
ИННОВАЦИОННОЕ И ПРОМЫШЛЕННОЕ РАЗВИТИЕ

УДК 51-77

DOI 10.46960/2713-2633_2022_2_45

А.И. Ладынин, Е.С. Митяков, А.Г. Шмелева

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАУКОЕМКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

МИРЭА – Российский технологический университет
Москва, Россия

Разработана математическая модель прогнозирования уровня научно-технической безопасности наукоемких организаций на основе методов теории случайных процессов. В качестве инструмента моделировании случайных процессов использованы Марковские цепи с дискретным временем, позволяющие представить анализируемую систему состояний в виде графоаналитической модели и, впоследствии, матрицы переходных вероятностей, описывающих взаимодействия элементов системы. Выделен перечень состояний уровня научно-технической безопасности наукоемкого предприятия, адаптированный под механизмы решения прикладных задач анализа сложных систем. К таким состояниям отнесены: критический уровень; низкий уровень, обусловленный действием внутренних факторов; низкий уровень, обусловленный действием внешних факторов; высокий уровень; доминантный уровень, позволяющий говорить о качественно новом уровне взаимодействия организации с рынком. Предложенная формальная классификация состояний рассматриваемой системы может получить практическое применение в задачах оценки научно-технической безопасности наукоемких предприятий. Представлен граф и множества состояний научно-технической безопасности предприятия с использованием аппарата Марковских цепей, представлена его матрица смежности. Применение приведенной модели оценки и прогнозирования состояния научно-технической безопасности дает возможность более полного и детального анализа информационной составляющей процессов функционирования наукоемких предприятий в условиях цифровизации экономики. При соответствующей ротации модельных параметров представленная модель может быть масштабирована на другие социально-экономические системы. Практическая значимость работы заключается в конкретных рекомендациях по использованию предложенной модели в задачах анализа и прогнозирования научно-технической безопасности высокотехнологичных организаций.

Ключевые слова: научно-техническая безопасность, случайные процессы, цепи Маркова, прогнозирование, состояние технической безопасности, графоаналитическая модель, матрица переходных вероятностей.

Введение. Достижение стратегических целей развития Российской Федерации невозможно без развития науки и технологий как основы для устойчивого роста экономики в целом [1]. Научно-техническая безопасность выступает одним из ключевых подмножеств национальной безопасности и основана на взаимодействии экономики и научно-технической сферы. Будучи тесным образом связанной с инновационной, экономической, политической проекциями, научно-технологическая составляющая не может развиваться самостоятельно, и ее безопасность напрямую зависит от состояния безопасности названных сфер. В последней редакции Стратегии национальной безопасности РФ также отмечается важная роль науки и инноваций в обеспечении конкурентоспособности и национальной безопасности в современных условиях переходных процессов в социодинамике [2].

Наряду с позитивными изменениями в обществе, вызванными общей динамикой научно-технического прогресса, в современных реалиях экономической деятельности субъекты народного хозяйства различных иерархических уровней неизменно сталкиваются с новыми угрозами. Динамика социально-экономических систем определяется совокупностью сложных процессов [3], которые могут иметь как детерминированную, так и стохастическую природу, что существенно усложняет задачу построения унифицированной модели развития системы. Прогнозирование состава воздействующих факторов и оценка вероятности возникновения угроз научно-технической безопасности могут оказать неоценимую помощь в решении задач принятия эффективных управленческих решений. При этом со временем меняются не только количественные параметры взаимодействий между параметрами научно-технической системы, но и сам характер этих взаимодействий.

Вышесказанное обуславливает целесообразность разработки новых подходов к моделированию, анализу и прогнозированию научно-технической безопасности систем различных иерархических уровней. В данной работе представлена предиктивная модель оценки уровня научно-технической безопасности на базе задействования Марковских цепей – последовательностей случайных событий со счетным или конечным числом результатов моделирования. При этом вероятность наступления каждого события зависит исключительно от результата, достигнутого в событии на предыдущей итерации [4].

Методы исследования. В социоэкономических системах, для которых характерны случайные процессы, зачастую появляются специфические эффекты, которые могут оказать значительное влияние на их динамику [5]. Учет стохастической составляющей целесообразен, исходя из исходной цели исследования, однако при увеличении числа параметров модели и

уточнении знаний о происходящих явлениях в экономике, в него, как правило, необходимо добавить случайную переменную.

В научной литературе по экономико-математическому моделированию в последнее время усилилось внимание к исследованию экономических систем в вероятностном аспекте [6-10]. В данной работе рассматривается этап конструирования стохастической модели прогнозирования научно-технической безопасности экономических систем. В экономико-математических расчетах зачастую задействуются случайные процессы с дискретными состояниями и временем (в том числе, Марковские процессы), во многом благодаря их относительной простоте, в сочетании с высокой достоверностью, наглядностью и точностью результатов.

При моделировании процессов с использованием Марковских цепей необходимы следующие допущения:

- 1) система имеет конечное (или счетное) число состояний;
- 2) случайный процесс, протекающий в системе, обладает свойством отсутствия последствия.

Понятие «состояние системы» является одним из фундаментальных для математического моделирования на основе Марковских цепей. Для описания динамики системы необходимо идентифицировать возможные состояния и задать начальное положение системы, а также установить вероятности перехода системы из одного состояния в другое.

При моделировании будем исходить из того, что система может находиться в одном из несовместимых состояний из конечного пространства возможных состояний U . Далее необходимо выделить подмножество состояний, которые различаются либо по результату функционирования системы, либо по набору макропараметров (макросвойств) системы (G) [11]. В зависимости от решаемой задачи целесообразно выбрать разнообразные фазовые пространства состояний, размерность и свойства которых зависят от выбранной схемы расчетов [5].

Предположим, имеется система S с множеством состояний S_1, S_2, \dots, S_m и дискретным временем t_1, t_2, \dots, t_n . При этом аргументом процесса может выступать не время t , а номер итерации $1, 2, \dots, n$. Последовательность состояний S_i , можно рассматривать как траекторию или эволюцию случайного процесса.

Переходы системы из одного состояния в другое в цепях Маркова происходят в заранее фиксированные и строго определенные временные отсчеты, при этом они осуществляются мгновенно [12, 13]. В промежутки времени между этими временными отсчетами рассматриваемая система не изменяет своего состояния. Будем считать, что такие переходы происходят в начале каждого этапа. Данные моменты времени называются шагами процесса, а длина временного интервала между соседними шагами – длиной этапа.

Длина этапа t_1 при моделировании динамики системы принимается, исходя из следующих соображений:

- вероятность нескольких переходов на этапе – малая величина, которой в ходе моделирования пренебрегают.
- на длине этапа система при переходе в соседнее состояние должна успеть сделать этот переход.

Названные условия ограничивают максимальную и минимальную длительность этапа. От длины этапа зависят величины условных вероятностей перехода системы из одного состояния в другое [14].

Для описания случайного процесса, проходящего в системе с дискретными состояниями, используют величину $P_i(k)$ – вероятность нахождения системы в состоянии S_i на k -м этапе ($i = \overline{1, m}$). При этом цепь Маркова задается с помощью вектора вероятностей начальных состояний системы:

$$P(0) = \{P_1(0), P_2(0), \dots, P_m(0)\}, \quad (1)$$

а также матрицами переходных вероятностей

$$P(k) = \begin{bmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) & \dots & p_{1m}(k) \\ p_{21}(k) & p_{22}(k) & \dots & p_{2m}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1}(k) & p_{m2}(k) & \dots & p_{mm}(k) \end{bmatrix}, k = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Каждая строка матрицы отвечает за состояние системы (S_i), а ее элемент p_{ij} соответствует вероятности перехода системы за одну итерацию из состояния S_i в S_j ($j = \overline{1, m}$). На главной диагонали матрицы (2) располагаются вероятности задержки системы.

Эволюция систем рассчитывается на основе статистических данных с использованием выбранных расчетных схем. В случае недостатка статистической информации целесообразно задействовать методы экспертной оценки [15-17]. При этом в ходе научно-технического прогресса вероятность перехода системы в новое состояние может изменяться. Для определения начального состояния системы можно задействовать два способа: случайный и детерминированный. В первом случае вероятности стартовых состояний $P_i(0)$ $i = \overline{1, m}$ выбираются на основе некоторых наблюдений за системой. Во втором устанавливается одно начальное состояние, вероятность которого равна единице.

Марковская цепь называется однородной, если со временем переходные вероятности остаются неизменными, и переменной – в противном случае. Следует отметить, что в долгосрочном периоде развития системы подавляющее большинство процессов описать лишь с использованием переменных Марковских цепей.

Вероятности состояний системы вычисляются матричным перемножением вектора начальных вероятностей (1) на матрицу перехода (2). Таким образом, вероятности состояний системы на k -м шаге могут быть рассчитаны следующим образом:

$$P(k) = P(k-1)P(k). \quad (3)$$

Рекуррентная формула (3) позволяет рассчитать вероятности состояний Марковского случайного процесса на любом шаге при наличии информации о предыдущих состояниях системы.

Значительные трудности моделирования с использованием Марковских цепей возникают при большом количестве вероятных состояний системы и связей между ними. С целью уменьшения количества таких состояний (следовательно, упрощения моделирования) зачастую в моделях целесообразно учитывать лишь связи между соседними состояниями. В данном случае схема случайного процесса называется схемой гибели и размножения. Для таких схем можно записать уравнения Колмогорова для вероятностей состояний, а также составить и решить систему алгебраических уравнений для финальных вероятностей [18].

В общем случае алгоритм построения модели по схеме марковских цепей можно свести к следующей поэтапной процедуре:

- 1) выбор рассматриваемого свойства социоэкономической системы;
- 2) идентификация количества вероятных состояний;
- 3) сокращения числа состояний системы (при возможности);
- 4) построение графа состояний системы;
- 5) выбор значений вектора начальных вероятностей;
- 6) определения воздействия (события);
- 7) выбор матрицы вероятностей переходов, для определения вероятностей переходов между состояниями системы;
- 8) определение искомых вероятностей состояний системы.

Некоторые социально-экономические системы можно охарактеризовать установлением стационарного режима с течением времен. В рамках данного режима система может менять свои состояния, однако доля времени, которую система проводит в различных состояниях, неизменна. Следует отметить, что для социально-экономических систем (например, системы научно-технической безопасности) такой режим функционирования возможен лишь на ограниченном временном интервале и в долгосрочном периоде, как правило, не достигается. Условиями существования стационарного режима для системы S с конечным числом состояний, в которой протекает Марковский случайный процесс с дискретными временем и состояниями, являются следующие [5].

1. Система рано или поздно попадет в любое из возможных состояний, выйдет из него и вновь в него вернется. Таким образом, множество всех состояний системы связно.
2. Переходные вероятности должны быть одинаковыми на всех этапах функционирования системы, т.е. цепь Маркова является однородной.
3. Моменты попадания в отдельные состояния или в группы состояний не ацикличны.

Если все три условия стационарного режима выполнены, искомые вероятности состояний P_1, P_2, \dots, P_m не меняются при переходе системы от одного этапа к другому, и справедливо равенство:

$$P(k-1) \Pi(k) = P(k). \quad (4)$$

Тогда, исходя из формулы (4), с учетом равенства суммы вероятностей единице можно получить следующую систему линейных алгебраических уравнений с единственным решением относительно P_1, P_2, \dots, P_m :

$$\begin{cases} P_1 = P_1 p_{11} + P_2 p_{21} + \dots + P_m p_{m1} \\ P_2 = P_1 p_{12} + P_2 p_{22} + \dots + P_m p_{m2} \\ \dots \\ P_{m-1} = P_{m-1} p_{1m-1} + P_2 p_{2m-1} + \dots + P_m p_{mm-1} \\ P_1 + P_2 + \dots + P_m = 1 \end{cases} \quad (5)$$

Результатом анализа по представленной модели выступают распределения вероятностей состояний системы, их изменение от шага к шагу, а также установившиеся значения этих вероятностей.

Разработка модели. Задачи обеспечения устойчивого развития, обладающие принципиальной важностью для сохранения существующих и развития новых компетенций в области цифровых и аддитивных технологий, предполагают использование соответствующих механизмов оценки и анализа уровня научно-технического развития. Для этого целесообразно использовать актуальные инструменты имитационного моделирования, в основе которых лежат зарекомендовавшие себя подходы, адаптированные и дополненные с учетом специфики рассматриваемой тематики. Построим модель анализа динамики изменения уровня научно-технической безопасности предприятия на основе инструментария теории случайных процессов. Выбранные методы предполагают использование цепей Маркова с дискретным временем, позволяющих представить анализируемую систему состояний в виде графоаналитической модели и, впоследствии, матрицы переходных вероятностей, описывающих взаимодействия элементов системы.

В рассматриваемой задаче определим состояние научно-технической безопасности организации как характеристику системы на данном этапе ее функционирования, задаваемую на основе совокупности индикаторов, выступающих параметрами состояния системы. В общем случае события, влияющие на переходы системы между состояниями, можно разделить на эндогенные (влияющие на изменение внутренних параметров научно-технической безопасности) и экзогенные (повышающие или снижающие ее уровень). Для построения модели оценки и анализа научно-технической безопасности определим состояние экономического субъекта как характеристику системы на данном этапе ее функционирования, что предполагает анализ совокупности соответствующих индикаторов.

Рассмотрим перечень состояний уровня научно-технической безопасности наукоемкого предприятия, адаптированный под механизмы анализа прикладных задач анализа сложных систем. Исходный перечень состояний

определяется на основе множества $S: \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$, где каждый из элементов определяется в соответствии со следующими утверждениями:

- S_1 – критический уровень научно-технической безопасности;
- S_2 – низкий уровень научно-технической безопасности, продиктованный действием внешних факторов;
- S_3 – низкий уровень научно-технической безопасности, продиктованный действием внутренних факторов;
- S_4 – приемлемый уровень научно-технической безопасности;
- S_5 – высокий уровень научно-технической безопасности, обеспечивающий конкурентные позиции организации на рынке;
- S_6 – доминантный уровень научно-технической безопасности, позволяющий говорить о качественно новом уровне взаимодействия организации с рынком.

Под поглощающим предполагается такое состояние, из которого система не может перейти ни в какое другое, т.е. для поглощающего состояния полагаем вероятность вида p_{ii} равной единице [19]. При этом поглощающим состоянием для данной цепи Маркова является S_1 , что обосновывается невозможностью обеспечить качественно новый переход из этого состояния по объективным причинам: нестабильностью по отношению к действию внутренним и внешним факторам, изменениям организационной структуры, уязвимостью по отношению к угрозам научно-технической безопасности. Предполагается, что состояние S_1 достигается организацией в следствие масштабных кризисов экономического характера, влекущих катастрофические изменения и последующее поглощение, либо ликвидацию предприятия. Отметим, что данная ситуация может являться не только следствием действия внутренних факторов, но также и внешних, формирующих негативное влияние на субъект (рис. 1).

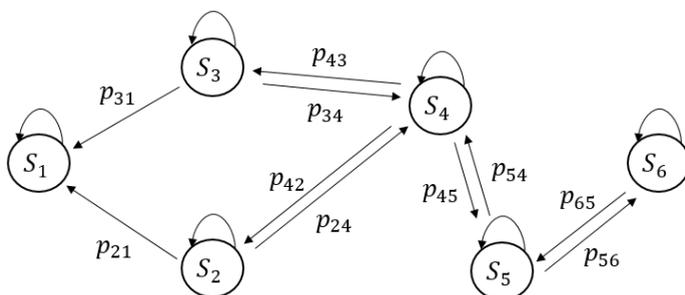


Рис. 1. Моделирование множества состояний научно-технической безопасности предприятия с использованием аппарата Марковских цепей

Графоаналитический метод, представленный выше, позволяет визуализировать характеристики анализируемой системы, однако структура рассматриваемой задачи, предполагающая дальнейшие исследования в области построения вероятностной модели, характеризуется необходимостью представить соответствующую формальную постановку. Матрица смежности графа, представленного на рис. 1, описывает возможности изменения уровня научно-технической безопасности, т.е. возможность реализации переходных процессов (табл. 1).

Таблица 1.

**Матрица смежности графа состояний
научно-технической безопасности предприятия**

Состояние системы	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
S_1	1	0	0	0	0	0
S_2	1	1	0	1	0	0
S_3	1	0	1	1	0	0
S_4	0	1	1	1	1	0
S_5	0	0	0	1	1	1
S_6	0	0	0	0	1	1

В терминах формальных моделей состояние S_1 является поглощающим, что явно следует из представленного выше графа – отсутствует возможность перехода в другие вершины. Экономическая трактовка предполагается на основе анализа последствий, что в контексте рассматриваемой модели формирует предпосылки к изменению формы хозяйственных отношений рассматриваемого субъекта – переход к новой форме функционирования, предположительно интегрированной в иную организационную структуру, более адаптированную к условиям рынка и требованиям проблем цифровизации экономики.

В то же время состояние S_6 , характеризующее доминантный характер уровня научно-технической безопасности организации, не является поглощающим, что вызвано высокой конкуренцией среды функционирования наукоемких организаций. Действительно, реализация вероятности p_{65} переходного процесса возможна как в условиях возникновения кризисов, продиктованных внешними возмущениями среды, так и вследствие внутренних конфликтов, проявляющихся в соответствии с изменениями действия внутренних факторов, оказывающих прямое и косвенное влияние на состояние динамического равновесия предприятия. В подобных условиях представляется обоснованным использовать предложенную модель цепи Маркова с

дискретным временем, позволяющую систематизировать процессы функционирования предприятия в соответствии с принципами обеспечения научно-технической безопасности.

Заключение. Таким образом, в современных реалиях разработка новых математических моделей описания социально-экономических процессов выступает ключевым инструментом в принятии научно-обоснованных управленческих решений. Модели эволюции научно-технической безопасности во времени на основе управляемых цепей Маркова создают необходимый методический базис для более обоснованного определения траектории движения системы, а также выбора стратегии, оптимизирующей необходимые параметры рассматриваемого объекта.

В данной работе предложена модель прогнозирования уровня научно-технической безопасности высокотехнологичных предприятий на базе использования Марковских цепей. Представлена совокупность состояний, описывающая уровень научно-технической безопасности организации в соответствии с действием внутренних и внешних факторов, определяющих переходные процессы рассматриваемой системы. Предложенная формальная классификация состояний рассматриваемой системы является практически применимой в задачах оценки научно-технической безопасности наукоемких предприятий. С применением данной модели оценки и прогнозирования состояния научно-технической безопасности представляется обоснованным анализ информационной составляющей процессов функционирования наукоемких предприятий в условиях цифровизации экономики.

Практическая значимость работы заключается в возможности разработки конкретных рекомендаций по использованию предложенной модели в задачах анализа и прогнозирования научно-технической безопасности систем различной иерархии. При соответствующей ротации модельных параметров, представленная модель может быть масштабирована на другие социально-экономические системы.

© Ладынин А.И., Митяков Е.С., Шмелева А.Г., 2022

Библиографический список

- [1] Лепеш Г.В. Научно-техническая и технологическая безопасность Российской Федерации // ТТПС. 2019. №2 (48). [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskaya-i-tehnologicheskaya-bezopasnost-rossiyskoj-federatsii>.
- [2] Указ Президента РФ от 02.07.2021 N 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://krem-lin.ru/acts/bank/47046>
- [3] Курзенов В.А., Лычагина Е.Б. Стохастическое моделирование динамики экономической системы // Управленческое консультирование. 2013. №5 (53).

- [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stohasticheskoe-modelirovanie-dinamiki-ekonomicheskoy-sistemy>.
- [4] Gagniuc, Paul A. *Markov Chains: From Theory to Implementation and Experimentation* (англ.). – USA, NJ: John Wiley & Sons, 2017. P. 2-8.
- [5] Шмидт А.В., Чурюкин В.А. Марковские модели экономических систем // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2015. №3. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/markovskie-modeli-ekonomicheskikh-sistem>.
- [6] Глазкова И.Ю., Брежнева И.Б., Королев В.А. Построение стохастической модели анализа риска инвестиций // Экономический анализ: теория и практика. 2007. № 1(82).
- [7] Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Том 2. Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. – М.: Изд-во МЦНМО, 2009. – 560 с.
- [8] Маркелова И.В., Гарькина И.А. Одноплановые стохастические задачи в экономике // Молодой ученый. 2014. № 4. С. 31–33.
- [9] Матвеев Б.А. Спектральная теория рисков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2014. Т. 8. № 2. С. 20–24.
- [10] Соловьёв В.И. Односекторная стохастическая динамическая модель экономики // Математические методы исследования сложных систем, процессов и структур: сборник научных трудов. – М.: Изд-во МГОПУ, 2000. Вып. 3. С. 101-112.
- [11] Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2006. – 511 с.
- [12] Соколов Г.А., Чистякова Н.А. Теория вероятностей. Управляемые цепи Маркова в экономике. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 248 с.
- [13] Соколов Г.А. Теория случайных процессов для экономистов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 208 с.
- [14] Чурюкин В.А. Марковская модель устойчивости экономической системы // Mechanism of Sustainable Development of Economic Systems Formation – Collective monograph. Vol. 2. Verlag SWG imex GmbH, Nürnberg, Deutschland, 2014. P. 363-368.
- [15] Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок // Статистика и экономика. 2015. №1. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalnye-metody-ekspertnyh-otsenok>.
- [16] Кузьмин В.Б., Орлов А.И. Статистические методы анализа экспертных оценок. – М.: Наука, 2007. – 384 с.
- [17] Shmeleva A.G., Ladynin A.I. Industrial Management Decision Support System: from Design to Software. Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)./ – 2019. P. 1474-1477
- [18] Вентцель А. Д., Курс теории случайных процессов. – М.: Наука, 1996. – 400 с.
- [19] Дынкин Е. Б. Марковские процессы. – Москва : Гос. изд-во физико-математической лит., 1963 [Электронный ресурс]. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=112147>

A.I. Ladinin, E.S. Mityakov, A.G. Shmeleva

**KNOWLEDGE-INTENSIVE ORGANIZATIONS
SCIENTIFIC AND TECHNICAL
SECURITY PREDICTION MODEL
USING STOCHASTIC PROCESSES THEORY METHODS**

MIREA – Russian Technological University
Moscow, Russia

Abstract. The paper is about knowledge-intensive organizations scientific and technical security level prediction model development based on stochastic processes theory methods. In order to model random processes Markov chains with discrete time were used making it possible to represent analyzed system of states in a graph-analytical model form and subsequently the transition probabilities matrix, describing its elements interactions. The article highlights knowledge-intensive enterprise scientific and technical security level states adapted for applied problems taking into account complex systems analysis mechanisms. These conditions include: critical level; low level due to the action of internal factors; low level due to external factors; high level and the dominant level, which allows to talk about a qualitatively new level of interaction between the organization and the market. The proposed formal classification system under consideration states can be applied in practice in knowledge-intensive enterprises scientific and technical safety assessing. Using Markov chains apparatus enterprises' scientific and technical security states set alongside with its incidence matrix was built. Proposed model application for scientific and technical security assessment and states prediction brings more complete and detailed knowledge-intensive enterprises functioning information component analysis in the economy digitalization context. With appropriate parameters rotation, the model presented in the article can be scaled to larger socio-economic systems. Paper's practical significance lies in specific recommendations development possibility for knowledge-intensive organizations scientific and technical safety analysis and forecasting.

Keywords: scientific and technical safety, stochastic processes, Markov chains, forecasting, technical safety state, graph-analytical model, transition probabilities matrix.

References

- [1] Lepesh, G.V. (2019). Scientific, technical and technological security of the Russian Federation. No. 2 (48). [Electronic resource]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskaya-i-tehnologicheskaya-bezopasnost-rossiyskoy-federatsii>.
- [2] Decree of the President of the Russian Federation of July 2, 2021 N 400 "On the National Security Strategy of the Russian Federation" [Electronic resource]. Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/47046>

- [3] Kurzenev, V.A., Lychagina, E.B. (2013). Stochastic modeling of the dynamics of the economic system. No. 5 (53). [Electronic resource]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/stohasticheskoe-modelirovanie-dinamiki-ekonomicheskoy-sistemy>.
- [4] Gagniac, Paul. (2017). *Markov Chains: From Theory to Implementation and Experimentation*. USA, NJ: John Wiley & Sons. pp. 2-8.
- [5] Schmidt, A.V. (2015). Markov models of economic systems. №3. [Electronic resource]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/markovskie-modeli-ekonomicheskikh-sistem>.
- [6] Glazkova, I.Yu., Brezhneva, I.B., Korolev, V.A. (2007). [Building a stochastic model for investment risk analysis]. *Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika* [Economic Analysis: Theory and Practice]. No. 1(82). (In Russ).
- [7] Kelbert, M.Ya., Sukhov, Yu.M. (2009). [Probability and statistics in examples and problems]. *M* [M]. 560 p. (In Russ).
- [8] Markelova, I.V., Garkina, I.A. (2014). [One-plan stochastic tasks in economics]. *Modeloj uchenyj* [Young scientist]. No. 4. pp. 31-33. (In Russ).
- [9] Matveev, B.A. (2014). [Spectral theory of risks]. *Vestnik JuUrGU* [Bulletin of SUSU]. V. 8. No. 2. pp. 20-24. (In Russ).
- [10] Solovyov, V.I. (2000). [One-sector stochastic dynamic model of the economy]. *M* [M]. Issue. 3. pp. 101-112. (In Russ).
- [11] Volkova, V.N., Denisov, A.A. (2006). [Theory of systems: textbook. Allowance]. *M* [M]. 511 p. (In Russ).
- [12] Sokolov, G.A., Chistyakova, N.A. (2005). [Probability Theory. Controlled Markov chains in economics]. *M.: FIZMATLIT* [M.: FIZMATLIT]. 248 p. (In Russ).
- [13] Sokolov, G.A. (2010). [Theory of random processes for economists]. *M.: FIZMATLIT* [M.: FIZMATLIT]. 208 p. (In Russ).
- [14] Churyukin, V.A. (2014). [Markov model of economic system sustainability // Mechanism of Sustainable Development of Economic Systems Formation]. *Nürnberg* [Nürnberg]. pp. 363-368. (In Russ).
- [15] Danelyan, T.Ya. (2015). Formal methods of expert assessments // Statistics and economics. 2015. No. 1. [Electronic resource]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalnye-metody-ekspertnyh-otsenok>.
- [16] Kuzmin, V.B., Orlov, A.I. (2007). [Statistical methods for the analysis of expert assessments]. *M* [M]. 384 p. (In Russ).
- [17] Shmeleva, A.G., Ladynin, A.I. (2019). [Industrial Management Decision Support System: from Design to Software]. *EICoRus* [EICoRus]. pp. 1474-1477. (In Russ).
- [18] Venttsel', A.D. (1996). [Course in the Theory of Random Processes]. *M* [M]. 400 p. (In Russ).
- [19] Dynkin, E.B. Markov Processes. Moscow: State. Publishing House of Physical and Mathematical Literature. [Electronic resource]. Available at: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=112147>