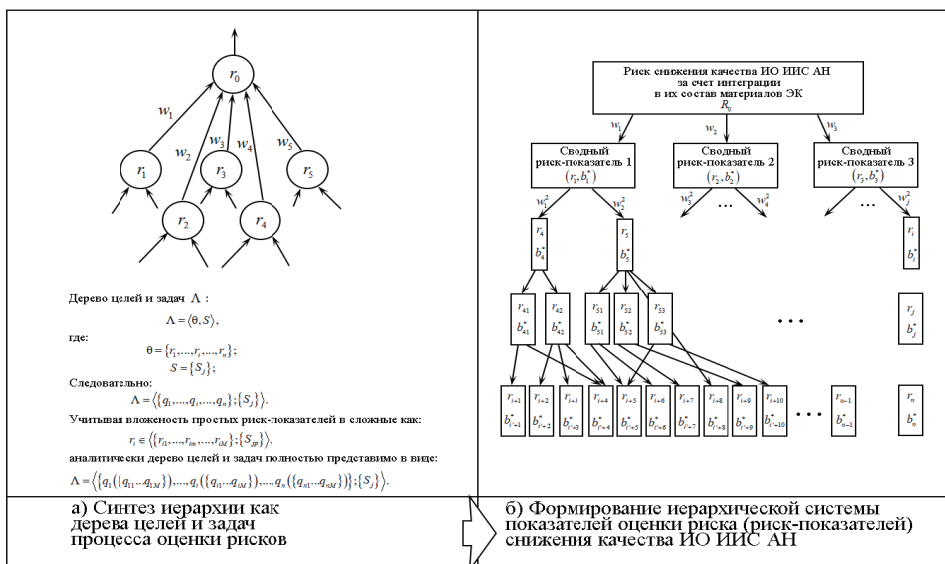


Рис. 3. Древовидная модель оценки риск-показателей в различных формах ее логико-математического представления

Иерархия показателей риск-оценки интеграции ЭК в ИО систем подготовки операторов ИИС АН в двух формах логико-математического представления дана на рис. 3.

### Заключение

На базе результатов формирования и анализа важности иерархической системы показателей оценки рисков использования данных электронного контента в информационном обеспечении систем подготовки операторов ИИС становится осуществимым получение численных значений важности простейших рисков, а также проведение линейной свертки значений оценок простейших рисков, как и значений более простых риск-показателей в композиционно более сложные показатели.

#### Список литературы

1. Дюваль, П. М. Непрерывная интеграция. Улучшение качества программного обеспечения и снижение риска / П. М. Дюваль, С. Матиас, Э. Гловер. – СПб. : Символ, 2016. – 240с.
2. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ / Г. Буч. – 3-е изд. – М. : Изд-во BHV, 2008. – 628 с.
3. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем : пер. с англ. / Т. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.

---

## Development of an Iterative Risk Assessment Model for Integration of Electronic Content into Information and Measurement Systems

V. M. Balashov<sup>1</sup>✉, E. G. Semenova<sup>2</sup>, A. A. Rusina<sup>3</sup>

*“Radar mms” Scientific and Production Enterprise” JSC (1),  
balashov\_vm@radar-mms.com, St. Petersburg, Russia;  
Departments: Information Systems and Software Engineering (2);  
Engines and Power Plants of Aircraft (3); Baltic State Technical University  
“VOENMEH” named after D. F. Ustinov, St. Petersburg, Russia*

**Keywords:** iterative assessment; iterative assessment model; risk assessment; risk indicator; electronic content.

**Abstract:** The article examines the structure and operating principles of a risk assessment model for integrating electronic content into information and measurement systems. The model's logical blocks implementing iterative assessment procedures are identified. The input and output data of the risk assessment model are described. An algorithm for determining the importance of risk indicators is presented. The algorithm is based on compiling a matrix of pairwise comparisons of the weights of summary risk indicators and assessing the global dominance coefficient. The hierarchical structure of risk indicators is presented in two different forms of logical and mathematical representation. The use of this structure makes it possible to obtain numerical values for the importance of simple risks, as well as to perform a linear convolution of the assessment values of simple risks.

#### References

1. Dyuvall' P.M., Matias S., Glover E. *Nepreryvnaya integratsiya. Uluchsheniye kachestva programmogo obespecheniya i snizheniye riska* [Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk], St. Petersburg: Simvol, 2016, 240 p. (In Russ.)

2. Buch G. *Ob'yektno-oriyentirovannyi analiz i proyektirovaniye s primerami prilozheniy na C++* [Object-Oriented Analysis and Designing with Examples of Annexes by C++], Moscow: Izdatel'stvo BHV, 2008, 628 p. (In Russ.)

3. Saati T., Kerns K. *Analiticheskoye planirovaniye. Organizatsiya system* [Analytic planning. Systems Organization], Moscow: Radio i svyaz', 1991, 224 p. (In Russ.)

---

### **Entwicklung eines Modells für die iterative Risikobewertung der Integration von elektronischen Inhalten in Informationssysteme**

**Zusammenfassung:** Der Artikel untersucht die Struktur und Funktionsweise eines Risikobewertungsmodells zur Integration elektronischer Inhalte in Informations- und Messsysteme. Die logischen Blöcke des Modells, die iterative Bewertungsverfahren implementieren, sind identifiziert. Die Eingabe- und Ausgabedaten des Risikobewertungsmodells sind beschrieben. Es ist ein Algorithmus zur Bestimmung der Bedeutung von Risikoindikatoren vorgestellt. Der Algorithmus basiert auf der Erstellung einer Matrix aus paarweisen Vergleichen der Gewichtungen summarischer Risikoindikatoren und der Ermittlung des globalen Dominanzkoeffizienten. Die hierarchische Struktur der Risikoindikatoren ist in zwei verschiedenen Formen der logischen und mathematischen Darstellung präsentiert. Die Verwendung dieser Struktur ermöglicht es, numerische Werte für die Bedeutung einfacher Risiken zu erhalten sowie eine lineare Faltung der Bewertungswerte einfacher Risiken durchzuführen.

---

### **Miseau point d'un modèle d'évaluation itérative des risques liés à l'intégration du contenu électronique dans les systèmes d'information et de mesure**

**Résumé:** Sont examinés la structure et le principe du fonctionnement du modèle d'évaluation des risques pour l'intégration du contenu électronique dans les systèmes d'information et de mesure. Sont mis en évidence les blocs logiques du modèle qui implémentent des procédures d'évaluation itérative. Sont décrit les entrées et les sorties du modèle d'évaluation des risques. Est présenté un algorithme conçu pour déterminer l'importance des indicateurs de risque. L'algorithme repose sur une matrice de comparaisons par paires des pondérations des risques consolidés et sur une estimation du coefficient de dominance globale. La structure hiérarchique des indicateurs de risque est présentée sous deux formes différentes de la représentation logique et mathématique qui permet d'obtenir des valeurs numériques de l'importance des risques les plus simples et d'effectuer une convolution linéaire des valeurs des estimations des risques les plus simples.

---

**Авторы:** *Балашов Виктор Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального конструктора по программно-целевому развитию, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия; *Семенова Елена Георгиевна* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и программная инженерия»; *Русина Алена Андреевна* – старший преподаватель кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ им. Д. Ф. Устинова», Санкт-Петербург, Россия.