

# РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОФАКТОРНЫМИ РИСКАМИ

**А. О. Алексеев, К. Р. Сальников**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия*  
E-mail: alekseev@cems.pstu.ru, kirill.salnokov2010@yandex.ru

В результате идентификации рисков формируемый реестр, как правило, представлен набором различных рисков, каждый из которых соответствует определённым событиям или условиям, которые в настоящей работе называются факторами риска. Задача управления многофакторными рисками формулируется при допущениях, что уровень риска определяется путём матричной свёртки рискообразующих параметров: вероятность (возможность) наступления рискованных событий и тяжесть их последствий, а затраты на управление рискообразующими параметрами описываются полиномом второго порядка. Для каждого фактора риска задача оптимального управления рисками решается как минимизация общих затрат на управление рискообразующими параметрами при условии, что их сочетание обеспечивает заданный уровень риска. Для поиска оптимальных траекторий управления рисками для каждого фактора отдельно применяется численный метод, основанный на выборе наиболее эффективного направления. Эффективность направлений определяется как отношение изменения риска к изменению затрат. Для апробации предложенного метода управления многофакторными рисками на базе электронных таблиц Microsoft Excel создан прототип информационной системы, которая в текущей версии поддерживает управление четырьмя факторами риска, введение любой монотонной матрицы риска размерностью  $4 \times 4$ , представляющей собой набор категорических высказываний лица, принимающего решения относительно значимости для него сочетаний рискообразующих параметров (эти ограничения планируется снять при разработке промышленного образца). Прототип строит трёхмерную карту риска путём интерполяции введённой пользователем матрицы риска с помощью аддитивно-мультипликативной процедуры комплексного оценивания, а также оптимальные траектории управления рисками для всех введённых факторов риска.

## DEVELOPMENT OF THE OPTIMAL MULTIFACTOR RISKS MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM PROTOTYPE

**A. O. Alekseev, K. R. Salnikov**

As a result of risk identification, the generated register, as a rule, is represented by a set of different risks, each of which corresponds to certain events or conditions, which in this work are called risk factors. The task of managing multifactor risks is formulated under the assumptions that the level of risk is determined by a matrix convolution of risk-forming parameters: the probability (possibility) of the occurrence of risk events and the severity of their consequences, and the costs of managing risk-forming parameters are described by a second-order polynomial. For each risk factor, the problem of optimal risk management is solved as minimization of the total costs of managing risk-forming parameters, provided that their combination provides a given level of risk. To find the optimal trajectories of risk management for each factor, a numerical method based on the choice of the most effective direction is used separately. The effectiveness of directions is defined as the ratio of risk change to cost change. To test the proposed method of multifactorial risk management

based on Microsoft Excel spreadsheets, a prototype of an information system was created that, in the current version, supports the management of four risk factors, the introduction of any monotonic risk matrix with a dimension of  $4 \times 4$ , which is a set of categorical statements of a decision maker regarding the significance for combinations of risk-forming parameters (these restrictions are planned to be removed when developing an industrial design). The prototype builds a three-dimensional risk map by interpolating a user-entered risk matrix using an additive-multiplicative complex assessment procedure, as well as optimal risk management trajectories for all introduced risk factors.

В настоящей работе исследуется задача управления многофакторными рисками [1]. Определённые события или условия, которые могут привести к негативным последствиям в настоящей работе будем называть *факторами* риска. Для отличия понятий вероятность (возможность) наступления рисков событий и их последствия, которые иногда [2] также называют факторами риска наряду с рисковом событием, первые будем называть *рискообразующими параметрами*.

Будем считать, что различные сочетания рискообразующих параметров имеют отличающиеся оценки значимости риска для лица, принимающего решения (далее – ЛПР). Поэтому для формализации отношения ЛПР к рискам будем строить матрицу риска, в которой для обозначения категорий риска, учитывающих вероятность (возможность) наступления рисками и классов (категорий) опасности, учитывающих тяжесть их последствий соответственно введём переменные  $X_P \in P$  (от англ. probability – вероятность) и  $X_C \in C$  (от англ. consequences – последствия).

В настоящей работе будем использовать перечень из 4 категорий риска и четырёх балльные шкалы, соответствующие их значимости. Множества численных значений введённых переменных задаются как  $P = \{1, 2, 3, 4\}$  и  $C = \{1, 2, 3, 4\}$ . Введённые множества  $P$  и  $C$  являются базисом матрицы риска. Элементы матрицы представляют собой балльные оценки, соответствующие обобщённым (поскольку учитывают и вероятность, и тяжесть последствий вместе) категориям риска (табл. 1). Обобщённую категорию риска будем записывать далее  $X_R$ ,  $X_R \in R$  (от англ. Risk, риск),  $R = \{1, 2, 3, 4\}$ .

Таблица 1

**Используемые категории рисков и соответствующие стратегии реагирования на них**

Значимость риска в балльной шкале	Обобщённая категория риска	Реагирование на риск
<b>4</b>	высокий риск	отказ / уклонение
<b>3</b>	средний риск	передача
<b>2</b>	умеренный риск	снижение
<b>1</b>	низкий риск	принятие

Выбор четырёх балльной шкалы обусловлен тем, что существует четыре классические стратегии реагирования на риски (табл. 1). Опыт показал, что ЛПР удобнее заполнять матрицу риска, оперируя не обобщёнными категориями риска, имеющими абстрактный смысл, а конкретными стратегиями реагирования.

Матрица риска представляет собой подмножество декартового произведения  $X_P \times X_C \times X_R$ , которая, по сути, определяет отображение из множества  $X_P \times X_C$  в множество  $X_R$ . Соответственно матрицу риска можно интерпретировать как дискретную переключательную функцию двух переменных  $X_R(X_P, X_C)$ .

На рис. 1 показан пример неубывающей матрицы риска, первая строка и первый столбец которой расположены в нижнем правом углу. Это сделано для удобства соотнесения численно заполненной матрицы (рис. 1) и графической карты рисков (рис. 2), которую можно построить путём интерполяции матрицы риска. Требование не убывания можно объяснить тем, что риск не может уменьшиться по мере роста любого рискообразующего параметра.

				$X_P$	
	4	4	4	3	4
	4	3	3	2	3
	3	3	2	2	2
	2	2	2	1	1
$X_C$	4	3	2	1	

Рис. 1. Пример численно заполненной матрицы риска

В настоящей работе предлагается строить трёхмерное представление карты рисков. Интерполяция матрицы риска выполнена с помощью аддитивно-мультипликативной процедуры комплексного оценивания [3, 4].

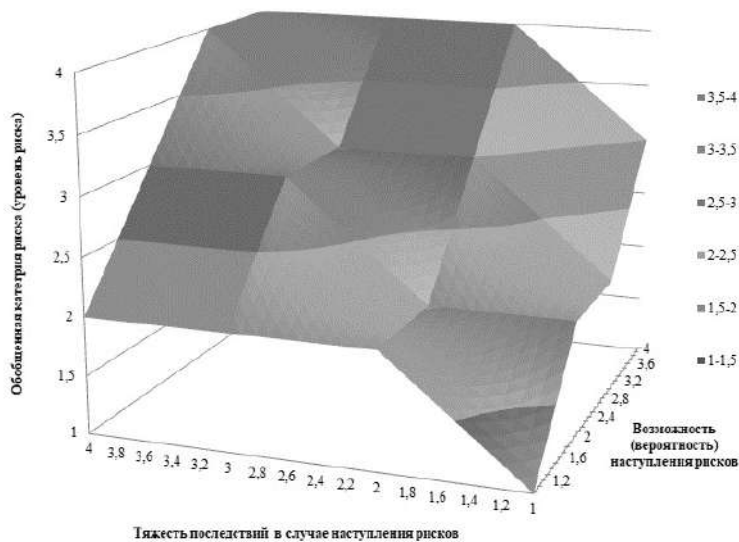


Рис. 2. Поверхность непрерывной функции свёртки рискообразующих параметров, полученная в результате интерполяции матрицы риска

Рассмотрим модельный пример, в таблице ниже (табл. 2) приведены, текущие положения рискообразующих параметров нескольких факторов риска,

пределы их снижения в результате управления каждым отдельным рисков, а так же параметры функций, описывающих затраты на управление рисками. Как и в работах [3, 4] будем считать, что затратные функции представляют собой обратную функцию частного случая производственной функции Кобба-Дугласа и определяется уравнениями  $C(X_P)=a_1X_P^2$ ,  $C(X_C)=a_2X_C^2$ .

Таблица 2

**Параметры модельного примера**

№ п/п	Реестр рисков	Текущие значения рискообразующих параметров		Пределы снижения рискообразующих параметров в результате управления рисками		Параметры функций, описывающих затраты на управление рисками	
		$X_P$	$X_C$	$X_{Pmin}$	$X_{Cmin}$	$a_1$	$a_2$
1	риск 1	3	4	2	2,5	2,5	1,6
2	риск 2	4	4	1,3	1,2	1,3	1,5
3	риск 3	1,5	4	1	1	1	3
4	риск 4	4	2	1	1	1	3

Для поиска оптимальных траекторий управления рисками для каждого фактора отдельно применяется численный метод, основанный на выборе наиболее эффективного направления. Эффективность направлений определяется как отношение изменения риска к изменению затрат. Подробно этот метод описан в работе [4]. Применительно к рассмотренным рискам (табл. 2) оптимальные траектории их управления показаны на рисунке ниже (рис. 3). Оптимальность подразумевает, что любое локальное отклонение от траекторий будет стоить дороже.

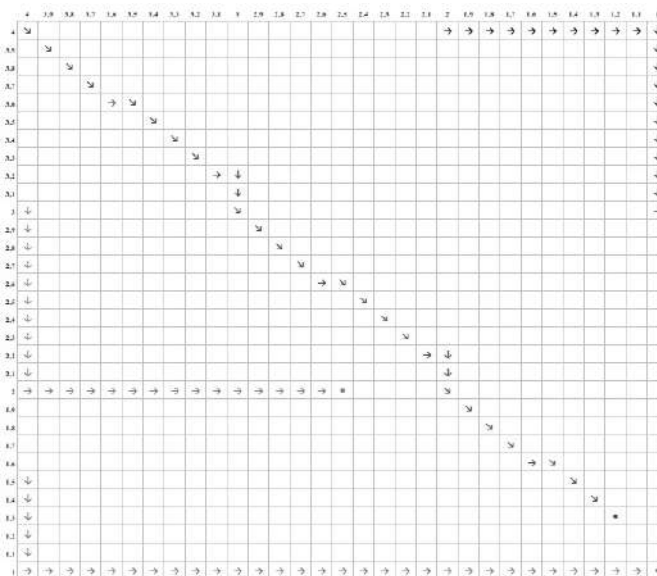
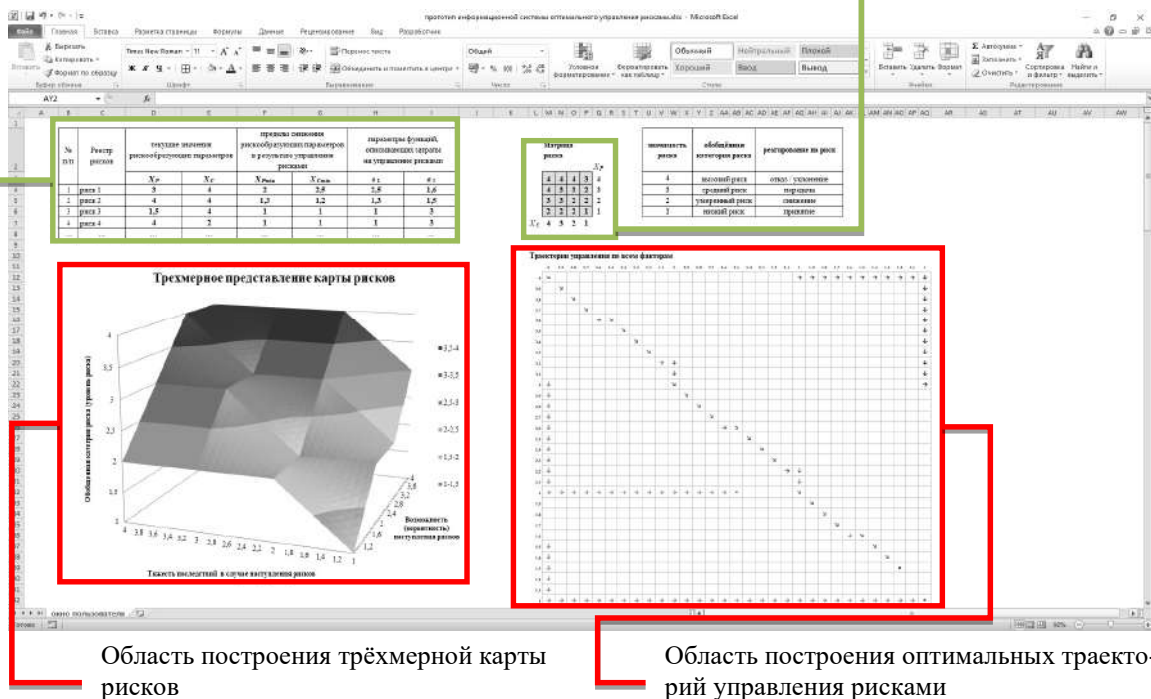


Рис. 3. Приближенные к оптимальным траектории управления многофакторными рисками:  
риск № 1 – красный; № 2 – синий; № 3 – сиреневый; № 4 – чёрный

На рис. 4 приведена экранная форма созданного в Microsoft Excel® прототипа информационной системы.

Поле ввода сведений о текущем состоянии рисков и пределах их снижения, а также параметрах затратных функций на управление рисками

Поле ввода матрицы риска



Область построения трёхмерной карты рисков

Область построения оптимальных траекторий управления рисками

Рис. 4. Экранная форма созданного в Microsoft Excel® прототипа информационной системы оптимального управления многофакторными рисками

Созданный прототип в текущей версии поддерживает управление до четырёх факторов риска, введение любой монотонной матрицы риска размерностью  $4 \times 4$ . Эти ограничения планируется устранить при разработке промышленного образца.

Помимо этого, планируется расширить функционал системы и определять оптимальное управление рисками с учетом затрат на привлечение заемных средств, ведь чем выше риск, тем выше процентная ставка по кредиту.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитонов В. А., Алексеев А. О. Сетевые механизмы анализа многофакторных рисков // Управление большими системами. 2010. № 30-1. С. 197-218.
2. Руководство к своду знаний по управлению проектами. Руководство РМВОК, 6-е изд. М. : Олимп-Бизнес, 2019. 792 с.
3. Алексеев А. О. Управление сложными объектами, состояния которых описываются с помощью матричных механизмов комплексного оценивания // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 1. С. 114–139.
4. Алексеев А. О. Пример управления объектом, оцениваемым по двум критериям эффективности // Математические методы в технике и технологиях. 2020. Т. 8. С. 63–66.