

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## DEVELOPMENT OF METHODS AND ALGORITHMS FOR OPTIMAL DECISION-MAKING IN THE MANAGEMENT OF AN INTEGRATED SECURITY SYSTEM

A. Lubentsov  
S. Kobzisty

*Summary.* The work is devoted to the system analysis and development of methods and algorithms for solving problems of making optimal decisions on building a risk matrix and analyzing the compliance of the security system with them. To link the risk matrix of the object and the model of the security system, the objective function is determined. The conditions necessary for synthesizing the objective function are determined. An equation is postulated to minimize costs and maximize efficiency. The elements included in this equation are analyzed. Various models of forecasting the dynamics of risks are given. An original solution to the risk dynamics forecast is proposed as the application of stochastic differential equations to construct a model for predicting risk changes over time. The contribution of the influencing factor, its size is shown. It is shown that a predictive stochastic differential equation can take the meaning of the Ito or Stratonovich integral by stochastic change. Mathematical models for numerical calculation of risk dynamics with different time variability are given. Equations are proposed that allow modeling the dynamics of risks based on various natural laws that create this dynamics. The use of the cascade Method of Hierarchy Analysis proposed by the author to determine the gradations of importance of the characteristics under consideration is justified. Generalizing conclusions on the proposed models are given, recommendations for specialists in the construction of integrated security systems are given.

*Keywords:* security, integrated security systems, risk, probability of risk realization, risk dynamics, risk forecast, objective function of the security system.

**Лубенцов Александр Витальевич**

Кандидат географических наук, доцент, профессор,  
Воронежский институт ФСИИ России  
lubensov@mail.ru

**Кобзистый Сергей Юрьевич**

Кандидат технических наук, доцент,  
Воронежский институт ФСИИ России  
kobzuk@yandex.ru

*Аннотация.* Работа посвящена системному анализу и разработке методов и алгоритмов решения задач принятия оптимальных решений по построению матрицы рисков и анализу соответствия им системы безопасности. Для связи матрицы рисков объекта и модели системы безопасности определяется целевая функция. Определяются условия, необходимые для синтеза целевой функции. Постулируется уравнение, позволяющее минимизировать затраты и максимизировать эффективность. Анализируются элементы, входящие в это уравнение. Приводятся различные модели прогнозирования динамики рисков. Предлагается оригинальное решение прогноза динамики рисков как применение стохастических дифференциальных уравнений для построения модели прогноза изменения риска по времени. Показан вклад влияющего фактора, его размер. Показано, что прогностическое стохастическое дифференциальное уравнение может принимать смысл интеграла Ито или Стратоновича по стохастическому изменению. Приводятся математические модели для численного расчета динамики рисков при различной временной изменчивости. Предлагаются уравнения, позволяющие моделировать динамику рисков на основе различных природных законов, создающих эту динамику. Обосновывается использование каскадного Метода Анализа Иерархий, предложенного автором, для определения градаций важности рассматриваемых характеристик. Приводятся обобщающие выводы по предложенным моделям, приводятся рекомендации для специалистов по построению комплексных систем безопасности.

*Ключевые слова:* безопасность, комплексные системы безопасности, риск, вероятность реализации риска, динамика риска, прогноз риска, целевая функция системы безопасности.

### Введение

**В** моделях построения комплексных систем безопасности (КСБ) одна из основных задач — построение матрицы риска защищаемого объекта. Для этого необходим грамотный анализ параметров самого объекта и экспертная оценка всех возможных рисков. В настоящее время основное внимание уделяется прогнозированию и моделированию финансовых, экономических и информационных рисков. Изучение и моделирование рисков динамики остальных рисков осуществляется недостаточно, без комплексного

подхода. Целью работы является анализ и разработка модели прогноза динамики некоммерческих и информационных рисков. Для этого решаются задачи оценки эффективности комплексной системы безопасности, обосновывается применение каскадного метода анализа иерархий оцениваются модели прогнозирования коммерческих рисков.

И только после этого, на следующем шаге, можно моделировать КСБ, с параметрами, соответствующими полученной матрице.

### Анализ моделей прогнозирования динамики рисков

В [1] строятся, анализируются и испытываются модели прогнозирования показателей риска с использованием внутрисдневных данных в обобщенной системе авторегрессионных оценок. Предлагается новая структура для совместной оценки и прогнозирования динамической стоимости риска и ожидаемого дефицита. Модель создается путем включения внутрисдневной информации в обобщенную модель авторегрессионной оценки для оценки показателей риска в системе квантильной регрессии. Рассматриваются четыре внутрисдневных показателя: реализованную волатильность при 5-минутной и 10-минутной частотах выборки и доходность за ночь, включенную в эти две реализованные волатильности. В исследовании прогнозирования набор недавно предложенных полупараметрических моделей применяется к четырем международным индексам фондового рынка (S&P 500, Dow Jones Industrial Average, Nikkei 225 и FTSE 100) и сравнивается с рядом параметрических, непараметрических и полупараметрических моделей, включая исторические симуляции, обобщенную авторегрессию и гетероскедастическую — модели. Прогнозы тестируются индивидуально, а для сравнения используется функция совместных потерь. Результаты показывают, что предлагаемые модели, дополненные реализованными показателями волатильности, последовательно превосходят эталонные модели по всем индексам и различным уровням вероятности.

В [2] предлагается метод анализа динамического риска, модель прогнозирования на большие временные интервалы. В статье предлагается новый метод динамического прогнозирования, получения прогнозных оценок показателей риска для изменчивых временных рядов с длительной зависимостью. Метод основан на гетероскедастической модели временных рядов. Модель сводится к авторегрессионной модели бесконечного порядка. Для нахождения коэффициентов авторегрессии решается приведенная система уравнений Юла-Уокера. Предложена процедура оптимизации для уточнения оценок коэффициентов автокорреляции. Процедура формализована в виде многоступенчатого алгоритма. Предлагаемый метод применялся к временному ряду индекса Токийской фондовой биржи. Проведен анализ качества с использованием различных тестов, который подтвердил высокое качество полученных оценок.

В [3] постулируют, что величина риска и ожидаемый дефицит (потери) играют важную роль в управлении рисками. Приводится анализ отрицательного влияния параметров размерности, их точная оценка и прогноз в структурах с большим объемом данных. Для решения этой проблемы предлагаются две процедуры, одна из которых основана на методе фильтрованного истори-

ческого моделирования, в котором многомерные условные ковариационные матрицы оцениваются с помощью общей динамической факторной модели с бесконечномерным факторным пространством и условно гетероскедастическими факторами, а другая основана на схеме начальной загрузки на основе остатков. Результаты обратного тестирования и подсчета баллов, проведенные авторами, показывают, что как величина риска, так и ожидаемый дефицит достаточно точно оцениваются с помощью предлагаемых методов.

Проанализируем теперь основные принципы построения матрицы рисков.

### Построение целевой функции системы охраны объекта

«Целевая функция — вещественная или целочисленная функция нескольких переменных, подлежащая оптимизации (минимизации или максимизации) в целях решения некоторой оптимизационной задачи. Термин используется в математическом программировании, исследовании операций, линейном программировании, теории статистических решений и других областях математики в первую очередь прикладного характера...» [14]. Тогда в этом смысле необходимо определить параметры КСБ, условия ее построения, риски и возможные потери от них для дальнейшей оптимизации.

В современной литературе понятие риска, его сущность рассматриваются применительно к конкретной среде реализации. Основной упор сделан на коммерческие риски, имеющие более понятную структуру и финансовую оценку, на информационные риски, которым сейчас посвящено много исследований. Вопросы определения и структурирования остальных рисков в руководящих документах МВД, ФСИН проработаны недостаточно, в МЧС — только для отдельных рисков [8].

В работах [1–2] было подробно рассмотрено построение матрицы рисков для абстрактного объекта. В примерах [3] рассматривались конкретные решения по созданию систем предотвращения рисков и противодействия им. Теперь проведем системный анализ применения различных КСБ, требования к ним, их характеристики. Чтобы связать матрицу рисков объекта и модель КСБ, необходимо определить целевую функцию проектировщика [4]. При ее оптимизации необходимо минимизировать затраты на проектирование и построение и, одновременно, минимизировать возможные потери. С одной стороны, в уравнение должны входить вероятности рисков и параметры ущерба от них, стоимость создания и эксплуатации КСБ, с другой — вероятности предотвращения рисков. Тогда определим:

$T$  — период анализа;

$P(i)$  — вероятность реализации  $i$ -го риска;

$Df(i)$  — суммарные потери при реализации  $i$ -го риска;

$Pc(i)$  — вероятность противодействия  $i$ -му риску КСБ;

$Cc(i)$  — стоимость создания  $i$ -го элемента КСБ;

$Co(i)T$  — стоимость эксплуатации  $i$ -го элемента КСБ в течении периода  $T$ .

Мы заинтересованы в достижении минимального экстремума ( $P(i)Df(i)$ ) и ( $Cc(i) + Co(i)T$ ) и максимального экстремума ( $Pc(i)Df(i)$ ) вне зависимости от формата финансовой оценки.

Тогда целевая функция для  $i$ -го риска будет выглядеть следующим образом:

$$(Pc(i)Df(i)) - ((P(i)Df(i)) + (Cc(i) + Co(i)T)) \geq 0. (1)$$

Т.е. наши затраты на синтез КСБ и возможные потери не должны превышать рассчитанную выгоду от предотвращения риска.

#### Моделирование временной динамики некоммерческих рисков

Рассмотрим риск возникновения пожара, как самый распространенный и понятный. В соответствии с руководящими документами МЧС «Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если он меньше  $10^{-6}$  год $^{-1}$ .» Все расчеты данной методики направлены на выбор наихудшего сценария из нескольких произвольных. Все возможные нестандартные сценарии игнорируются. «Сценарии пожара, не реализуемые при нормальном режиме эксплуатации объекта (теракты, поджоги, хранение горючей нагрузки, не предусмотренной назначением объекта и т.д.), не рассматриваются» [5]. Кроме того, расчет пожарных рисков проводится сертифицированными организациями, но сроки установлены не четко, допускают двоякое толкование. В то же время, большинство рисков имеют характер, совмещающий элементы случайного события и случайного процесса. Вероятность проявления большинства рисков — величина переменная. И если с маловероятными рисками все понятно, мы их игнорируем, то вероятность реальных рисков меняется с течением времени. Например, риск возникновения пожара зависит от многих переменных факторов: возраста электропроводки, ее состояния, возникающих повреждений, педантичности руководства объекта, уровня разгильдяйства сотрудников и т.д. На протяжении 5 лет, определенных в большинстве документов МЧС, факторы, влияющие на вероятность риска, меняются многократно, возникают новые. Таким образом, можно сделать вывод, что вероятность  $i$ -го риска — величина переменная, в каждый момент времени зависящая от  $N$  факторов. Тогда в момент  $t_0$  на-

чала анализа  $i$ -го риска его вероятность определяется суммой вероятностей для каждого влияющего фактора:

$$P(i, t_0) = \sum_{n=1}^N P(i, t_0, n) \quad (2)$$

Тогда на всем временном интервале  $T$  анализа  $i$ -го риска необходимо учесть скорость изменения вероятности риска под влиянием  $n$ -го фактора:

$$P(i, T) = \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N (P(i, t-1, n) + \partial P(i, t, n) / \partial t) \quad (3)$$

В большинстве случаев учесть все факторы, влияющие на вероятность риска невозможно. В этом случае считается, что их влияние — белый шум, флуктуации вокруг среднего [6]. Однако, некоторые факторы можно учесть, например — старение электропроводки, старение или обновление оборудования.

Применим к модели положения теории случайных процессов, учитывая, что случайный процесс — это отображение реального пространства на вероятностное.

Первое. Процесс изменения вероятности риска — Марковский процесс. Число реализаций целочисленно и конечно, динамика процесса не зависит от предыдущих состояний, что обосновано в [6,7].

Второе. Процесс изменения вероятности риска — винеровский процесс. Изменение характеристик, влияющих на риск, происходит случайно и хаотически, что обосновано в [6,8].

Третье. Изменение вероятности риска — линейный или нелинейный дифференциальный процесс.

Моделирование таких систем с помощью детерминированных методов искажает реальную картину. Как вывод — необходимость использовать стохастическое дифференциальное уравнение (СДУ) — дифференциальное уравнение, в котором хотя бы один член имеет стохастическую сущность, являются случайным процессом [9]. Если искомая величина изменяется во времени, то процесс описывается уравнением вида:

$$\frac{dP(t, \omega)}{dt} = \frac{df(t, P(t, \omega))}{dt} \quad (4)$$

Для учета случайных флуктуаций добавляется слагаемое  $g(t, P(t, \omega)) \frac{dW(t, \omega)}{dt}$ ,

$$\frac{dP(t, \omega)}{dt} = \frac{df(t, P(t, \omega))}{dt} + g(t, P(t, \omega)) \frac{dW(t, \omega)}{dt}. \quad (5)$$

Или в интегральном виде

$$P(t, \omega) = P_0 + \int_0^t f(t, P(t, \omega)) dt + \int_0^t g(t, P(t)) dW(t, \omega), (6)$$

где второй интеграл может принимать смысл интеграла Ито или Стратоновича по стохастическому изменению (броуновскому движению) от случайного события  $W(t)$  [9,10].

Как вариант решения этого интеграла можно рассмотреть решение Ито

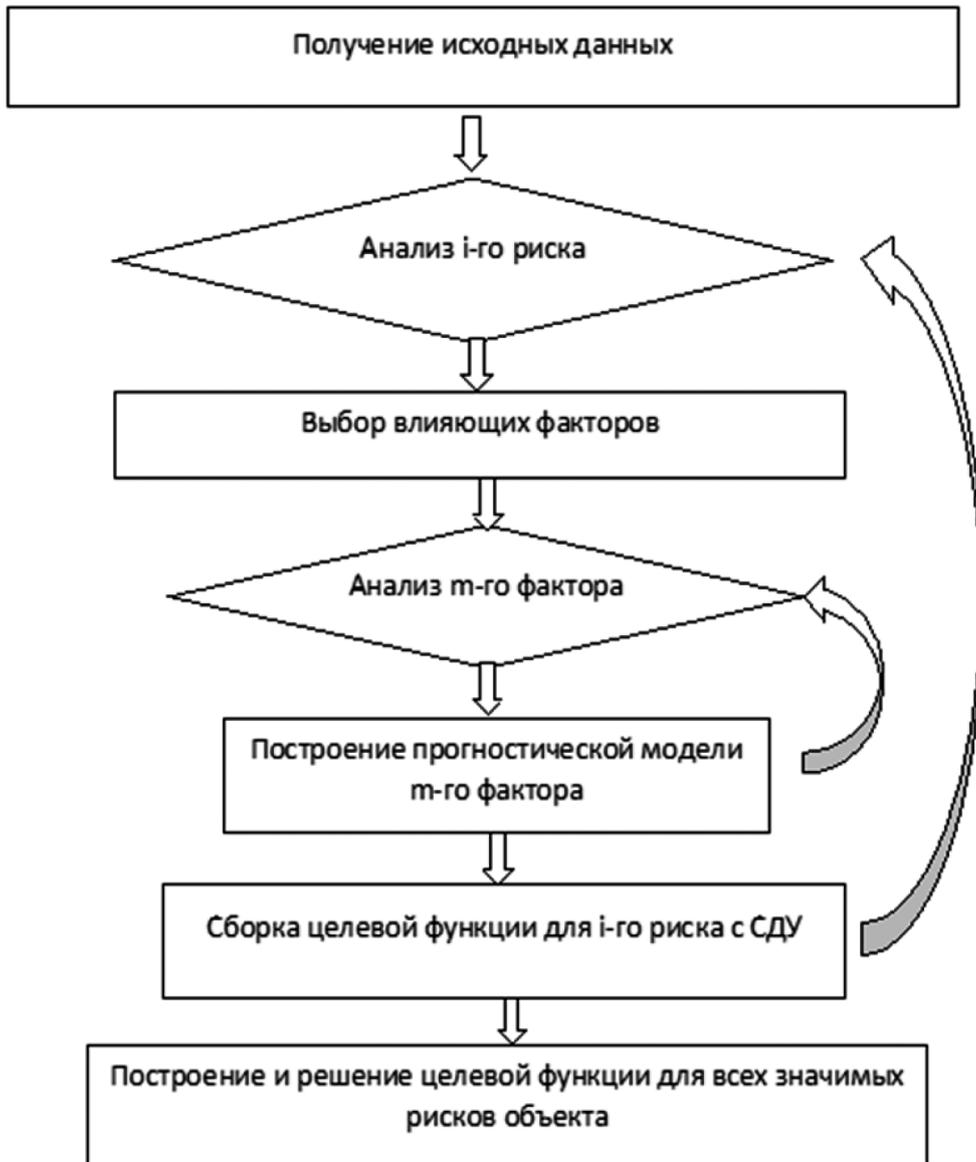
$$\int_0^t g(t, P(t, \omega)) dW(t, \omega) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \sum_{m=1}^N g(t, P(t, \omega)) (W(t_{m-1}, \omega) - W(t_m, \omega)) \Delta W_m, (7)$$

или решение Стратоновича,

$$\int_0^t g(t, P(t, \omega)) dW(t, \omega) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \sum_{m=1}^N g\left(t, P(t, \omega)\right) \frac{W(t_{m-1}, \omega) - W(t_m, \omega)}{2} \Delta W_m, (8)$$

которое ограничено в применении, требуя дифференцируемой зависимости  $g$  только от  $W$ , что редко можно доказать. Основное отличие этих интегралов в том, что первый для вычисления использует левую точку последовательности, а второй — середину отрезка [11,12].

Еще больше усложняет задачу то обстоятельство, что по большинству рисков мы не можем получить ре-



Источник: Составлено автором

Рис. 1. Схема построения целевой функции для всех рисков объекта

Таблица 1.

Модели изменения динамики риска

№	Динамика риска	Вид прогностических уравнений
1	Сложная динамика риска	$P(i, T) = \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \left( P(i, t-1, n) + \frac{\partial P(i, t, n)}{\partial t} \right)$
2	Линейная динамика риска	$P(i, T) = P(i, t-1, n) + C$
3	Сезонная динамика риска	$P(i, T) = A \cos(P(i, t-1, n) - \omega t + \varphi)$
4	Нарастающая динамика риска	$P(i, T) = P(i, t-1, n)^2 + P(i, t-1, n)$
5	Экспоненциальная динамика риска	$P(i, T) = \text{Log}_k P(i, t-1, n)$

Источник: Составлено автором

презентативную выборку, на основе которой могли бы рассчитать средние и прогностические характеристики. Вместе с тем, подстановка СДУ в анализируемую целевую функцию требует анализа возможной прогностической динамики каждого рассматриваемого риска. Решение полученного уравнения возможно численными методами, но перед этим необходимо определить влияющие факторы и спрогнозировать их вероятную динамику. Влияющий фактор,  $m$ , — тот, который способен изменить вероятность риска на существенную величину, например, более 10 %. Решение целевого уравнения представлено на Рисунке 1.

Нахождение целевой функции приводит к многокритериальной оптимизационной задаче [13]. Ее решение сильно усложняется наличием в модели не только конкретных математических параметров в (1), но и необходимость применения к ним «весов», характеризующих влияние особенностей объекта и КСБ в конкретных условиях. Они определяются в большинстве случаев с изрядной долей субъективности, с использованием статистических методов, методов теории игр или каскадного метода анализа иерархий (МАИ) [6]. Использование рассматриваемых методов нахождения целевой функции и прогнозирования динамики рисков в решении оптимизационной задачи рассматривались в [6, 7, 8].

Применение этой модели на практике показало, что динамика риска не всегда описывается дифференциальными уравнениями, каждый риск для каждого объекта надо рассматривать отдельно. Вместо дифференциальных можно использовать и другие виды уравнений, Таблица 1.

Таким образом возможно в некоторых случаях построить прогностическую матрицу рисков на определенный период, например, на год или пять лет. Это

позволит спланировать ряд мероприятий по будущей модернизации КСБ, готовясь к увеличениям вероятностей реализации рисков.

### Заключение

В работе автором предлагается методика построения целевой функции пользователя КСБ объекта и прогноза динамики рисков на основе СДУ [6].

Опираясь на проведенный анализ, можно предложить следующие выводы:

1. Перед формулированием целевой функции проектировщика КСБ необходимо оценить динамику рисков и построить матрицу рисков;
2. Изменения вероятности риска — Марковский, Винеровский и, как правило, нелинейный процесс;
3. Динамика риска описывается различными математическими моделями, зависящими от природы риска, объекта и прогнозируемой динамики объекта.

Опираясь на проведенные исследования, можно привести следующие рекомендации:

1. При разработке модели КСБ уровень привлекаемых экспертов должен соответствовать ценностному уровню рассматриваемого объекта, опасности предполагаемых рисков и сложности модели противодействия;
2. При построении целевой функции пользователя КСБ необходимо учитывать не только текущие затраты, но и предполагаемые, опираясь на оценку динамики развития объекта, рисков и КСБ;

Рассмотренные методы нашли практическое применение при реализации моделей КСБ на 9 коммерческих объектах в Центральной России, на которые получены акты внедрения [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Emese Lazar, Xiaohan Xue. Forecasting risk measures using intraday data in a generalized autoregressive. *International Journal of Forecasting* 36 (2020) 1057–1072, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ijforecast](http://www.elsevier.com/locate/ijforecast) (дата обращения: 15.06.2022).
2. Pankratova N D., Zrazhevskaya N G. Method of Dynamic VaR and CVaR Risk, Measures Forecasting for Long Range, Dependent Time Series on the Base of the Heteroscedastic Model. *Intelligent Control and Automation*, 2017, 8, 126-138 <http://www.scirp.org/journal/ica> (дата обращения: 15.06.2022).
3. Marc Hallin, Carlos Trucos. Forecasting Value-at-Risk and Expected Shortfall in Large Portfolios: a General Dynamic Factor Model Approach Project: Modeling and forecasting volatility of high dimensional financial series. Department of Mathematics and ECARES Universite libre de Bruxelles, Belgium December 2020 (дата обращения: 17.06.2022).
4. Лубенцов А.В. Системный анализ матрицы рисков как один из этапов создания комплексной системы безопасности объекта. Будущее науки -21, сборник научных статей 9-й международной молодежной научной конференции том 4, 21-22 04 2021 года 202-204с ISBN 978-5-9908274-9-5.
5. Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. N 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (с изменениями и дополнениями) Приложение. Методика определения расчетных величин пожарного риска, <https://base.garant.ru/12169057/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 15.06.2021).
6. Лубенцов, А.В., Душкин А.В., Комплексные системы безопасности: системный анализ, архитектура, управление жизненным циклом», Воронеж: «Научная книга», 2022, 254с.
7. AV Lubentsov, IS Davydov, AS Dubrovin and LV Rossikhina, Assessment of losses when risks realization at an economic object. *Journal of Physics: Conference Series*. 17-19.12 2018 ВГУ. Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики». <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1203/1/012080>.
8. Барбаков О.М., Целевая функция в системе управления. *Вестник ЧелГУ*. 2014. №24 (353). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tselevaya-funktsiya-v-sisteme-upravleniya> (дата обращения: 21.09.2022).
9. Леваков, А.А. Стохастические дифференциальные уравнения. Минск: БГУ, 2009. — 231 с. — ISBN 978-985-518-250-5, <http://fpmi.bsu.by/ImgFpmi/Cache/22163.pdf> (дата обращения: 18.06.2021).
10. Полтавский А.В., Характеристика случайного процесса в задачах компьютерного моделирования и анализа. *НиКСС*. 2021. №3 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-sluchaynogo-protsesta-v-zadachah-kompyuternogo-modelirovaniya-i-entropiynogo-analiza-sistem> (дата обращения: 21.09.2022).
11. Кузнецов Д.Ф. Некоторые вопросы теории численного решения стохастических дифференциальных уравнений Ито. (Монография) *Дифференциальные уравнения и процессы управления* N 1, 1998, *Электронный журнал*, рег. N П23275 от 07.03.97, <https://diffjournal.spbu.ru/pdf/j011.pdf> (дата обращения: 18.06.2021).
12. Валеев К.Г., Исследование устойчивости решений системы стохастических дифференциальных уравнений. *ДАН РТ*. 2009. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-ustoychivosti-resheniy-sistemy-stohasticheskikh-differentsialnyh-uravneniy> (дата обращения: 21.09.2022).
13. Метод аппроксимационной матрицы формирования весов объектов в многокритериальных задачах выбора // В.П. Корнеев ВК. 2021. №1 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-approksimatsionnoy-matritsy-formirovaniya-vesov-obektov-v-mnogokriterialnyh-zadachah-vybora> (дата обращения: 05.02.2023).
14. Целевая функция. *Математическая энциклопедия*. — М.: Советская энциклопедия. 1977—1985. Автор: И.М. Виноградов. <https://rus-math.slovaronline.com/>

© Лубенцов Александр Витальевич (lubensov@mail.ru); Кобзистый Сергей Юрьевич (kobzuk@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»