

ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

658.5

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКОВ В ПРОЦЕССЕ МЕЖФИРМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

асп. Е. Н. ГОРЛАЧЕВА

Рассмотрены риски, возникающие при выполнении высокотехнологичного проекта. Показано, что межфирменное взаимодействие предприятий машиностроительного комплекса позволяет снизить риски. Предложена математическая модель оценки рисков высокотехнологичного проекта при его выполнении группой предприятий машиностроительного комплекса.

Практика показывает, что неопределенность и риск при производстве нового изделия очень высоки. Около 90% технологических разработок, основанных на результатах НИОКР различных предприятий, никогда не становятся коммерческим проектом. Риск, связанный с НИОКР, может быть в высокой степени распределен. Непонимание этого фактора и обуславливает существующее предубеждение против проектов НИОКР. Менеджеры также могут воздействовать на уровень риска, влияя на распределение денежных поступлений от проекта. К сожалению, многие проекты рассматриваются только с позиции наиболее вероятных оценок денежных потоков, когда игнорируется асимметрия или перекоп окупаемости. Такая практика занижает оценку истинной стоимости проекта на тех стадиях, когда будущие действия руководства могли бы увеличить прибыли или снизить возможные потери. Таким образом, оценка риска – это точечная или интервальная оценка вероятности, по статистическим данным или экспертным способом. В таком, случае для управления риском задают ограничения на вероятность нежелательных событий.

Методы оценки риска основываются на методах математического моделирования. Широко применяются два вида методов – статистические, полученные путем использования эмпирических данных, и экспертные, опирающиеся на мнения и интуицию специалистов.

Проблема управления рисками существует во всех секторах экономики, однако наибольшую актуальность данная проблема имеет в машиностроительной отрасли, так как высоки риски инвестирования в промышленное производство. Несмотря на большое количество работ посвященных проблемам рисков [1-4], в них в должной мере не рассмотрены конкретные методы комплексной оценки рисков на этапах проектирования новых изделий. В настоящей работе

предложена методика оценки рисков проекта, основанной на теории вероятностей и теории графов.

Рассмотрим момент, когда в процессе технологических инноваций следует принимать решение, исходы которого Θ_j принадлежат множеству Ω , т. е. $\Theta_j \in \Omega$. Например, выбор технологии из двух или более возможных. Доходы и издержки могут быть описаны лишь вероятностно [5]. Пусть P - данное вероятностное распределение параметра Θ . При всяком решении $d \in \tilde{D}$ средний ущерб $\rho(P, d)$ называемый риском (d - отдельное решение, $d \in \tilde{D}$), определяется следующим образом:

$$\rho(P, d) = \int_{\Omega} L(\Theta, d) dP(\Theta). \quad (2.33)$$

Известно, что для всякого распределения P параметра Θ байесовский риск $\rho^*(P)$ определяется как точная нижняя грань риска $\rho(P, d)$ по всем решениям $d \in \tilde{D}$

$$\rho^*(P) = \inf_{d \in \tilde{D}} \rho(P, d). \quad (2.34)$$

Соответственно каждое решение d^* , риск которого равен байесовскому риску, называется байесовским решением, причем всякое байесовское решение будет оптимальным для лица принимающего решение, поскольку при этом риск минимален [5]. В принципе, возможно, что ни одно из решений из множества \tilde{D} не будет байесовским, т.е. когда нижняя грань в (2.34) не достигается ни при каком решении $d \in \tilde{D}$. В этом случае следует выбирать решение $d \in \tilde{D}$ для которого риск $\rho(P, d)$ мало отличается от байесовского, т.е. предполагается, что для всех рассматриваемых P байесовский риск $\rho^*(P)$ достигается для некоторого решения $d \in \tilde{D}$.

Учитывая, что принятие решений проводится на основе компьютерного эксперимента, такое допущение справедливо. В самом деле, если известны вероятности $P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_n)$ до опыта (априорно) и требуется определить апостериорные вероятности, представляющие собой условные вероятности $P(B_1/A), P(B_2/A), \dots, P(B_n/A)$, причем событие A появляется совместно с каким либо из полной группы несовместных событий, используют формулу Байеса:

$$P(B_j/A) = \frac{P(B_j)P(A/B_j)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(A/B_j)} \quad (2.35)$$

Однако, для того что бы оценить риск на каждом из этапов, необходимо провести квалификацию рисков, оценку каждого из них, определить взаимосвязь, а затем оценить суммар-

ный риск, для этого можно использовать методику приближенного определения условной вероятности коррелированных случайных величин, приведенную ниже.

Проанализируем процесс разработки и производства некоторого высокотехнологичного наукоёмкого изделия. Для реализации этого проекта, реализуемого в рамках созданного стратегического альянса нескольких предприятий, потребуется использование m предприятий, обладающих n технологиями, реализуя отдельную часть проекта, а сам проект характеризуется l рисками, которые представляют собой множество случайных величин, в общем случае коррелированных между собой. С учетом высокой рискованности реализации наукоёмких проектов проблема определения его риска очень актуальна. Однако на пути ее решения возникает ряд существенных затруднений: основное — это отсутствие математических моделей для рисков конкретных проектов. Для того, чтобы управлять рисками, надо знать цель управления и иметь возможность влиять на те характеристики риска, которые определяют степень достижения цели.

Обычно можно выделить множество допустимых управляющих воздействий, описываемое с помощью соответствующего множества параметров управления. Тогда возможность влиять на те характеристики риска, которые определяют степень достижения цели, формализуется как выбор значения управляющего параметра. Основная проблема — корректная формулировка цели управления рисками. Поскольку существует целый спектр различных характеристик риска (например, если потери от риска моделируются случайной величиной), то оптимизация управления риском сводится к решению задачи многокритериальной оптимизации. На практике ведется, как правило, оценка отдельных рисков и затем делаются выводы, которые имеют весьма субъективный характер.

Рассмотрим способы оценки и снижения рисков высокотехнологичных проектов в предположении, что для каждого из рисков могут быть найдены функции распределения плотности вероятности его параметров и из условий возможности выполнения проекта определены области допустимых значений, в которых должны находиться параметры этих рисков. Для этого необходимо провести: 1) оценку вероятности общего риска наукоёмкого высокотехнологичного проекта, учитывающая, что проект — единая система с взаимно влияющими параметрами технологических процессов для m предприятий, необходимых для реализации проекта в целом; 2) поиск такого сочетания входящих технологий, чтобы риск реализации проекта был минимален, а прибыль от него максимальна.

Для решения второй задачи можно использовать стандартные методы, а решение первой задачи рассмотрим подробнее.

Представим проект как некоторое множество Ω технологий стратегического альянса предприятий, характеризующихся рисками. Системой подмножеств θ множества Ω будем считать подмножества, образованные случайными рисками для одного предприятия. Относительно структуры этой системы сделаем следующие предположения:

1) если A_1, A_2 — произвольная счетная последовательность множества из θ , то их сумма $\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i$ и пересечение $\bigcap_{i=1}^{\infty} A_i$ также принадлежат θ ; 2) наряду с каждым множеством A система θ содержит и его дополнение A .

Любой высокотехнологичный наукоёмкий проект характеризуется набором некоторых базовых технологий для реализующих его предприятий, значения рисков реализации, которых задаются совокупностью составляющих рисков для отдельных частей, которые реализуются выбранными предприятиями, т. е. совокупностью подмножеств A_1, \dots, A_j множества Ω . Так как отдельный риск y , определяется отношением в новом множестве Ω_j , состоящем из подмножеств A_1, \dots, A_j , представим его в виде вершины этого множества (на рис. 1, a вершины обозначены кружками). [6]

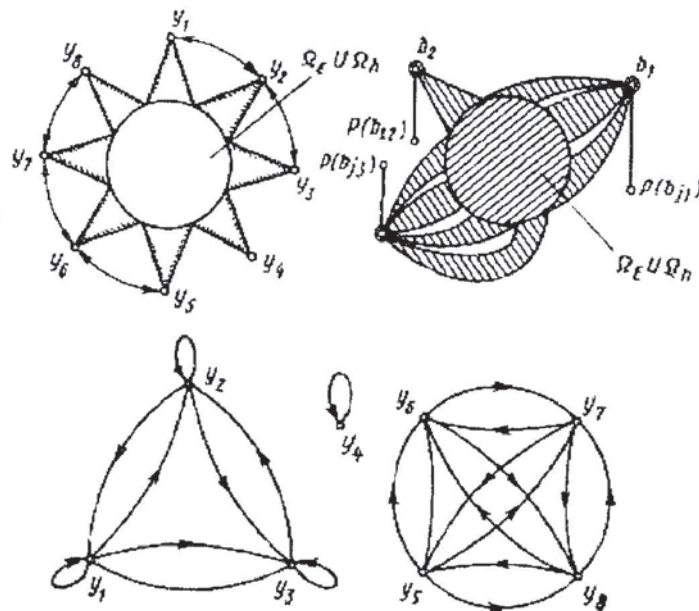


Рис. 1. Формализованное представление объекта

Количество множеств Ω_i зависит от количества рисков проекта. Они могут пересекаться и объединяться. Для проекта, выполненного на одном предприятии, все множества Ω_i будут пересекаться, по крайней мере, по двум подмножествам: оборудованию и персоналу, т. е. все множества Ω_i толерантны.

Введем определение: объединением множеств Ω_i будет являться множество Ω . Данное определение следует из того, что проект не имеет рисков, не влияющих на его экономические и технологические характеристики.

Условия выполнения высокотехнологичного проекта накладывают на его риски y_i ряд ограничений: риск должен находиться в некотором интервале значений, т. е. соответствовать полю допустимых значений; несколько рисков должны соответствовать друг другу при заданных ограничениях на границы соответствия.

Так как Ω является объединением A_i , образованным случайными входящими рисками, риск, определенный элементами множества Ω_i , также является случайной величиной. Поэтому мерой соответствия условиям выполнения проекта является вероятность их выполнения в вершине множества Ω_i , которая будет зависеть от элементов множества Ω_i и наложенных ограничений.

Первое условие функционирования (рис. 1, б) представим вершиной b_2 , второе — как совпадение b_1, b_3 вершин множеств. Если множество Ω_i имеет несколько n вершин, то его можно рассматривать как n полностью совпадающих множеств, на вершины которых наложены соответствующие ограничения.

Соответствие вершин множеств удобно записать в виде матрицы. Для этого вершины множеств Q_i запишем в строках и столбцах так, чтобы в каждом классе соответствия принадлежащие ему вершины стояли рядом. Тогда единичные элементы матрицы образуют непересекающиеся квадраты, диагонали которых расположены по главной диагонали матрицы.

Так, для случая соответствия, показанного на рис. 1 б, матрица соответствия имеет вид:

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
y_1	1	1	1	0	0	0	0	0
y_2	1	1	1	0	0	0	0	0
y_3	1	1	1	0	0	0	0	0
y_4	0	0	0	1	0	0	0	0
y_5	0	0	0	0	1	1	1	1
y_6	0	0	0	0	1	1	1	1
y_7	0	0	0	0	1	1	1	1
y_8	0	0	0	0	1	1	1	1

Целесообразно отметить, что получено дискретное пространство событий, характеризующее условие выполнения высокотехнологичного проекта. События, образующие дискретное пространство, характеризуются условиями соответствия рисков проекта: событие b_i — риск y_i находится в некотором заданном интервале значений (соответствует допустимому значению); событие b_j — параметры y_j, \dots, y_k соответствуют друг другу, т. е. имеют вероятностную меру.

Граф этой матрицы, т. е. граф соответствия, представлен на рис. 1, в.

В дальнейшем изложении объединения вершин b_1, b_2, \dots, b_i будем называть узлами. При определении вероятностной меры выполнения событий b_i и b_j для каждого узла необходимо учитывать, что риски, объединяемые в узлах, в общем случае связаны через подмножества базовых технологий, т. е. вероятность выполнения условий функционирования в узле при количестве объединяемых вершин, большем или равном двум, будет условной вероятностью:

$$\begin{aligned}
 P(b_{j_1}) &= P(y_1)P_{y_1}(y_2)P_{y_1y_2}(y_3); \\
 P(b_{j_2}) &= P(y_5)P_{y_5}(y_6)P_{y_5y_6}(y_7)P_{y_5y_6y_7}(y_8).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Поскольку предполагается, что безусловные функции распределения рисков известны (например, статистически измерены), для определения условной вероятности работоспособности в

узле необходимо найти связь между условной и безусловной вероятностью выполнения условий работоспособности для каждой вершины, входящей в узел.

Рассмотрим решение этой задачи. Из совокупности рисков, характеризующих высокотехнологичный наукоёмкий проект, реализуемый при межфирменном взаимодействии предприятий, выделим риск y_1 , на который задан допуск $\pm\Delta_1=D$ (например, риск выхода за поле допуска основного параметра изделия), а множество вершин графа соответствия преобразуем в упорядоченное. При этом не существенно, в каком порядке они будут пронумерованы, важно, чтобы нумерация сохранилась неизменной на протяжении всего рассмотрения. Считая известными безусловные функции распределения рисков в вершинах графа соответствия, найдем на их основе условные функции распределения. Пусть заданы безусловные функции распределения $W(y_1)$ и $W(y_2)$ в первой и второй вершинах и известна область допустимых значений s' , в которой удовлетворяются условия выполнения высокотехнологичного наукоёмкого проекта. Границы области (рис. 2) записываем как функцию $D_2(y_1)$ или $D_1(y_2)$.

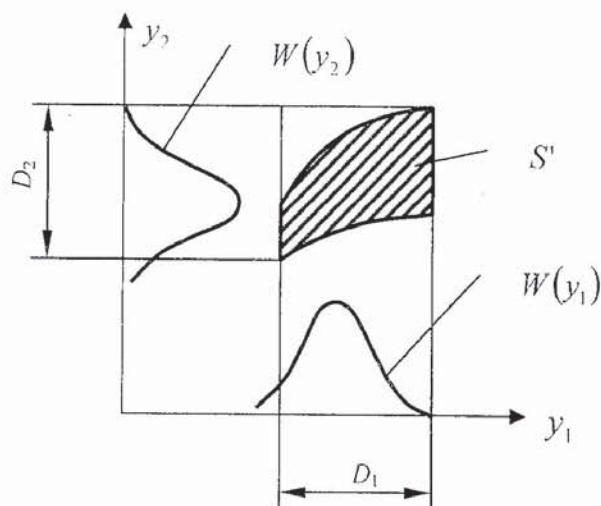


Рис.2. Законы распределения и область выполнения для двух базовых технологий высокотехнологичного проекта

Нетрудно показать, что

$$W(y_2 / y_1) = \frac{\int W(y_1) dy_1}{\iint_{s'} W(y_1) W(y_2) dy_1 dy_2} W(y_2), \quad (2)$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} W(y_2 / y_1) &= K_2(y_2; D_1) W(y_2); \\ W(y_1 / y_2) &= K_2(y_1; D_2) W(y_1). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Нахождение функций распределения условных вероятностей для всех вершин относительно исходной $W(y_2/y_1); W(y_3/y_1) \dots W(y_n/y_1)$ посредством $K_{1,2}, K_{1,3}, \dots, K_{1,n}$ удобно представить в виде связанного подграфа рис. 3.

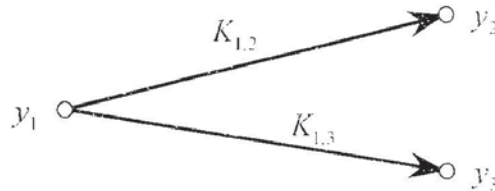


Рис.3 Связанный подграф узла

Вершинам сопоставим безусловные функции распределения плотности вероятности по соответствующему электрическому параметру y_i , а ребрам придадим вес функции связи K_i . Так как этот подграф содержит все вершины, но не содержит контуров, он является деревом с корнем y_1 ; а дерево содержит все вершины графа, поэтому оно является покрывающим деревом или остовом. Нетрудно заметить, что покрывающее дерево образуют только ребра, исходящие из y_1 вместе с инцидентными им вершинами. Для других вершин (y_2, \dots, y_n) аналогичные деревья, образованные исходящими ребрами, не будут покрывающими, что следует из понятия условной вероятности.

Из свойства (2) функции связи видно, что ребра подграфа ориентированы, их началом является исходная вершина, а направление определяется индексами вершин – $K_{1,2}, K_{1,3}, \dots, K_{1,n}$. Данное дерево является подграфом полного графа, характеризующего выполнение высокотехнологичного наукоёмкого проекта, количество вершин n которого соответствует числу рисков, а число ребер равно $1/2n(n - 1)$. В качестве примера для наглядности ограничимся пятью вершинами (рис.4).

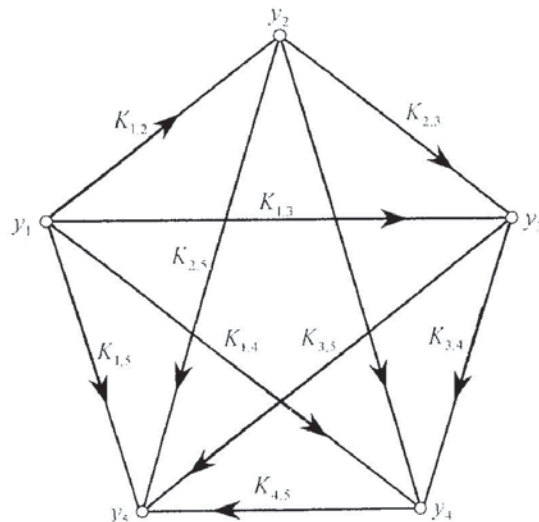


Рис. 4. Граф выполнения высокотехнологичного проекта

Граф характеризует определенные функции распределения плотности условной вероятности выполнения проекта по рискам. Для определения направлений ребер графа воспользуемся понятием направленного контура, под которым будем понимать контур с вершинами, помеченными индексами, которые соответствуют направлению и порядку обхода. Для каждой вершины ребра ориентированны так, что имеют начало во всех ранее пройденных, а конец – в рассматриваемой вершине. Это условие определено понятием условной вероятности.

Для исходной вершины y_1 вероятность выполнения проекта (безусловная) определяют из функции распределения плотности вероятности y_1 и условий выполнения проекта. Для других вершин функция распределения плотности условной вероятности — это произведение функции распределения безусловной вероятности в вершине на функции связи, соответствующие ребрам, концы которых совпадают с вершиной, имеющим направление к вершине, т. е. инцидентным ей,

вершины

$$I \rightarrow W(y_1)$$

$$II \rightarrow W(y_2)K_{12}$$

$$III \rightarrow W(y_3)K_{13}K_{23} \quad (4)$$

$$IV \rightarrow W(y_4)K_{14}K_{24}K_{34}$$

$$V \rightarrow W(y_5)K_{15}K_{25}K_{35}K_{45}$$

$$n\text{-я} \rightarrow W(y_n) \prod_{m=1}^{n-1} K_{mm}, \text{ если } K_{00}=1.$$

Данным методом могут быть найдены функции условного распределения во всех вершинах графа соответствий. На их основе определим условные вероятности выполнения проекта.

Пусть эти условия определяют область существования рисков s'_Σ , где эти условия выполняются. Условную вероятность в узле можно определить так:

$$P_y = \int_{D_1} W(y_1) dy_1 \int_{s'_\Sigma} W(y_2) K_{12} dy_2 \dots \int_{s'_\Sigma} W(y_5) K_{15} K_{25} K_{35} K_{45} dy_{15}. \quad (5)$$

Условие выполнения проекта группой предприятий в целом представляет совокупность этих узлов. Такое представление удобно для выявления наиболее критичных рисков, и позволяет определить путь оптимизации проекта в целом. На рис. 1, б вероятность выполнения условий выполнения проекта в узлах отображается отрезками прямых линий, один конец которых совпадает с соответствующим узлом, а длина отражает вероятность, ее величина откладывается в произвольном, но общем для отрезков масштабе.

Если узлы не связаны через подмножества рисков, характеризующих базовые технологии, вероятность выполнения проекта находится как произведение вероятностей в узлах. При наличии такой связи эта вероятность должна находиться как условная. В этом случае высокотехно-

логичный наукоёмкий проект представляется как совокупность проектов, выполняемых предприятиями, входящих в альянс.

Аналогично рассмотренной методике находят функцию связи и определяют условную вероятность выполнения проекта. Расчет выполняют следующим образом: 1) определяют количество "анализируемых частей проекта, их зависимости от рисков, взаимные связи через подмножества и условия соответствия; 2) находят функции распределения плотности вероятности для вершин; 3) строят граф соответствия и находят функции связи; 4) определяют условную вероятность выполнения проекта. Для расчета условной вероятности выполнения проекта используют ЭВМ.

На рис. 5 представлен граф-схема алгоритма расчета вероятности выполнения высокотехнологического наукоёмкого проекта, алгоритм предложен в работе [7].

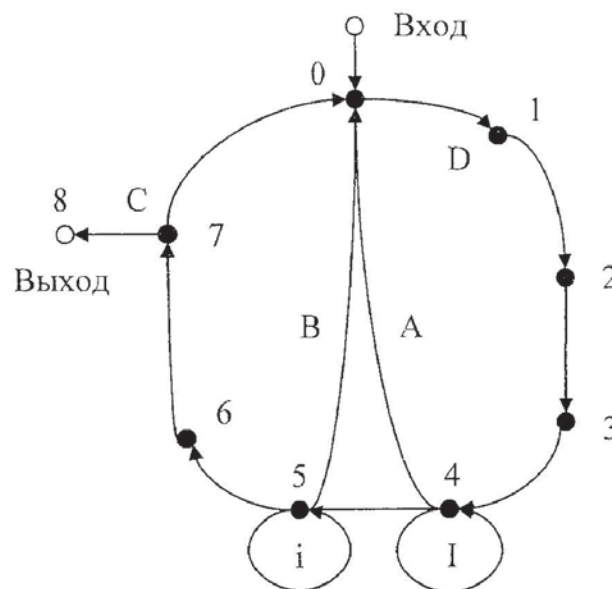


Рис.5. Граф-схема алгоритма расчета условной вероятности риска выполнения проекта.

Основой алгоритма расчета условной вероятности рисков является последовательное определение рисков при случайных значениях параметров базовых технологий. Возможность расчета условной вероятности рисков позволяет свести многокритериальную задачу к однокритериальной. Массив значений параметров базовых технологий формируется с использованием датчика случайных чисел. Для каждой реализации массива значений параметров базовых технологий рассчитывают значение риска и сравнивают с допустимым значением. Расчет ведется численным методом с применением ЭВМ по алгоритму, приведенному на рис.5. На рис.5 обозначены следующие узлы: 0 – значение количества циклов; 1 – формирование массива независимых базовых технологий (датчик случайных чисел); 2 – формирование полного массива параметров базовых технологий с учетом корреляции; 3, 5 – расчет параметров 1-й, i -й базовой технологии; 4, 6 – принятие решения о продолжении или прекращении расчетов; 7 –

накопление результатов; 8 – вывод на печать. Указаны ветви: *A*, *B* – команда на прекращение расчетов и формирование нового массива при несоответствии риска допустимому значению; *C* – команда на формирование следующего массива; *D* – команда на начало и прекращение расчетов в цикле. Контур *I*, *i* соответствуют сравнению значений риска с допустимыми ограничениями.

На входе алгоритма формируется неполный массив случайных параметров базовых технологий, с учетом коэффициентов корреляции получается полный массив значений, характеризующий данный высокотехнологичный проект, выполненный при межфирменном взаимодействии.

Если при выполнении проекта допустимо изменение базовых технологий проекта, приведенная методика позволяет определить максимальную вероятность реализации проекта для каждой из исследуемых технологий и для отдельного предприятия-участника при ограничениях на финансирование.

Таким образом, в работе предложена математическая модель, определения рисков выполнения высокотехнологичного проекта группой предприятий машиностроительного комплекса, входящих в стратегический альянс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов М.А. Риск-менеджмент. – М.: Финансы и статистика, 2001, 120 с.
2. Первозванский А. А., Первозванская А.Н. Финансовый рынок: расчет и риск. - М.: ИНФРА-М, 1994. – 192 с.
3. Бернштейн П. Против богов: Укрощение риска / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000. – 400 с.
4. Чернов В.А. Анализ коммерческого риска. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 128 с.
5. М.Де Гроот. Оптимальные статистические решения. – М.: Мир, 1974. – 491 с.
6. Гудков А.Г. Оценка рисков при реализации высокотехнологичного наукоемкого проекта. // Машиностроитель, №5, 2002, с.45-49.
7. Бушминский И.П. Технологическая оптимизация элементов и узлов приборов. // Наука производству, №6, 1998, с. 2-9.