

УДК 330.322.16:629.78

UDC 330.322.16:629.78

**АДДИТИВНО-МУЛЬТИПЛИКАТИВНАЯ  
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ СОЗДАНИИ  
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ****ADDITIVE-MULTIPLICATIVE MODEL FOR  
RISK ESTIMATION IN THE PRODUCTION  
OF ROCKET AND SPACE TECHNICS**

Орлов Александр Иванович  
д.э.н., д.т.н., к.ф.-м.н., профессор

Orlov Alexander Ivanovich  
Dr.Sci.Econ., Dr.Sci.Tech., Cand.Phys-Math.Sci.,  
professor  
Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia

*Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005,  
Москва, 2-я Бауманская ул., 5, [prof-orlov@mail.ru](mailto:prof-orlov@mail.ru)*

Впервые разработана в общем виде аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков (вероятностей рисков событий). В двухуровневой схеме на нижнем уровне оценки рисков объединяются аддитивно, на верхнем – мультипликативно. Аддитивно-мультипликативная модель применена для оценки рисков (1) выполнения инновационных проектов в вузах (с участием внешних партнеров), (2) выпуска новых инновационных изделий, (3) проектов создания ракетно-космической техники

For the first time we have developed a general additive-multiplicative model of the risk estimation (to estimate the probabilities of risk events). In the two-level system in the lower level the risk estimates are combined additively, on the top – in a multiplicative way. Additive-multiplicative model was used for risk estimation for (1) implementation of innovative projects at universities (with external partners), (2) the production of new innovative products, (3) the projects for creation of rocket and space equipment

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВЕРОЯТНОСТЬ, ОЦЕНКА  
РИСКОВ, ИННОВАЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ,  
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ, РАКЕТНО-  
КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Keywords: MATHEMATICAL MODELING,  
PROBABILITY, RISK ESTIMATION,  
INNOVATIVE PRODUCTS, PROJECT  
MANAGEMENT, ROCKET AND SPACE  
TECHNICS

## **1. Введение. Об основных понятиях общей теории риска**

Предложено большое число различных определений основных понятий теории риска (см. обзоры [1 – 3]). Не вдаваясь в их обсуждение, выделим два базовых основных понятия – «рисковое событие» и «ущерб от осуществления рискованного события», необходимые для дальнейшего изложения.

Под «рисковым событием» будем понимать возможное нежелательное событие, приводящее к отрицательным последствиям. Оно связано с определенным видом риска, может произойти или не произойти. «Ущерб от осуществления рискованного события» может выражаться как в натуральных показателях (число погибших, получивших непоправимый ущерб здоровью и т.п.), так и в финансовых (оценка потерь в денежных единицах). Используют также понятие «ущерб от риска», который определен всегда, он равен 0, если «рисковое событие» не состоялось,

положителен в противном случае. Тогда «ущерб от осуществления рискового события» - это «ущерб от риска» при условии, что «рисковое событие» состоялось.

Выделяют три этапа исследования риска – анализ, оценку и управление [4]. Анализ проводится средствами предметной области. Для оценки и управления может использоваться различный математический аппарат, основанный на одной из трех базовых теорий - теории вероятностей и математической статистике, теории нечетких множеств, интервальной математике и статистике (о второй и третьей из них см., например, [5]).

Наиболее простой и наиболее распространенный подход к исследованию риска основан на теории вероятностей и математической статистике в ситуации, когда ущерб от рискового события выражен в денежных единицах. Тогда «рисковое событие» моделируется случайным событием (в смысле теории вероятностей) с некоторой вероятностью  $p$ , а «ущерб от осуществления рискового события» – случайной величиной  $X$  (в смысле теории вероятностей).

Простейшая единая характеристика риска – это средний ущерб  $pM(X)$ , т.е. математическое ожидание ущерба от риска, подробнее, произведение вероятности  $p$  рискового события на математическое ожидание  $M(X)$  ущерба от осуществления рискового события. Под управлением риском часто понимают выбор управляющих воздействий с целью минимизации среднего ущерба.

Известен ряд более сложных постановок, в том числе многокритериальных, в которых, например, математическое ожидание  $M(X)$  заменяют на медиану или, скажем, квантиль порядка 0,999999; минимизируют два критерия – математическое ожидание и дисперсию (естественно, в двухкритериальной задаче один из критериев переводят в

ограничение или применяют иной подход, обеспечивающий получение решения), и т.п. [1, 4].

Из сказанного ясна необходимость разработки методов оценки вероятности  $p$  рискового события. Оценка этой вероятности может быть как шагом к оценке среднего ущерба  $pM(X)$ , так и представлять самостоятельную ценность для разработки практических рекомендаций по управлению риском. По сравнению с оценкой вероятности  $p$  рискового события оценка математического ожидания  $M(X)$  ущерба от осуществления рискового события требует дополнительных исследований, зачастую достаточно трудоемких [6]. Для оценки вероятности  $p$  рискового события при создании ракетно-космической техники предлагаем использовать аддитивно-мультипликативную модель оценки рисков, рассматриваемую ниже.

## **2. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков (общий случай)**

Для оценки и управления рисками можно разрабатывать математические модели различной степени общности и сложности. Целесообразно выделить класс моделей, достаточно общих для применений в различных предметных областях, но при этом достаточно простых и приспособленных для практических применений и расчетов. По нашему мнению, рассмотренная ниже аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков, а именно, оценки вероятности  $p$  рискового события, относится к этому классу. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков основана на двухуровневой иерархической схеме декомпозиции риска (рис.1). При этом на нижнем уровне агрегированные оценки групповых рисков строятся аддитивно (поскольку вероятности конкретных видов нежелательных событий – частные риски нижнего уровня - малы), а на верхнем уровне итоговая оценка риска рассчитывается по групповым рискам по мультипликативной схеме. В общем случае аддитивно-

мультипликативная модель оценки риска исходит из следующих предпосылок.

1. Цель разработки модели – оценка риска  $R$  наступления нежелательного события. Для расчета этого риска применяем вероятностную модель, согласно которой наступление нежелательного события является случайным событием – подмножеством множества всех возможных элементарных событий. Риск (нежелательное событие) будем обозначать  $R$ , его числовую вероятностную оценку  $Q$ . Пусть  $Q$  – вероятность наступления нежелательного события  $R$ , тогда  $P = 1 - Q$  есть вероятность того, что нежелательного события удастся избежать. Для простоты описания пусть  $Q$  – вероятность неудачи, тогда  $P = 1 - Q$  есть вероятность успеха, например, вероятность успешного выполнения инновационно-инвестиционного проекта по созданию изделия ракетно-космической техники (или его определенного этапа). В дальнейшем изложении используется двойственность  $Q$  и  $P$  (с прикладной точки зрения важна оценка риска  $Q$ , в то время как модель описывается с помощью вероятностей  $P$ ).

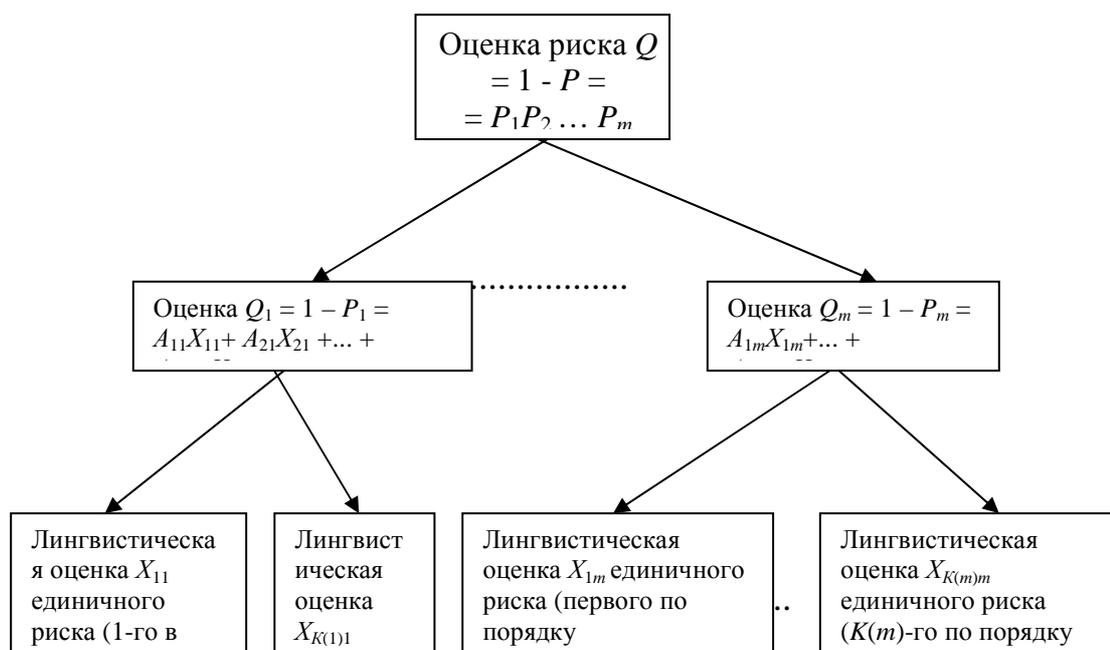


Рис.1. Декомпозиция рисков с помощью дерева событий.

2. Примем, что для успеха (осуществления случайного события  $B$ ) необходимо одновременное выполнение  $m$  независимых условий (должны одновременно осуществиться случайные события  $B_1, B_2, \dots, B_m$ ). Предполагаем, что **случайные события  $B_1, B_2, \dots, B_m$  независимы в совокупности** (в терминах теории вероятностей [7]). Тогда вероятность успеха, т.е. вероятность  $P$  осуществления случайного события  $B$ , равна произведению вероятностей  $P_1, P_2, \dots, P_m$  осуществления случайных событий  $B_1, B_2, \dots, B_m$ , т.е.  $P = P_1 P_2 \dots P_m$ . Следовательно, оценка  $Q$  риска  $R$ , т.е. вероятность наступления нежелательного события, равна  $Q = 1 - P = 1 - P_1 P_2 \dots P_m$ . Оценка суммарного риска  $Q$  всегда больше оценки частного риска  $Q_i = 1 - P_i$ , поскольку итоговая вероятность  $P$  всегда меньше частной вероятности успеха  $P_i$ .

3. Принимаем, что для осуществления  $i$ -го условия должны одновременно осуществиться случайные события  $B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{ik(i)}$ , имеющие вероятности  $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik(i)}$  соответственно. Здесь  $k(i)$  – число событий второго (нижнего) уровня декомпозиции (см. иерархическую схему на рис.1), соответствующих  $i$ -му событию на первом (верхнем) уровне декомпозиции. Оценки частных рисков второго порядка  $R_i$  равны  $Q_{ij} = 1 - P_{ij}, j = 1, 2, \dots, k(i)$ . При моделировании предполагаем, что оценки частных рисков  $Q_{ij}$  малы, а частные вероятности успеха  $P_{ij}$  достаточно близка к 1.

Как выразить вероятность события  $B_i$  первого уровня через вероятности событий  $B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{ik(i)}$  второго уровня? Рассмотрим два варианта:

(А) события  $B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{ik(i)}$  второго уровня независимы в совокупности (и дополнительные к ним, соответствующие реализациям частных рисков, также независимы);

(Б) нежелательные события (т.е. соответствующие частным рискам) несовместны.

В случае (А) независимости:

$$P_i = P_{i1}P_{i2}\dots P_{ik(i)} = (1 - Q_{i1})(1 - Q_{i2})\dots (1 - Q_{ik(i)}). \quad (1)$$

В случае (Б) несовместности (принимая, что риски реализуются редко, поэтому возможностями одновременного осуществления двух или нескольких нежелательных событий можно пренебречь):

$$P_i = 1 - Q_i = 1 - Q_{i1} - Q_{i2} - \dots - Q_{ik(i)}. \quad (2)$$

Формула (2) означает, что оценка  $Q_i$  частного риска  $R_i$  есть сумма оценок  $Q_{ij}$  частных рисков второго порядка  $R_{ij}$ , т.е.  $Q_i = Q_{i1} + Q_{i2} + \dots + Q_{ik(i)}$ . Поскольку оценки  $Q_{ij}$  частные риски второго порядка  $R_{ij}$  малы, то, раскрывая скобки в правой части формулы (1), получаем, что с точностью до бесконечно малых второго порядка  $(1 - Q_{i1})(1 - Q_{i2})\dots (1 - Q_{ik(i)}) = 1 - Q_{i1} - Q_{i2} - \dots - Q_{ik(i)}$ . Таким образом, два принципиально разных подхода (А) и (Б) дают одно и то же численное значение (с точностью до бесконечно малых более высокого порядка), что повышает обоснованность использования формул (1) и (2).

4. Каждый из частных рисков (факторов риска) второго порядка  $R_{ij}$  имеет два показателя – *выраженность* (показывает частоту встречаемости) и *весомость* (насколько влияет на риск более высокого уровня). Эти показатели можно оценивать на основе различных моделей.

Рассмотрим оценку выраженности. Если есть возможность – ее целесообразно проводить по статистическим данным (как частоту реализации нежелательного события). Можно использовать экспертные оценки. При этом естественно давать оценки рисков с помощью лингвистических переменных. Например, члены экспертной комиссии оценивают риск  $R_{ij}$  с помощью градаций лингвистической переменной  $X_{ij}$ , выбирая ее значения из списка:

0 - практически невозможное событие (с вероятностью не более 0,01),

1 - крайне маловероятное событие (с вероятностью от 0,01 до 0,05),

2 - маловероятное событие (вероятность от 0,05 до 0,10),

3 - событие с вероятностью, которой нельзя пренебречь (от 0,10 до 0,20),

4 - достаточно вероятное событие (вероятность от 0,20 до 0,30),

5 - событие с заметной вероятностью (более 0,30).

Этот список может меняться в соответствии с конкретной задачей оценки и управления риском. В частности, могут быть изменены: количество градаций; способ **оцифровки** градаций (например, вместо ряда 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 может использоваться ряд 0 - 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1); граничные значения для вероятностей (например, если нежелательные события являются редкими, но соответствующий им ущерб велик, то вероятность практически невозможного события должна быть не более  $10^{-5}$ , вместо «не более 0,01», как выше, и т.п.). Естественно принять, что значения  $X_{ij}$ , используемые для оцифровки градаций, неотрицательны.

Кратко скажем о других возможных моделях. Лингвистические переменные естественно моделировать с помощью **теории нечеткости** (см., например, [1, 5]). Тогда  $X_{ij}$  – нечеткие числа. Можно использовать «треугольные» нечеткие числа, у которых функция принадлежности описывается тремя числовыми параметрами  $a, b, c$  ( $a < b < c$ ) и имеет треугольный вид – функция принадлежности равна 0 левее  $a$  и правее  $c$ , в точке  $b$  равна 1, на интервалах  $(a, b)$  и  $(b, c)$  линейна. Арифметические операции над такими числами описываются проще, чем для функций принадлежности общего вида. Для реализации аддитивно-мультипликативной модели необходимо тем или иным способом определить арифметические операции над нечеткими числами. Другое обобщение - моделирование лингвистических переменных с помощью **интервальных чисел** (см., например, [1, 5]). Тогда  $X_{ij}$  – интервал  $(a, b)$  (или  $[a, b]$ ,  $(a, b]$ ,  $[a, b)$ ), т.е. описывается двумя числовыми параметрами  $a$  и  $b$ . В примере, описанном выше, «крайне маловероятное событие» описывается интервалом  $(0,01; 0,05]$ .

Сбор и анализ экспертных оценок должны быть описаны в соответствующей методике в соответствии с общими положениями монографии [8]. В частности, согласно теории измерений итоговую оценку целесообразно рассчитывать как медиану индивидуальных оценок (при четном числе членов экспертной комиссии - как правую медиану).

5. В оценке  $Q_{ij}$  риска  $R_{ij}$  можно учесть весомость (важность) этого вида риска:

$$Q_{ij} = A_{ij}X_{ij}, \quad (3)$$

где  $A_{ij}$  – показатель весомости (важности), например, оценка экономических потерь, вызванных данным видом риска,  $X_{ij}$  – показатель выраженности (распространенности). ***Эта формула обобщает известный способ оценки риска как произведения среднего ущерба (математического ожидания ущерба) на вероятность нежелательного события.***

5. В соответствии с формулами (2) и (3) имеем

$$\begin{aligned} P_i &= 1 - Q_i = 1 - Q_{i1} - Q_{i2} - \dots - Q_{ik(i)} = \\ &= 1 - A_{i1}X_{i1} - A_{i2}X_{i2} - \dots - A_{ik(i)}X_{ik(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik(i)}$  – оценки факторов риска второго порядка, используемые при вычислении оценки частного риска типа  $i$ , положительные числа  $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik(i)}$  – коэффициенты весомости (важности) этих факторов.

Значения факторов  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik(i)}$  оценивают эксперты для каждого конкретного инновационного проекта, в то время как значения коэффициентов весомости  $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik(i)}$  задаются одними и теми же для всех проектов - по результатам специально организованного экспертного опроса.

6. Вероятность  $P_i$  должна быть неотрицательна при всех возможных значениях  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik(i)}$ . Если все оценки факторов риска (частных рисков) принимают свои максимальные значения, то и риск  $R_i$  должен принять свое максимальное значение, равное 1. Следовательно,

коэффициенты весомости (важности) должны удовлетворять условию  $A_{i1} \max X_{i1} + A_{i2} \max X_{i2} + \dots + A_{ik(i)} \max X_{ik(i)} = 1$ . В рассмотренном выше варианте оцифровки максимальные значения  $X_{ij}$  равны 5. Следовательно, сумма  $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik(i)}$  должна равняться  $1/5 = 0,2$ .

Все составляющие аддитивно-мультипликативной модели (АМ-модели) описаны. Обсудим некоторые дополнительные вопросы. АМ-модель позволяет рассчитывать не только риск реализации проекта в целом, но и вероятности частичной его реализации. Например, если проект предусматривает выполнение четырех этапов: НИР, ОКР, экспертизы, создание (и испытание) опытного образца, то представляют интерес вероятности успешного выполнения (1) НИР, (2) НИР и ОКР, (3) НИР, ОКР и экспертизы, т.е. первого этапа; первого и второго этапа; трех начальных этапов. В случае сетевого графика может быть полезен расчет вероятности успешного прохождения отдельных ветвей. АМ-модель позволяет описывать риски реализации инновационно- инвестиционного проекта, состоящего из нескольких этапов. Простейший вариант – верхний уровень иерархической схемы рис.1 соответствует этапам ( $m$  - число этапов). Более сложный вариант АМ-модели – рис.1 соответствует одному этапу, риски выполнения этапов независимы между собой, т.е. добавляется еще один уровень иерархии, на котором агрегирование вероятностей происходит по мультипликативной схеме. Если какой-либо из рисков первого или второго порядка оказывается недопустимо велик (больше заданного порога), то естественно признать риск проекта в целом недопустимо большим и прекратить дальнейшие оценки и расчеты. Порог задают эксперты. Риск проекта может быть выражен в вербальной форме, т.е. численное значение может быть переведено в значение лингвистической переменной (например, по схеме п.4 выше). АМ-модель позволяет ввести коррективы в выполнение проекта. Если тот или иной риск недопустимо велик, проект не может быть успешно реализован с

высокой вероятностью, то можно выявить критические факторы риска и разработать управленческие решения, позволяющие добиться успешной реализации проекта. Например, повторить этап, с теми же или иными параметрами. Определить, как надо изменить значения критических факторов риска, чтобы добиться реализации проекта с вероятностью, не меньшей заданной, а затем оценить объемы ресурсов, необходимые для изменения значений выявленных критических факторов риска. Таким образом, АМ-модель может быть развита в различных направлениях.

Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков может применяться для решения различных прикладных задач. Так, в [1] на с.359-370 она использована для моделирования рисков выполнения инновационных проектов в вузах (с участием внешнего партнера), в этой модели  $m = 4$ . В [9] – для оценки рисков выпуска нового инновационного изделия, снова  $m = 4$ . В [10] - для оценки рисков проектов создания ракетно-космической техники, в этой модели  $m = 8$ . Рассмотрим подробнее три перечисленных примера применения аддитивно-мультипликативная модели оценки рисков.

### **3. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков выполнения инновационных проектов в вузах (с участием внешнего партнера)**

Обычно под инновационным проектом в вузе понимают проект, который опирается на ранее проведенные научно-технические разработки, приведшие к перспективным для практического использования результатам. Поскольку вузы, как правило, не занимаются сами производственной и коммерческой деятельностью, то предполагается, что коммерческая реализация будет осуществляться внешним партнером (или партнерами).

Структура и выраженность рисков реализации инновационных проектов в вузах несколько отличаются от таковых для инновационных проектов вообще и тем более от рисков разнообразных инвестиционных проектов. На первое место выходят риски невыполнения работы в соответствии с техническим заданием и невозврата (полного или частичного) средств. Риски могут быть, в частности, связаны с различными трудностями (см. приведенную выше схему).

Возможные итоги выполнения инновационной работы можно описать следующим образом:

а) работа и финансовые обязательства всех партнеров выполнены в полном объеме;

б) научно-исследовательская часть работы выполнена полностью, но по каким-либо причинам внешний партнер свои обязательства, в том числе финансовые, выполнил не в полном объеме;

в) научно-исследовательская часть работы выполнена полностью, но коммерческая часть проекта сорвана (внешним партнером), финансовые обязательства не выполнены;

г) научно-исследовательская часть работы не выполнена полностью, но получены существенные научные результаты; для окончания работы требуется некоторое время;

д) научно-исследовательская часть работы не выполнена, но получены некоторые интересные научные результаты; однако планируемый вначале научный результат не будет достигнут в обозримое время;

е) выполнение в вузе инновационной работы сорвано полностью.

Также при любом из вышперечисленных исходов существует вероятность осуществления макроэкономического риска, которое может еще более ухудшить результат выполнения инновационного процесса.

Таким образом, только в двух случаях из шести оценка однозначна: итог а) - это полный успех, а итог е) - это полный провал. В остальных случаях - итоги б), в), г), д) - получены некоторые научные результаты, а в случае итога б) - также и некоторые коммерческие результаты. При этом в случае итогов а), б), в) научно-исследовательский коллектив выполнил все, что от него требовалось, хотя «полный успех» имеет место только в одном из этих трех случаев - в зависимости от результатов работы внешнего партнера.

Для оценки рисков реализации инновационных проектов в вузах применим описанную выше аддитивно-мультипликативную модель. Будем исходить из двухступенчатой схемы: сначала работает научно-исследовательский коллектив, затем он передает свои разработки внешнему партнеру, и тот начинает коммерческий этап. Считаем, что научно-исследовательский коллектив и внешний партнер работают независимо друг от друга (в теоретико-вероятностном смысле).

Вероятность того, что научно-исследовательский коллектив полностью выполнит свою работу, зависит от двух групп факторов, определяемых ситуациями соответственно внутри коллектива исполнителей и внутри вуза. Будем считать, что эти группы факторов также независимы между собой. Четвертый фактор риска - макроэкономический, т.е. ситуация в народном хозяйстве (степень выраженности неплатежей, инфляции, нерациональной налоговой политики и т.д.). Таким образом, выделяются четыре основные группы факторов риска, связанные с коллективом исполнителей, с вузом, с внешним партнером, с общей экономической обстановкой соответственно. Принимаем, что все четыре фактора независимы между собой (в теоретико-вероятностном смысле). В соответствии со сказанным выше основная формула аддитивно-мультипликативной модели оценки рисков реализации инновационных моделей в вузах и соответствующих

вероятностей имеет вид:  $P = P_1 P_2 P_3 P_4$ , где  $P$  - вероятность «полного успеха», т.е. итога а) согласно приведенной выше классификации, при этом риск того, что инновационный проект не будет осуществлен полностью, оценивается вероятностью «отсутствия полного успеха», т.е. величиной  $(1 - P)$ ;  $P_1$  - вероятность того, что ситуация внутри коллектива исполнителей не помешает выполнению инновационного проекта (следовательно, риск коллектива оценивается величиной  $1 - P_1$ );  $P_2$  - вероятность того, что ситуация внутри вуза не помешает выполнению инновационного проекта ( $1 - P_2$  - риск вуза);  $P_3$  - вероятность того, что внешний партнер полностью выполнит свою работу, после того, как научно-исследовательский коллектив полностью выполнит свою часть работы ( $1 - P_3$  - риск партнера);  $P_4$  - вероятность того, что ситуация в народном хозяйстве не помешает выполнению инновационного проекта (здесь  $1 - P_4$  - макроэкономический риск, т.е. риск ситуации в стране). Структуризации вероятностей  $P_1 - P_4$  посвящены соответствующие подразделы ниже.

**Риск коллектива.** Введем следующие переменные:

$X_1$  - на выполнении инновационного проекта скажется недооценка сложности научно-технической задачи (включая возможный выбор принципиально неверного направления работ),

$X_2$  - на выполнении работы скажется нехватка времени (из-за неправильного планирования процесса выполнения инновационного проекта, в то время как основное направление работ выбрано правильно),

$X_3$  - на выполнении работы скажутся возникшие в ходе ее выполнения проблемы, связанные с научным руководителем темы, в частности, с его длительным отсутствием или сменой (из-за длительной командировки, болезни, смерти, ухода на пенсию, перехода на другую работу и т.д.),

$X_4$  - на выполнении работы скажутся возникшие в ходе ее выполнения проблемы, связанные с иными непосредственными участниками работы (кроме руководителя).

Заметим, что в двух последних позициях (факторы  $X_3$  и  $X_4$ ) причинами невыполнения работы могут быть и недостаточная квалификация руководителя работы либо иных членов научно-исследовательского коллектива. Экспертный опрос дал следующие значения коэффициентов:  $A_1 = 0,02$ ,  $A_2 = 0,08$ ,  $A_3 = 0,07$ ,  $A_4 = 0,03$ .

*Пример 1.* Если итоговая оценка экспертов такова:  $X_1=3$ ;  $X_2=2$ ;  $X_3=4$ ;  $X_4=1$ , то  $P_1 = 1 - A_1X_1 - A_2X_2 - A_3X_3 - A_4X_4 = 1 - 0,02 \times 3 - 0,08 \times 2 - 0,07 \times 4 - 0,03 \times 1 = 1 - 0,06 - 0,16 - 0,28 - 0,03 = 1 - 0,53 = 0,47$ .

Таким образом, в данном конкретном случае эксперты достаточно скептически относятся к возможности выполнения работы в срок, причем основная причина скепсиса - в возможном отъезде научного руководителя (риск оценивается как 0,28), вторая заметная причина - возможный недостаток времени (риск оценивается как 0,16).

**Риск вуза.** Для оценивания  $P_2$  введем следующие переменные:

$Y_1$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажутся организационные изменения в вузе, предпринятые руководством вуза,

$Y_2$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажутся внутривузовские экономические проблемы (например, работы будут на какое-то время приостановлены из-за решения руководства вуза (несостоятельном с правовой точки зрения) о направлении средств, выделенных на финансирование инновационного проекта, на оплату труда преподавателей),

$Y_3$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажется отсутствие в вузе соответствующей материальной базы (оборудования, материалов, вычислительной техники, площадей и т.д.).

Предварительный экспертный опрос дал следующие значения коэффициентов:  $A_1 = 0,10$ ;  $A_2 = 0,08$ ;  $A_3 = 0,02$ .

*Пример 2.* Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы:  $Y_1 = 1$ ;  $Y_2 = 4$ ;  $Y_3 = 0$ , то  $P_2 = 1 - A_1Y_1 - A_2Y_2 - A_3Y_3 = 1 - 0,10 \times 1 - 0,08 \times 4 - 0,02 \times 0 = 1 - 0,01 - 0,32 - 0 = 0,67$ .

По мнению экспертов, для данного проекта и вуза наибольшее отрицательное влияние могут оказать внутривузовские экономические проблемы (вклад в общий риск оценен как 0,32).

**Риск партнера.** Для оценивания риска  $P_3$ , связанного с деятельностью внешнего партнера, введем следующие переменные:

$Z_1$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажутся финансовые проблемы внешнего партнера, связанные с недостатками в работе его сотрудников,

$Z_2$  - на выполнение проекта повлияют финансовые проблемы внешнего партнера, связанные с деятельностью конкретных государственных органов и частных фирм (например, неплатежи, административные решения),

$Z_3$  - работу над проектом сорвет изменение поведения возможных потребителей, например, из-за изменения моды или из-за решений соответствующих вышестоящих органов (министерств (ведомств) или регионального руководства), связанных, в частности, с выдачей лицензий, закрытием информации или с таким выбором технической политики, который делает ненужным (для большинства возможных потребителей) результатов инновационного проекта,

$Z_4$  - на возможности выполнения инновационного проекта отрицательно скажутся организационные преобразования у внешнего партнера, в частности, смена руководства.

Пилотный экспертный опрос дал следующие значения коэффициентов:  $A_1 = 0,03$ ,  $A_2 = 0,06$ ,  $A_3 = 0,06$ ,  $A_4 = 0,05$ .

*Пример 3.* Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы:  $Z_1 = 3$ ;  $Z_2 = 5$ ;  $Z_3 = 1$ ;  $Z_4 = 4$ , то  $P_3 = 1 - A_1Z_1 - A_2Z_2 - A_3Z_3 - A_4Z_4 = 1 - 0,03 \times 3 - 0,06 \times 5 - 0,06 \times 1 - 0,05 \times 4 = 1 - 0,09 - 0,30 - 0,06 - 0,20 = 1 - 0,65 = 0,35$ .

Таким образом, эксперты достаточно скептически относятся к возможности успешного выполнения внешним партнером своих обязательств по договору, связанному с коммерческой реализацией разработок, выполненных по инновационному проекту. Основные «подводные камни», по их мнению, это действия конкретных государственных органов (вклад в общий риск оценен как 0,30), и нежелательные организационные преобразования (кадровые изменения) у внешнего партнера (вклад в риск равен 0,20).

**Макроэкономический риск.** Под макроэкономическим риском понимаем риск, определяемый внешними по отношению к системе «вуз - внешний партнер» факторами, прежде всего теми, которые являются общими для всего народного хозяйства. Для оценивания  $P_4$  введем переменные:

$W_1$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажется отсутствие или сокращение номинального финансирования (неплатежи со стороны бюджета),

$W_2$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажется резкое сокращение реального финансирования (в сопоставимых ценах) из-за инфляции,

$W_3$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажется изменение статуса и/или задач вуза или его внешнего партнера (в частности, из-за ликвидации или реорганизации вуза) по решению вышестоящих органов (министерства (ведомства) или регионального руководства),

$W_4$  - на возможности выполнения инновационного проекта скажутся относящиеся к инновационному проекту решения соответствующих

вышестоящих органов (министерств (ведомств) или регионального руководства), связанные, например, с закрытием информации или с таким выбором технической политики, который делает ненужным или нецелесообразным выполнение инновационного проекта.

Пилотный экспертный опрос дал следующие значения коэффициентов:  $A_1 = 0,10$ ,  $A_2 = 0,05$ ,  $A_3 = 0,03$ ,  $A_4 = 0,02$ .

*Пример 4.* Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы:  $W_1=3$ ;  $W_2=4$ ;  $W_3= 1$ ;  $W_4 = 2$ , то  $P_4 = 1 - A_1W_1 - A_2W_2 - A_3W_3 - A_4W_4 = 1 - 0,10 \times 3 - 0,05 \times 4 - 0,03 \times 1 - 0,02 \times 2 = 1 - 0,30 - 0,20 - 0,03 - 0,04 = 1 - 0,57 = 0,43$ .

Таким образом, эксперты считают, что общая экономическая ситуация в стране может негативно сказаться на возможности выполнения рассмотренного ими инновационного проекта. Причем наиболее опасаются неплатежей со стороны государства (отсутствия или сокращения перечисления средств для выполнения проекта) и в несколько меньшей мере - уменьшения реального финансирования из-за инфляции (что, возможно, отвлечет членов научно-исследовательского коллектива на побочные заработки).

**Итоговые оценки.** Сведем вместе полученные результаты. Вероятность успешного выполнения инновационного проекта оценивается по формуле:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4,$$

где

$$P_1 = 1 - 0,02 X_1 - 0,08 X_2 - 0,07 X_3 - 0,03 X_4,$$

$$P_2 = 1 - 0,10 Y_1 - 0,08 Y_2 - 0,02 Y_3,$$

$$P_3 = 1 - 0,03 Z_1 - 0,06 Z_2 - 0,06 Z_3 - 0,05 Z_4,$$

$$P_4 = 1 - 0,10 W_1 - 0,05 W_2 - 0,03 W_3 - 0,02 W_4.$$

Для данных, приведенных в примерах 1 - 4, вероятность того, что научно-исследовательский коллектив в вузе полностью выполнит свою работу, равна:  $P_1P_2 = 0,47 \times 0,67 = 0,3149$ , а вероятность его успешного

осуществления  $P = P_1 P_2 P_3 P_4 = 0,47 \times 0,67 \times 0,35 \times 0,43 = 0,0473924$ . Таким образом, имеется лишь примерно 1 шанс из 20, что рассматриваемый инновационный проект будет успешно завершен (в намеченные сроки и с запланированным экономическим эффектом).

В табл.1 (см. ниже) приведены результаты расчета вероятностей, связанных с реализацией четырех типовых инновационных проектов. Видно, какое влияние оказывает изменение того или иного фактора на общую величину вероятности выполнения проекта. Выполнение первого проекта практически в одинаковой степени зависит от всех четырех факторов. Низкая вероятность выполнения второго проекта связана с относительно высокими показателями всех четырех видов риска. Вероятность выполнения третьего проекта – наименьшая, что связано с высоким риском внутри коллектива исполнителей и внутри вуза. У четвертого проекта наибольший риск связан с политической и экономической обстановкой в стране. Вероятность выполнения пятого проекта относительно невысокая, но она выше, чем у второго, третьего и четвертого проектов.

Выбор инновационных проектов для финансирования целесообразно проводить на основе описанной выше процедуры вероятностно-статистической (с учетом мнений экспертов) оценки их рисков реализации, разработанной нами при выполнении НИР «Разработка методологии оценки рисков реализации инновационных проектов высшей школы» [11]. Работа проводилась по заданию Отделения инновационных проектов и программ РИНКЦЭ Миннауки (1996г.). Основные результаты опубликованы в статье [12] и включены в [1]. Они могут быть модифицированы в соответствии со спецификой конкретного вуза.

Таблица 1. Оценки вероятности реализации инновационных проектов в вузе

	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5
<b>1. Риск для коллектива исполнителей</b>					
$A_n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	$X_{n3}$	$X_{n4}$	$X_{n5}$
0,02	0	2	4	2	1
0,08	0	3	5	2	2
0,07	1	2	4	2	2
0,03	1	2	2	3	0
$P_1 =$	0,9	0,52	0,18	0,57	0,68
<b>2. Риск внутри вуза</b>					
$A_n$	$Y_{n1}$	$Y_{n2}$	$Y_{n3}$	$Y_{n4}$	$Y_{n5}$
0,1	0	3	4	1	1
0,08	1	2	5	1	2
0,02	1	3	4	0	2
$P_2 =$	0,92	0,48	0,12	0,82	0,70
<b>3. Риск партнера</b>					
$A_n$	$Z_{n1}$	$Z_{n2}$	$Z_{n3}$	$Z_{n4}$	$Z_{n5}$
0,03	0	2	3	1	2
0,06	1	2	2	1	0
0,06	1	3	2	1	1
0,05	0	1	1	1	1
$P_3 =$	0,880	0,590	0,620	0,800	0,830
<b>4. Макроэкономический риск</b>					
$A_n$	$W_{n1}$	$W_{n2}$	$W_{n3}$	$W_{n4}$	$W_{n5}$
0,1	0	3	2	5	2
0,05	1	2	2	4	2
0,03	1	1	1	5	1
0,02	0	2	0	5	1
$P_4 =$	0,92	0,53	0,67	0,05	0,65
<b>Вероятность выполнения данного проекта</b>					
$P =$	0,670	0,078	0,009	0,019	0,26
<b>Вероятность выполнения работ без учета риска партнера</b>					
$P_1 P_2 P_4$	0,76	0,13	0,01	0,02	0,3
<b>Вероятность выполнения работ без учета риска страны</b>					
$P_1 P_2 P_3$	0,73	0,15	0,01	0,37	0,4
<b>Вероятность выполнения работ без учета риска вуза</b>					
$P_1 P_3 P_4$	0,73	0,16	0,07	0,02	0,37
<b>Вероятность выполнения работ в вузе</b>					
$P_1 P_2$	0,83	0,16	0,07	0,02	0,37

#### 4. Оценки рисков при выпуске нового инновационного изделия

Выделим согласно [13] производственные, коммерческие, финансовые и глобальные риски. Принимаем, что все четыре группы независимы между собой (в теоретико-вероятностном смысле). Будем использовать описанную выше аддитивно-мультипликативную модель.

Для оценки  $P_1$  - вероятности того, что производственные риски не окажут влияние на выполнение проекта, введем следующие частные факторы риска:  $X_{11}$  - недооценка сложности производства, и, как следствие, высокая доля брака,  $X_{21}$  – принципиальные ошибки при проектировании, из-за которых не удастся наладить серийный выпуск продукции,  $X_{31}$  – риски аварий на производстве,  $X_{41}$  – риски, связанные с возможным отсутствием (болезнь, увольнение) специалистов, без которых невозможно наладить производство, а также проблемы, возникшие в ходе выполнения работы, связанные с иными непосредственными участниками работы.

Для оценивания  $P_2$  - вероятности того, что коммерческие риски не окажут влияние на выполнение проекта, введем частные факторы риска (кратко - риски):  $X_{12}$  – риски, связанные с деятельностью поставщиков (сроки, качество поставки и т.д.),  $X_{22}$  – риски, связанные с потребителями (товар не привлекателен (плохой маркетинг), высокая цена и т.д.),  $X_{32}$  - риски связанные с деятельностью конкурентов (выпуск конкурентами

аналогичных товаров, сговор и т.д.),  $X_{42}$  - риски связанные с деятельностью органов государственной и муниципальной власти.

Для оценивания  $P_3$  - вероятности того, что финансовые риски не окажут влияние на выполнение проекта, введем частные факторы риска:  $X_{13}$  – риски, связанные с изменением законодательства,  $X_{23}$  – риски изменения курсов валют, курсов акций,  $X_{33}$  – риски, связанные с ростом цен (инфляцией).

Для оценки глобальных рисков введем:  $X_{14}$  – государственные и международные риски (политические, военные, терроризм),  $X_{24}$  – природные риски (наводнения, землетрясения и т.д.).

В табл.2 приведены примеры - экспертные оценки весовых коэффициентов  $A_{in}$  и частных факторов риска для пяти проектов:  $X_{in}$  – для проекта 1 и соответственно  $Y_{in}$  – для проекта 2,  $V_{in}$  – для проекта 3,  $W_{in}$  – для проекта 4,  $Z_{in}$  – для проекта 5. При принятии решения о выборе инновационного изделия для выпуска изделия целесообразно использовать табл.2, в которой приведены оценки вероятностей ненаступления неблагоприятных событий для сравниваемых изделий (за время освоения). Вероятность «полного успеха» оценивается как  $P = P_1P_2P_3P_4$ . Для окончательного принятия решения о выборе проекта для реализации необходимо составить матрицу вероятностей благоприятного исхода и возможной прибыли, сопутствующей производству каждого изделия [9].

Таблица 2. Оценки вероятности реализации инновационных проектов

Коэффициенты весомости $A_{in}$ и вероятности	Проект 1 $X_{in}$	Проект 2 $Y_{in}$	Проект 3 $V_{in}$	Проект 4 $W_{in}$	Проект 5 $Z_{in}$
1. Производственные риски					
0,08	1	2	0	2	1
0,07	0	1	0	1	1
0,02	0	0	0	0	0
0,03	1	0	0	0	1
$P_1 =$	0,89	0,77	1	0,77	0,82
2. Коммерческие риски					
0,05	0	1	1	1	1
0,07	1	2	5	1	2
0,02	0	1	1	1	0
0,06	1	1	1	1	1
$P_2 =$	0,87	0,73	0,52	0,80	0,75
3. Финансовые риски					
0,06	0	0	0	0	0
0,07	1	1	1	1	1
0,07	0	0	0	0	0
$P_3 =$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
4. Глобальные риски					
0,11	1	1	1	1	1
0,09	0	0	0	0	0
$P_4 =$	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Вероятность «полного успеха» изделия на рынке					
$P =$	0,64	0,47	0,43	0,51	0,51

### 5. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при разработке ракетно-космической техники (РКТ)

Для демонстрации предлагаемого подхода примем на основе опроса экспертов, что разработка РКТ состоит из следующих восьми этапов:

1. Концепция.
2. Разработка технического проекта (аванпроекта и эскизного проекта).

3. Разработка рабочей (конструкторской и технологической) документации.
4. Изготовление макета и опытных изделий (опытного образца).
5. Наземная отработка (испытания).
6. Корректировка документации.
7. Летные испытания и доработка документации для производства.
8. Запуск.

На каждом этапе имеются те или иные риски. Будем оценивать риски и рассчитывать вероятности  $P_1, P_2, \dots, P_8$  успешного выполнения перечисленных выше этапов, используя их сокращенные (условные) названия. Примем, что риски на разных этапах порождены независимыми случайными причинами, поскольку они возникают в непересекающиеся интервалы времени. Тогда вероятность  $P$  успешного выполнения разработки равна произведению вероятностей успешного выполнения этапов (мультипликативная составляющая модели):  $P = P_1 P_2 \dots P_8$ . Следовательно, оценка  $Q$  суммарного риска  $R$ , т.е. вероятность невыполнения разработки в заданный срок, равна  $Q = 1 - P = 1 - P_1 P_2 \dots P_8$ .

Будем применять аддитивно-мультипликативную модель с  $m = 8$ . На каждом этапе выделим частные риски  $R_{ij}$  второго порядка, всего 44 вида рисков (табл.3).

Таблица 3. Риски по этапам и экспертные оценки весовых коэффициентов

№ п/п	Виды частных рисков по этапам	Оценки экспертов
	<b>1. Концепция</b>	
1	$R_{11}$ – риск неверного технического решения (глобального, т.е. для изделия в целом)	10
2	$R_{21}$ – риск персонала (риск срыва работ из-за организационных проблем внутри НИИ)	10
3	$R_{31}$ – внешний риск (срыв работ по причинам, лежащим вне НИИ)	80
	<b>2. Разработка технического проекта</b>	
4	$R_{12}$ – риск неверных технических решений (локальных, т.е. для отдельных блоков)	5
5	$R_{22}$ – риск недостаточно высокого качества подготовки проекта	20
6	$R_{32}$ – риск недостатка ресурсов (временных, кадровых, материальных, финансовых)	10
7	$R_{42}$ – организационный риск (из-за организационных проблем внутри предприятия)	5
8	$R_{52}$ – внешний риск	60
	<b>3. Разработка рабочей документации</b>	
9	$R_{13}$ – риск ошибок при реализации технических решений	5
10	$R_{23}$ – риск недостаточно высокого качества подготовки документации	10
11	$R_{33}$ – риск недостатка ресурсов (кадровых, компьютерных, временных и др.)	35
12	$R_{43}$ – риски, связанные с невыполнением обязательств смежниками и субподрядчиками	25
13	$R_{53}$ – организационный риск (риск срыва работ из-за плохой их организации)	10
14	$R_{63}$ – внешний риск (кроме причин, указанных при описании рисков $R_{43}$ )	15
	<b>4. Изготовление опытного образца</b>	
15	$R_{14}$ – риск ошибок при изготовлении деталей и блоков	5
16	$R_{24}$ – риск ошибок при сборке	10
17	$R_{34}$ – риск недостатка ресурсов (станочного парка, кадровых, компьютерных, временных и др. ресурсов)	35
18	$R_{44}$ – риски, связанные с невыполнением обязательств смежниками и субподрядчиками	25
19	$R_{54}$ – организационный риск (риск срыва работ из-за плохой их организации)	5
20	$R_{64}$ – риск, вызванный действиями поставщиков сырья,	15

	комплектующих, материалов (низкое качество, нарушение сроков)	
21	$R_{74}$ – внешний риск (по другим причинам)	5
	<b>5. Наземная отработка (испытания)</b>	
22	$R_{15}$ – риск ошибок из-за нарушения работы испытательного оборудования	10
23	$R_{25}$ – риск ошибок испытателей	10
24	$R_{35}$ – риск недостатка ресурсов	60
25	$R_{45}$ – организационный риск (риск срыва работ из-за плохой их организации)	5
26	$R_{55}$ – внешний риск	15
	<b>6. Корректировка документации</b>	
27	$R_{16}$ – риск ошибок при корректировке документации	5
28	$R_{26}$ – риск недостаточно высокого качества подготовки документации	15
29	$R_{36}$ – риск недостатка ресурсов (кадровых, компьютерных, временных и др.)	50
30	$R_{46}$ – организационный риск (риск срыва работ из-за плохой их организации)	10
31	$R_{56}$ – внешний риск	20
	<b>7. Летные испытания и доработка документации</b>	
32	$R_{17}$ – риск ошибок из-за нарушения работы испытательного оборудования	5
33	$R_{27}$ – риск ошибок испытателей (человеческий фактор)	10
34	$R_{37}$ – риск недостатка ресурсов	25
35	$R_{47}$ – организационный риск (риск срыва работ из-за плохой их организации)	10
36	$R_{57}$ – «риск машины»	10
37	$R_{67}$ – «риск среды»	10
38	$R_{77}$ – внешний риск (по другим причинам)	30
	<b>8. Запуск</b>	
39	$R_{18}$ – риск дефектности изделия;	5
40	$R_{28}$ – риск дефектности оборудования (на стартовом столе и в ЦУПе);	10
41	$R_{38}$ – группа факторов риска «Человек»	30
42	$R_{48}$ – группа факторов риска «Машина»	10
43	$R_{58}$ – группа факторов риска «Среда»	15
44	$R_{68}$ – внешний риск (по другим причинам)	30

Оценки рисков по этапам и суммарного риска будем давать с помощью описанной выше в п.2 аддитивно-мультипликативной модели,

используя лингвистические оценки  $X_{ij}$  рисков  $R_{ij}$  с шестью градациями, которым придаются числовые значения 0, 1, 2, 3, 4, 5. Соответствие между значениями лингвистических переменных и интервалами вероятностей приведено в разд.2.

Для оценки рисков по этапам в соответствии с формулой (4) необходимо использовать коэффициенты весомости (важности)  $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik(i)}$  факторов риска второго порядка. Эти коэффициенты были получены по результатам специально организованного экспертного опроса. По каждому из восьми этапов экспертам предлагалось распределить 100 баллов по видам рисков, в соответствии с их влиянием на риск по этапу. Ответы экспертов оказались достаточно хорошо согласованными, и в табл.1 в столбце «Оценки экспертов» приведены итоговые значения - медианы ответов экспертов.

В соответствии с п.2 сумма коэффициентов весомости (важности)  $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik(i)}$  должна равняться 0,2. Поэтому эти коэффициенты были получены путем деления соответствующих итоговых экспертных оценок на 500. Например оценка 5 переходит в 0,01, оценка 15 – в 0,03, и т.д. Численные значения коэффициентов весомости приведены в табл.2 в столбце «Веса  $A_{ij}$ ».

Другой экспертный опрос дал возможность получить лингвистические оценки рисков  $X_{ij}$  для двух проектов (табл.4).

Таблица 4. Поэтапные и суммарные оценки рисков при разработке РКТ

№ п/п	Риски $R_{ij}$	Весы $A_{ij}$	Проект 1		Проект 2	
			Оценки рисков $X_{ij}$	Вклад $A_{ij}X_{ij}$	Оценки рисков $X_{ij}$	Вклад $A_{ij}X_{ij}$
<b>1. Концепция (<math>i = 1</math>)</b>						
1	$R_{11}$	0,02	3	0,06	2	0,04
2	$R_{21}$	0,02	1	0,02	1	0,02
3	$R_{31}$	0,16	1	0,16	0	0
Оценка $Q_1$ риска невыполнения в срок этапа 1				0,24		0,06
Вероятность успешного выполнения этапа $P_1$				0,76		0,94
<b>2. Разработка технического проекта (<math>i = 2</math>)</b>						
4	$R_{12}$	0,01	2	0,02	3	0,03
5	$R_{22}$	0,04	0	0	1	0,04
6	$R_{32}$	0,02	1	0,02	0	0
7	$R_{42}$	0,01	0	0	0	0
8	$R_{52}$	0,12	1	0,12	0	0
Оценка $Q_2$ риска невыполнения в срок этапа 2				0,16		0,07
Вероятность успешного выполнения этапа $P_2$				0,84		0,93
<b>3. Разработка рабочей документации (<math>i = 3</math>)</b>						
9	$R_{13}$	0,01	3	0,03	1	0,01
10	$R_{23}$	0,02	1	0,02	1	0,02
11	$R_{33}$	0,07	1	0,07	0	0
12	$R_{43}$	0,05	1	0,05	0	0
13	$R_{53}$	0,02	0	0	2	0,04
14	$R_{63}$	0,03	0	0	0	0
Оценка $Q_3$ риска невыполнения в срок этапа 3				0,17		0,07
Вероятность успешного выполнения этапа $P_3$				0,83		0,93
<b>4. Изготовление опытного образца (<math>i = 4</math>)</b>						
15	$R_{14}$	0,01	4	0,04	1	0,01
16	$R_{24}$	0,02	2	0,04	0	0
17	$R_{34}$	0,07	1	0,07	0	0
18	$R_{44}$	0,05	1	0,05		

19	$R_{54}$	0,01	0	0	2	0,01
20	$R_{64}$	0,03	2	0,06	1	0,03
21	$R_{74}$	0,01	0	0	1	0,01
Оценка $Q_4$ риска невыполнения в срок этапа 4					0,26	0,06
Вероятность успешного выполнения этапа $P_4$					0,74	0,94
<b>5. Наземная отработка (испытания) (<math>i = 5</math>)</b>						
22	$R_{15}$	0,02	1	0,02	1	0,02
23	$R_{25}$	0,02	2	0,04	1	0,02
24	$R_{35}$	0,12	2	0,24	0	0
25	$R_{45}$	0,01	0	0	1	0,01
26	$R_{55}$	0,03	1	0,03	0	0
Оценка $Q_5$ риска невыполнения в срок этапа 5					0,33	0,05
Вероятность успешного выполнения этапа $P_5$					0,67	0,95
<b>6. Корректировка документации (<math>i = 6</math>)</b>						
27	$R_{16}$	0,01	0	0	1	0,01
28	$R_{26}$	0,03	2	0,06	0	0
29	$R_{36}$	0,10	1	0,10	0	0
30	$R_{46}$	0,02	1	0,02	1	0,02
31	$R_{56}$	0,04	1	0,04	0	0
Оценка $Q_6$ риска невыполнения в срок этапа 6					0,22	0,03
Вероятность успешного выполнения этапа $P_6$					0,78	0,97
<b>7. Летные испытания и доработка документации (<math>i = 7</math>)</b>						
32	$R_{17}$	0,01	1	0,01	0	0
33	$R_{27}$	0,02	3	0,06	1	0,02
34	$R_{37}$	0,05	2	0,10	0	0
35	$R_{47}$	0,02	0	0	0	0
36	$R_{57}$	0,02	2	0,04	1	0,02
37	$R_{67}$	0,02	2	0,04	1	0,02
38	$R_{77}$	0,06	2	0,12	0	0
Оценка $Q_7$ риска невыполнения в срок этапа 7					0,37	0,06
Вероятность успешного					0,63	0,94

выполнения этапа $P_7$						
<b>8. Запуск (<math>i = 8</math>)</b>						
39	$R_{18}$	0,01	1	0,01	2	0,02
40	$R_{28}$	0,02	0	0	0	0
41	$R_{38}$	0,06	2	0,12	0	0
42	$R_{48}$	0,02	1	0,02	0	0
43	$R_{58}$	0,03	2	0,06	1	0,03
44	$R_{68}$	0,06	1	0,06	0	0
Оценка $Q_8$ риска невыполнения в срок этапа 8				0,27		0,05
Вероятность успешного выполнения этапа $P_8$				0,73		0,95
Вероятность $P = P_1 P_2 \dots P_8$ успешного выполнения проекта				0,094		0,629
Оценка $Q = 1 - P$ риска $R$ , т.е. вероятность невыполнения проекта в срок				0,906		0,371

Согласно табл.4 вероятность выполнения в срок проекта 1 равна 0,094, т.е. это событие маловероятно (чуть менее 1 шанса из 10). Для этого проекта вероятности успешного выполнения этапов не малы - меняются от 0,63 до 0,84 (т.е. оценки рисков составляют от 0,16 до 0,37). Накапливаясь от этапа к этапу, оценка риска возрастает до явно недопустимого значения 0,906.

Для проекта 2 вероятности успешного выполнения этапов близки к 1 – меняются от 0,93 до 0,97 (т.е. оценки рисков составляют от 0,03 до 0,07). Тем не менее, накапливаясь от этапа к этапу, оценка риска возрастает до заметного значения 0,371, соответственно вероятность успешного выполнения проекта 2 (т.е. в срок) заметно меньше 1 и составляет 0,629 (несколько менее 2 шансов из 3).

## **6. О дальнейшем развитии аддитивно-мультипликативной модели**

С помощью АМ-модели, построенной на начальных этапах выполнения проекта (например, на этапе 1 «Концепция»), можно выделить факторы риска, вносящие наибольший вклад в суммарный риск. Управленческие воздействия, направленные на снижение соответствующих рисков, могут оказаться наиболее полезными для снижения суммарного риска. Так, согласно данным табл.4, для проекта 1 из рисков по этапам наибольшим является риск (с оценкой 0,37), соответствующий этапу 7 «Летные испытания и доработка документации», а для проекта 2 – риск (с оценкой 0,07), соответствующий этапу 3 «Разработка рабочей документации». Именно на эти этапы целесообразно обратить наибольшее внимание при управлении проектами. Согласно данным табл.4, отдельные риски второго порядка вносят в риски по этапам заметно больший вклад, чем другие виды рисков на тех же этапах. Так, для проекта 2 в риск на этапе 3 «Разработка рабочей документации» наибольший вклад (0,04 из 0,07, т.е. больше половины) вносит риск  $R_{53}$  - организационный риск (риск срыва работ из-за плохой их организации). Для проекта 1 в риск на этапе 7 «Летные испытания и доработка документации» наибольший вклад вносят риски  $R_{37}$  (риск недостатка ресурсов) и  $R_{77}$  (внешний риск) - 0,10 и 0,12 соответственно из оценки риска на этапе 0,37. На других этапах также можно выделить риски второго порядка, которые вносят в риски по этапам основной вклад. Так, для проекта 1 в риск на этапе 5 «Наземная отработка (испытания)» (оценка риска на этапе 0,33) наибольший вклад вносит риск  $R_{35}$  – риск недостатка ресурсов с оценкой 0,24 (более 70% от риска на этапе). Таким образом, можно выделить риски, управленческие воздействия на которые могут в наибольшей степени снизить общий риск.

Предположим, что известна стоимость реализации тех или иных управленческих решений. На основе АМ-модели можно рассчитать эффективность набора управленческих решений, т.е. снижение риска в результате применения этого набора. Согласно АМ-модели риск оценивается числом от 0 до 1. Более продвинутое исследование может дать возможность финансовой оценки рисков (в частности, потерь от реализации рискованных ситуаций и затрат на ликвидацию последствий). Решая задачу оптимизации, при заданном бюджете на снижение рисков находим наилучший набор управленческих решений, а также решаем двойственную задачу – определяем величину финансовых вложений, необходимых для снижения риска на заданную величину и в дальнейшем поддержания приемлемого уровня риска. Такой подход аналогичен примененному при разработке автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий [14].

Для реализации описанного направления развития АМ-модели необходимо внести в модель информацию о последствиях невыполнения очередного этапа в ходе разработки РКТ. Можно оценивать накопленный риск на основе накопленной вероятности выполнения первых  $m$  этапов:  $P = P_1 P_2 \dots P_k$ , где  $k$  последовательно принимает значения 1, 2, 3, ...,  $m$ . Если вероятность  $P$  достаточно близка к 1, нет необходимости дополнять АМ-модель. Такая необходимость возникает, если вероятность  $P$  становится ниже определенного порога (заданного экспертно).

Что произойдет, если очередной этап не будет выполнен? Согласно предлагаемой здесь *простейшей модели* этап будет повторен и выполнен полностью. Тогда разработка РКТ идет по одной из следующих траекторий:

1) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8

2) 1 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8

3) 1 – 2 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8

- 4) 1 – 1 - 2 – 2 – 3 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 5) 1 – 2 – 3 – 3 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 6) 1 – 1 - 2 – 3 - 3 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 7) 1 – 2 – 2 - 3 – 3 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 8) 1 – 1 - 2 – 2 – 3 - 3 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 9) 1 – 2 – 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 10) 1 – 1 - 2 – 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 11) 1 – 2 – 2 - 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 12) 1 – 1 - 2 – 2 – 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 13) 1 – 2 – 3 – 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 14) 1 – 1 - 2 – 3 - 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 15) 1 – 2 – 2 - 3 – 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8
- 16) 1 – 1 - 2 – 2 – 3 - 3 – 4 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8

И т.д. (всего  $2^8 = 256$  возможных траекторий). Вероятность каждой из этих траекторий может быть вычислена на основе данных табл.4. Поскольку известны оценки финансовых, временных и иных ресурсов для выполнения отдельных этапов, можно рассчитать необходимые ресурсы для каждой из траекторий, а затем построить функции распределения необходимых ресурсов и их характеристики (математическое ожидание, медиану, дисперсию, квантили...). Отметим, что согласно простейшей модели общий расход ресурсов увеличивается не более чем в 2 раза.

В связи с дальнейшим развитием АМ-модели отметим, что в разд.2 предложены модели на основе теории нечеткости и интервальных чисел. Одним из направлений развития является дальнейшая разработка процедур сбора и анализа экспертных оценок. Необходимо изучить устойчивость выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок АМ-модели [15, 16].

## Литература

1. Орлов А.И. Теория принятия решений. – М.: Экзамен, 2006. – 576 с.
2. Орлов А.И., Пугач О.В. Подходы к общей теории риска // Управление большими системами. Вып. 40. 2012. С.49-82.
3. Орлов А.И. Современное состояние контроллинга рисков / А.И. Орлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 32 – 64. – IDA [article ID]: 0981404003. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/03.pdf>
4. Орлов А.И. Менеджмент: организационно-экономическое моделирование. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. - 475 с.
5. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика. Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с.
6. Орлов А.И., Рухлинский В.М., Шаров В.Д. Экономическая оценка рисков при управлении безопасностью полетов // Материалы I Международной конференции «Стратегическое управление и контроллинг в некоммерческих и публичных организациях: фонды, университеты, муниципалитеты, ассоциации и партнерства»: выпуск №1 / Под научн. ред. С.Л. Байдакова и С.Г. Фалько. – М.: НП «ОК», 2011. – С.108-114.
7. Орлов А.И. Вероятность и прикладная статистика: основные факты: справочник. – М.: КноРус, 2010. – 192 с.
8. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Ч.2. Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
9. Пугач О.В. Математические методы оценки рисков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т.79. №7. С.64–69.
10. Орлов А.И., Цисарский А.Д. Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – №43(232). – С.37 – 46.
11. Орлов А.И., Семенов П.М., Жихарев В.Н., В.А. Цупин В.А. Методология оценки рисков реализации инновационных проектов // Управление большими системами. Материалы Международной научно-практической конференция (22-26 сентября 1997 г., Москва, Россия). - М.: СИНТЕГ, 1997. – С. 109 – 109.
12. Вологжанина С.А., Орлов А.И. Об одном подходе к оценке рисков для малых предприятий (на примере выполнения инновационных проектов в ВУЗах). - Подготовка специалистов в области малого бизнеса в высшей школе. Сборник научных статей. - М.: Изд-во ООО "ЭЛИКС +", 2001. – С.40-53.
13. Орлов А.И. Эконометрика. - М.: Экзамен, 2004. – 576 с.
14. Хрусталева С.А., Орлов А.И., Шаров В.Д. Оценка эффективности управленческих решений в автоматизированной системе прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Том 14. №4(2). С.535-539.
15. Орлов А.И. Устойчивые математические методы и модели // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2010. Т.76. №3. С.59-67.
16. Орлов А.И. Новый подход к изучению устойчивости выводов в математических моделях / А.И. Орлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №06(100). С. 1 – 30. – IDA [article ID]: 1001406001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/01.pdf>

## References

1. Orlov A.I. Teorija prinjatija reshenij. – M.: Jekzamen, 2006. – 576 s.
2. Orlov A.I., Pugach O.V. Podhody k obshhej teorii riska // Upravlenie bol'shimi sistemami. Vyp. 40. 2012. S.49-82.
3. Orlov A.I. Sovremennoe sostojanie kontrollinga riskov / A.I. Orlov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №04(098). S. 32 – 64. – IDA [article ID]: 0981404003. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/03.pdf>
4. Orlov A.I. Menedzhment: organizacionno-jekonomicheskoe modelirovanie. – Rostov-na-Donu: Feniks, 2009. - 475 s.
5. Orlov A.I., Lucenko E.V. Sistemnaja nechetkaja interval'naja matematika. Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar, KubGAU. 2014. – 600 s.
6. Orlov A.I., Ruhlinskij V.M., Sharov V.D. Jekonomicheskaja ocenka riskov pri upravlenii bezopasnost'ju poletov // Materialy I Mezhdunarodnoj konferencii «Strategicheskoe upravlenie i kontrolling v nekommercheskih i publicnyh organizacijah: fondy, universitety, municipalitety, associacii i partnerstva»: vypusk №1 / Pod nauchn. red. S.L. Bajdakova i S.G. Fal'ko. – M.: NP «OK», 2011. – S.108-114.
7. Orlov A.I. Verojatnost' i prikladnaja statistika: osnovnye fakty: spravocnik. – M.: KnoRus, 2010. – 192 c.
8. Orlov A.I. Organizacionno-jekonomicheskoe modelirovanie. Ch.2. Jekspertnye ocenki. – M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2011. – 486 c.
9. Pugach O.V. Matematicheskie metody ocenki riskov // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. 2013. T.79. №7. S.64–69.
10. Orlov A.I., Cisarskij A.D. Osobennosti ocenki riskov pri sozdanii raketno-kosmicheskoy tehniki // Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'. – 2013. – №43(232). – S.37 – 46.
11. Orlov A.I., Semenov P.M., Zhiharev V.N., V.A. Cupin V.A. Metodologija ocenki riskov realizacii innovacionnyh proektov // Upravlenie bol'shimi sistemami. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencija (22-26 sentjabrja 1997 g., Moskva, Rossija). - M.: SINTEG, 1997. – C. 109 – 109.
12. Vologzhanina S.A., Orlov A.I. Ob odnom podhode k ocenke riskov dlja malyh predpriyatij (na primere vypolnenija innovacionnyh proektov v VUZah). - Podgotovka specialistov v oblasti malogo biznesa v vysshej shkole. Sbornik nauchnyh statej. - M.: Izd-vo OOO "JeLIKS +", 2001. – S.40-53.
13. Orlov A.I. Jekonometrika. - M.: Jekzamen, 2004. – 576 s.
14. Hrustalev S.A., Orlov A.I., Sharov V.D. Ocenka jeffektivnosti upravlencheskih reshenij v avtomatizirovannoj sisteme prognozirovaniya i predotvrashheniya aviacionnyh proisshestvij // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2012. Tom 14. №4(2). S.535-539.
15. Orlov A.I. Ustojchivye matematicheskie metody i modeli // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. 2010. T.76. №3. S.59-67.
16. Orlov A.I. Novyj podhod k izucheniju ustojchivosti vyvodov v matematicheskijh modeljah / A.I. Orlov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №06(100). S. 1 – 30. – IDA [article ID]: 1001406001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/01.pdf>