

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Е. А. Воронин<sup>1</sup>, А. Г. Семкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Федеральное научное учреждение аграрной экономики и социального развития сельских территорий –  
Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

<sup>1</sup> e.voronin1@gmail.com, <sup>2</sup> a.semkin@vniiesh.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Рассматриваются уточненная постановка задачи управления продовольственной безопасностью при формировании цифровой экономики, разработанная на основе вероятностной оценки реализации организационных, организационно-ресурсных и технико-технологических процессов обеспечения продовольственной безопасности с применением универсальной методологии. *Материалы и методы.* Приводятся методы и технологии применения машинного обучения в задачах обеспечения и управления продовольственной безопасностью, основанные на данных из информационного пространства цифровой экономики. Предлагаются методология и методы оценки и прогнозирования угроз, оценки уязвимости продовольственных систем связанных с ними экономических систем и выбора оптимальной стратегии противодействия им. *Результаты и выводы.* Выбраны алгоритмы и наиболее подходящие языки программирования для реализации решений поставленной задачи. Отмечается, что все это возможно только при наличии информационного пространства, организованного в соответствии с парадигмой цифровой экономики.

**Ключевые слова:** экономика, безопасность, продовольственная безопасность, вероятность, управление, машинное обучение

**Для цитирования:** Воронин Е. А., Семкин А. Г. Управление продовольственной безопасностью методами машинного обучения в информационном пространстве аграрно-промышленного комплекса // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 4. С. 179–188. doi: 10.21685/2307-4205-2023-4-17

## FOOD SECURITY MANAGEMENT BY MACHINE LEARNING METHODS IN THE INFORMATION SPACE OF THE AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL COMPLEX

E.A. Voronin<sup>1</sup>, A.G. Semkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories –  
All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

<sup>1</sup> e.voronin1@gmail.com, <sup>2</sup> a.semkin@vniiesh.ru

**Abstract.** *Background.* The paper considers a refined statement of the problem of food security management in the formation of a digital economy, developed on the basis of a probabilistic assessment of the implementation of organizational, organizational, resource, technical and technological processes for ensuring food security using a universal methodology. *Materials and methods.* Methods and technologies for applying machine learning in the tasks of ensuring and managing food security based on data from the information space of the digital economy are given. A methodology and methods are proposed for assessing and forecasting threats, assessing the vulnerability of economic systems and choosing the optimal strategy to counter them. *Results and conclusions.* Algorithms and the most suitable programming languages for the implementation of the solutions of the set task have been selected. It is noted that all this is possible only if there is an information space organized in accordance with the paradigm of the digital economy.

**Keywords:** economics, security, food security, probability, control, machine learning

**For citation:** Voronin E.A., Semkin A.G. Food security management by machine learning methods in the information space of the agricultural and industrial complex. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2023;(4):179–188. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2023-4-17

## Введение

**Продовольственная безопасность – это элемент национальной безопасности государства [1, 2].** Ситуация, при которой все люди в каждый момент времени имеют физический и экономический доступ к достаточной в количественном отношении безопасной пище, необходимой для ведения активной и здоровой жизни.

Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 принята Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, в которой сформулированы основные положения по ее реализации, к ним можно отнести [3]:

- она является инструментом стратегического планирования и прогнозирования основных направлений государственной социальной политики в области формирования продовольственной безопасности;

- в ней сформулированы конкретные цели и задачи в сфере продовольственной безопасности и независимости, связанные в первую очередь с повышением качественных индикаторов жизнедеятельности граждан России и обеспечением их качественными агропродовольственными товарами, на основе устойчивого развития сельскохозяйственной цифровой экономики;

- определены показатели функционирования продовольственной безопасности и критерии их оценки на основании требований мировых стандартов, используя при этом результаты экономической и физической доступности сельскохозяйственного сырья и продовольствия;

- при формировании продовольственной безопасности и независимости необходимо учитывать риски и угрозы, связанные в первую очередь с санкционной войной США и ряда отдельных мировых стран, их союзников, а также ухудшением внутренней и внешней экономической конъюнктуры, высокой инфляционной составляющей, кризисом в финансово-банковской области, снижением инвестиционных потоков в аграрную сферу, слабым технико-технологическим развитием, наличием климатических и агроэкономических угроз и т.д.;

- сформулированы направления развития государственной аграрной политики в сфере обеспечения продовольственной безопасности и независимости с обоснованием основных критериев, связанных с улучшением экономической и физической доступности качественных экологически чистых продуктов питания, формированием полноценного госрезерва продовольствия, увеличением урожайности сельхоз культур и продуктивности животных, восстановлением и повышением плодородия почвы, мерами, направленными на обеспечение биологической безопасности, созданием новых современных технологий в сфере производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, развитием научно-технического потенциала;

- механизм обеспечения продовольственной безопасности и независимости России устанавливается в соответствии с нормативно-правовыми актами, определяющим условием является эффективное функционирование экономики страны за счет модернизации отраслей агропромышленного комплекса и повышения уровня господдержки аграрного бизнеса.

Обеспечение продовольственной безопасности государства, отрасли, региона, муниципального образования или поселения представляет собой комплексную задачу управления, постановка и решение которой должны рассматриваться одновременно по следующим аспектам:

- организационный в части анализа, оценки и оптимизации процессов взаимодействия органов управления, должностных лиц и специалистов, отвечающих за регламентацию их деятельности (без учета применения средств управления) при планировании и реализации управленческой деятельности в области продовольственной безопасности;

- организационно-ресурсный, рассматриваемый с учетом обеспечения реализации организационных процессов необходимыми информационными, когнитивными, техническими и другими ресурсами;

- технико-технологический в части анализа, оценки и оптимизации взаимодействия средств управления, задействованных при обеспечении процессов управления в ходе планирования и решения задач продовольственной безопасности.

С точки зрения системного подхода к решению подобной задачи в условиях глобализации и интенсивной конкуренции на уровне стран, территорий и поселений необходимо отметить, что ее сложность обусловлена существующими ограничениями такого подхода, связанными с неполной определенностью в отношении направлений развития основных структурных компонентов цифровой экономики и прежде всего единого информационного пространства, создаваемого в ее интересах, полноты обеспечения органов управления продовольственной безопасностью необходимыми ресурсами и

в части других обстоятельств [1–3]. В связи с этим она относится к многоуровневым задачам системного анализа, информационных технологий Data Science и Big Data с большим объемом информации и вычислений.

Обычно данная задача решается как статическая и оценочная задача. Состояние безопасности рассматривается без учета динамики экономических и связанных с ними других процессов и при этом проблема продовольственной безопасности разрабатывается не в полной мере. Ее необходимо расширять с учетом перехода к расширенной проблеме активного управления безопасностью по нескольким аспектам. При этом необходимо решить задачи математической формализации управляемых процессов и их обеспечения необходимой информацией. Поэтому в руководствах по управлению безопасностью она сводится к разработке организационных мероприятий [3–5].

Однако цифровизация экономики и необходимость создания единого цифрового информационного пространства представляют новые перспективы и возможности ее решения с использованием информационных технологий хранения и обработки больших массивов данных, искусственного интеллекта и машинного обучения [6, 7].

Технологии машинного обучения получили широкое распространение в обеспечении информационной безопасности при выявлении аномалий и угроз в процессах обработки, передачи и хранения информации. Прямой перенос таких технологий на задачи управления продовольственной безопасностью невозможен вследствие большого различия управляемых процессов как по качеству, содержанию, так и по характеру, но идеология и методология машинного обучения являются единственным и основным базисом решения проблемы эффективного управления продовольственной безопасностью [8].

#### **Уточненная постановка задачи комплексного управления состоянием продовольственной безопасности**

Формулировка задачи: провести анализ возможности и условий применения технологий машинного обучения в процессах управления продовольственной безопасностью в системе цифровой экономики.

В соответствии с требованиями и типовой схемой постановки задачи управления применительно к поставленной задаче необходимо:

- определить наблюдаемый или вычисляемый параметр состояния и функцию отклика управляемой системы;
- установить параметры, управляющие состоянием системы;
- выбрать и обосновать критерий качества управления;
- разработать алгоритм управления, удовлетворяющий критерию качества управления.

Определение безопасности [wiki], «**Безопасность** – это состояние объекта, в котором он либо не подвергается негативному воздействию, либо успешно противостоит такому воздействию, продолжая нормально функционировать», наиболее привлекательно и полно, так как оно отражает свойства окружающей среды и самой системы, которая функционирует в этой среде. В этом определении представляется возможность использования единого нормируемого показателя и теории его использования, изложенной в работах [2, 8]:

$$P_s = (1 - P_u) + P_u \cdot P_o, \quad (1)$$

где  $P_s$  – вероятность безопасного состояния или безопасность системы в заданный момент времени;  $P_u$  – вероятность угрозы безопасному состоянию в заданный момент времени;  $P_o$  – вероятность успешного отражения или противодействия угрозе в заданный момент времени средствами обеспечения безопасности.

Вероятностный подход к оценке продовольственной безопасности, построенный на его основе, алгебра безопасности могут быть математической методологией оценки продовольственной безопасности систем со сложной структурой и схемой угроз.

Для случая  $n$ -го количества угроз, когда каждая из них может привести к продовольственным потерям, продовольственная безопасность  $P_s$  оценивается по формуле

$$P_s = \prod_{i=1}^n P_{si} = \prod_{i=1}^n [(1 - P_{ui}) + P_{ui} \cdot P_{oi}], \quad (2)$$

где  $P_{ui}$  – вероятность  $i$ -й угрозы;  $P_{oi}$  – вероятность успешного противодействия  $i$ -й угрозе.

Управляющим параметром, отражающим свойство системы безопасности противостоять угрозам, как это следует из формулы (1), является  $P_o$  – вероятность успешного противодействия угрозе.

Главные преимущества критерия продовольственной безопасности, определенного на основе такого вероятностного показателя, состоят в том, что он является нормируемым, пригодным для сложной схемы событий, имеет однозначное, функциональное объяснение, отражает опасность угроз и возможности противодействия им соответствующими средствами. При этом представляется возможность оценки продовольственной безопасности по двум основным направлениям [3, 4]:

- оценки продовольственной безопасности с учетом реализации организационных, организационных, ресурсных и технологических процессов обеспечения продовольственной безопасности;
- выбор наиболее эффективного направления реализации организационных, организационно-ресурсных и технико-технологических процессов и обоснованно подходить к разработке мер по обеспечению продовольственной безопасности.

**Методика решения задачи комплексного управления состоянием продовольственной безопасности**

Продовольственную безопасность принято оценивать по безопасному состоянию продовольственной корзины [2].

Если корзина продовольствия местного населения содержит  $n$ -продуктов и каждый продукт подвергается риску по поставкам, то продовольственная безопасность региона или поселения вычисляется по формуле

$$P_s = \prod_i [(1 - p(v_i)) + p(v_i)q(v_i)], \tag{3}$$

где  $p(v_i)$  – вероятность угрозы  $i$ -му продукту;  $q(v_i)$  – вероятность успешного противодействия  $i$ -й угрозе или замещение его внутренним производством.

Известно, что качество управления продовольственной безопасностью определяется ожидаемыми потерями от ее нарушения и затратами на противодействие угрозам. Очевидно, для каждого вида продовольствия существует некоторое минимальное, равновесное состояние их суммы, дающее оптимальное значение безопасности

$$\text{opt}(P_s) \rightarrow \min(U_i + Z_i), \tag{4}$$

где  $U_i$  – потери от реализованных угроз при заданном уровне безопасности;  $Z_i$  – затраты на обеспечение заданного уровня безопасности.

Ущерб от реализованных угроз вычисляются по формуле

$$U_i = P_{u,i} \cdot (1 - P_{o,i}) \cdot d_i, \tag{5}$$

где  $d_i$  – возможные экономические потери от угроз.

Если все мероприятия обеспечения  $i$ -го вида продовольственной безопасности обозначить как  $x_{i,j}$ , принять их как категориальные переменные и объединить в набор или множество управляющих мероприятий  $\{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3} \dots x_{iN}\}$ , а  $N$  – их число, то можно определить и записать  $P_{oi}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3} \dots x_{iN})$  как многомерную функцию  $N$  – категориальных, управляющих переменных.

$Z_{oi} = Z(P_{oi}, \{x_i, c_x, i = 1 \dots N_i\})$  – функция от вероятностей успешного противодействия угроз  $P_{oi}$  и затрат на мероприятия по ее обеспечению.

Исходя из этих определений, алгоритм расчета оптимального уровня безопасности строится на базе следующего выражения:

$$\text{opt}(P_s) \rightarrow \arg \min_{\{x_{ij}, i=1 \dots N_i, j=1 \dots K_j\}} \sum_{i=1}^N [d_i \cdot P_{ui}(1 - P_{oi}(x_i, i = 1 \dots N_i))] + \sum_{j=1}^{K_{ij}} z_{ij}, \tag{6}$$

где  $z_i$  – аддитивная функция категориальных переменных, вычисляемая как скалярное произведение вектора мероприятий на вектор их стоимости

$$z_i = \sum_{j=1}^{N_i} c_{ij} x_{ij}, \quad (7)$$

где  $c_{ij}$  – затраты на  $x_{ij}$ -е мероприятие по обеспечению безопасности.

Эта задача оптимизации продовольственной безопасности может решаться несколькими способами в зависимости от экономических условий обеспечения безопасности:

- 1) комплексно, по всей продовольственной корзине с учетом расходов по всей корзине продовольствия;
- 2) отдельно по каждому виду продовольствия и независимо от расходов на обеспечение другими видами продовольствия.

В первом случае математический алгоритм оптимизации будет иметь вид

$$\text{opt}(P_s) \rightarrow \arg \min_{\{x_{ij}, i=1 \dots N_i, j=1 \dots K_j\}} \sum_{i=1}^N [d_i \cdot P_{oi} (1 - P_{oi}(x_i, i=1 \dots N_i)) + \sum_{j=1}^{K_{ij}} z_{ij}, j=1 \dots K_{ij}],$$

при условии

$$\sum_i c_i \leq Z, \quad (8)$$

где  $Z$  – общие затраты на обеспечение продовольственной безопасности.

Во втором случае, формально, алгоритм оптимизации будет иметь вид

$$\text{opt}(P_{si}) \rightarrow \arg \min_{\{x_j, j=1 \dots K_j\}} [d_i \cdot P_{oi} (1 - P_{oi}) + \sum_{j=1}^{K_j} z_{ij}, j=1 \dots K_{ij}]$$

при условии

$$\sum_{j=1}^{N_i} c_{ij} x_{ij} \leq z_i, \quad (9)$$

где  $z_i$  – предельные затраты на обеспечение продовольственной безопасности по  $i$ -му продукту.

Полученный из условий (6), (8), (9) вектор набора мероприятий  $\{x_{ij}, i=1 \dots N, j=1 \dots K_j\}$  однозначно определяет успешность обеспечения безопасности при функции вероятности  $P_{oi}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3} \dots x_{iN})$  и при этом порождает задачу нахождения и оценки значения этой функции вероятности.

Исходя из того, что оптимальное управление осуществляется в виде вектора  $X = \{x_i, i=1 \dots N\}$  с компонентами категориального типа, поиск его компонент возможен только с помощью эвристических или эволюционных алгоритмов оптимизации таких как алгоритм отжига или генетического отбора [11–14] или классического алгоритма динамического программирования [19].

Известно, что вероятность успешного противодействия угрозам зависит от состояния защищаемой системы и от мероприятий по противодействию угрозам. Ее принято представлять как показатель безопасности в научной и учебной литературе [6–8]. Для ее вычисления принято применять функционально-ресурсный подход с использованием производственной функции или индикаторный метод, с оценкой отклонений от их нормативных значений, но они не подходят для принятого критерия продовольственной безопасности.

В случае вероятностного критерия безопасности наиболее адекватным будет использование логистической регрессии. Она позволяет получать непосредственно оценку вероятности успешного противодействия угрозам. Это, как известно, один из широко распространенных методов машинного обучения, применяемых при обеспечении информационной безопасности [10].

Успешность противодействия угрозам определяется набором существующих угроз, качественным состоянием защищаемой системы и набором средств противодействию угрозам.

Оценка вероятности успешного противодействия угрозам методом машинного обучения с логистической регрессией определяется по вектору угроз  $\{u_i, i=1 \dots N_u\}$ , вектору фазовых показателей функционального состояния системы  $\{y_j, j=1 \dots N_y\}$  и вектору мероприятий противодействия угрозам

$\{x_k, k = 1 \dots N_k\}$ , где  $N_u$  – число угроз;  $N_y$  – число фазовых состояний;  $N_k$  – число возможных мероприятий по противодействию угрозам.

На них строится расширенное пространство реализации логистической регрессии

$$V = \{v_l, l = 1 \dots N_v\}, \quad (10)$$

$$v_l = \{u_1, u_2, \dots, u_{N_u}, y_1, y_2, \dots, y_{N_y}, x_1, x_2, \dots, x_{N_x}\},$$

где  $N_v = N_u + N_y + N_x$ .

Каждому значению расширенного вектора ставится соответствующее значение бинарной переменной  $s$ , отражающее успешность противодействия угрозе.

По определению, численное значение функции логистической регрессии соответствует вероятности успешного противодействия угрозам и вычисляется по формуле

$$P_o(V) = \frac{1}{1 + e^{-Q}}, \quad (11)$$

$$Q = \theta^T V = \theta_1 v_1 + \theta_2 v_2 + \theta_3 v_3 + \dots + \theta_{N_v} v_{N_v}, \quad (12)$$

где  $\theta^T$  – транспонированный вектор весовых коэффициентов регрессии;  $V$  – вектор расширенного пространства регрессии.

Машинное обучение методом подбора параметров логистической регрессии заключается в подборе компонент вектора коэффициентов регрессии по обучающей выборке методом максимального правдоподобия

$$\theta^T = \arg \max_{\theta} \prod_{i=1}^{N_o} P_o\{s = s^{(i)} | v = v^{(i)}\}, \quad (13)$$

где  $P_o(s | v) = P_o(\theta^T V)^s \cdot (1 - P_o(\theta^T V))^{1-s}$  – распределение Бернулли от  $P_o(Q_i)$ ,  $s \in \{0, 1\}$ ,  $s = 0$  – безуспешное отражение угрозы,  $s = 1$  – успешное отражение угрозы.

Ожидаемое значение вероятности угрозы  $P_o(V)$  вычисляется путем подстановки векторов  $\theta$  и  $V$  в формулы (8), (9).

На практике обучающая выборка или набор значений  $\{s^{(i)}, v^{(i)}, i = 1 \dots N_v\}$  заполняется по результатам реальных наблюдений и/или имитационного моделирования методом Монте-Карло [15, 16].

Алгоритмы этого метода машинного обучения хорошо изучены и представлены в соответствующих учебниках и руководствах. Существуют их реализации на языках программирования Python, Julia и Scala в виде модулей специальных библиотек [16–18].

Для эффективного управления продовольственной безопасностью необходимо не только реагировать на текущие угрозы, но и прогнозировать будущие и на основании прогноза принимать меры превентивного характера. Это позволит значительно снизить затраты, ущербы и повысить эффективность или успешность защиты от угроз и воздействий.

Угрозы можно разделить на внешние и внутренние, на явные и скрытые. Явные внешние угрозы не поддаются управлению и их можно только прогнозировать. Прогнозируются они методами автокорреляции, регрессионного анализа, или марковских процессов. В регрессионном и автокорреляционном анализе прогнозируется абсолютное значение внешних, представляющих угрозу. Марковские цепи удобно использовать для категориальных переменных, характеризующих угрозы, и вычислять их вероятность [19, 20].

Выбор метода прогнозирования зависит от вида наблюдаемых параметров и реального назначения защищаемой системы. Регрессионный и корреляционный анализ хорошо известны и представлены в научной и учебной литературе, но при вероятностной модели безопасности они мало пригодны.

В рамках предлагаемого вероятностного подхода к управлению безопасностью необходимо применять методы теории случайных процессов. Дискретные марковские процессы и марковские цепи будут более удобными и эффективными. Они позволяют моделировать и прогнозировать искомые вероятности угроз  $P_u(n)$  и могут представлять сложные схемы угрожающих событий. В реализации численными методами они просты и наглядны в математическом и прикладном смысле [19, 20].

Эти методы оперативной оценки и прогнозирования угроз продовольственной безопасности по результатам статистических наблюдений на основе марковских процессов с дискретным и непрерывным временем подробно изучены как часть этого направления исследований, разработаны и представлены в работе [9].

Вероятности скрытых внешних угроз вычисляются по наблюдаемым аномалиям состояния внешней среды. Эта задача называется выявлением аномалий внешней среды и широко применяется в управлении информационной безопасностью. Она решается методами машинного обучения и вероятностного программирования. При этом вероятностные модели строятся на сочетании байесовских сетей и марковских цепей [22, 23].

При такой схеме обработки информации на вход байесовской сети подаются значения наблюдаемых параметров внешней среды, а на выходе получаются вероятности категориальных переменных, характеризующих внешние угрозы. Для прогнозирования угроз эти состояния категориальных переменных сопрягаются с марковской цепью, которая выдает прогноз на вероятности возможных угроз.

Внутренние угрозы прогнозируются функционально-ресурсным методом в сочетании с логистической регрессией путем выявления аномалий состояния и вычисления их вероятностной. Для этого строится обучающая выборка с одним или несколькими индикаторами угроз и индикаторами фазового состояния. В условиях цифровизации экономики и цифрового информационного пространства формирование обучающей выборки не представляет проблем.

Используя однозначную или множественную логистическую регрессию, вычисляют вероятности внутренних угроз.

Значения внешних и внутренних угроз выявляются и обрабатываются системой управления безопасностью, представленной на рис. 1.

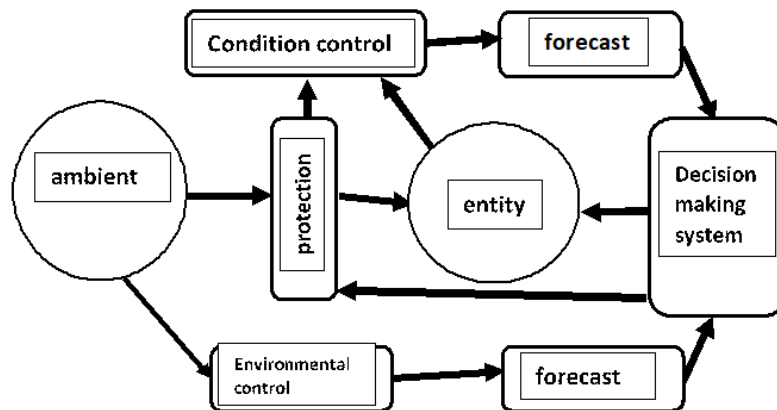


Рис. 1. Структура и компоненты системы управления безопасностью

Она состоит из следующих функциональных блоков:

- блок мониторинга внешней среды, выявления аномалий и угроз безопасности защищаемого объекта;
- блок прогнозирования внешних угроз;
- блок контроля состояния, выявления внутренних аномалий и внутренних угроз;
- блок прогнозирования внутренних угроз;
- блок принятия выбора управляющих воздействий по обеспечению безопасности;
- блок защиты от внешних угроз.

Система управления работает следующим образом. Средствами контроля внешней среды выявляются текущие и прогнозируемые угрозы внешней среды. Средствами контроля внутреннего состояния выявляются текущие и последующие угрозы.

Вероятности прогнозируемых угроз вычисляются как вероятности состояний марковской цепи.

Информация о внутренних и внешних угрозах поступает на блок принятия решений по выбору защитных мер обеспечения безопасности по изложенным алгоритмам, который находит оптимальное значение и набор мероприятий по обеспечению безопасности.

Вероятность успешного противодействия угрозам  $P_o(V) = P_o(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$  вычисляется с помощью логистической регрессии.

Программная реализация представляемой системы для задачи управления продовольственной безопасностью реализуется на языке Python с использованием известных библиотек Scikit-learn и TensorFlow [16–18].

### Заключение

1. Создание цифровой экономики требует своевременного и адекватного решения проблем ее защиты от угроз и прогнозируемых опасностей, что определяет актуальность приведения в соответствие новым задачам методической основы обеспечения продовольственной безопасности.

2. Предлагаемый комплексный подход к управлению продовольственной безопасностью на основе вероятностной оценки реализации организационных, организационно-ресурсных и технико-технологических процессов обеспечения безопасности позволяет использовать как комплексный критерий оценки уровня реализации указанных процессов, так и его декомпозицию по ним, что позволяет определять чувствительность обобщенного показателя продовольственной безопасности по отношению к компонентам указанных процессов, а также определять приоритетность разработки необходимых мер по обеспечению продовольственной безопасности с учетом выявления угроз и прогнозируемых опасностей.

3. Вероятностный критерий продовольственной безопасности позволяет математически формализовать и решить задачу оптимального управления продовольственной безопасностью.

4. Принцип минимума суммарных затрат является необходимым и достаточным критерием оптимального управления продовольственной безопасностью.

5. Математической и алгоритмической основой формулирования и решения задачи оптимального управления продовольственной безопасностью могут быть марковские цепи и логистическая регрессия с использованием вероятностного программирования и машинного обучения.

6. Для реализации системы управления безопасностью необходимым и достаточным будет использование языка программирования Python с библиотеками Scikit-learn и TensorFlow, а высоконагруженных и распределенных корпоративных или отраслевых систем будет Scala.

### Список литературы

1. Экономическая безопасность России. Общий курс : учебник / под ред. В. К. Сенчагова. 2-е изд. М. : Дело, 2005.
2. Воронин Е. А. Оценка и выбор систем безопасности обеспечения продовольствием // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 2. С. 124–128
3. Семкин А. Г., Воронин Е. А. Пространственное развитие специализированных высокотехнологичных зон на основе универсального показателя формирования продовольственной безопасности // Устойчивое развитие села, цифровизация и экономика АПК : материалы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава. СПб., 2023. С. 53–62.
4. Семкин А. Г., Воронин Е. А. Продовольственная безопасность как фактор стратегического пространственного развития отдельных специализированных, высокотехнологичных зон (территорий) в России // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 2. С. 2–10.
5. Иванова Т. Л. Теоретические подходы к управлению экономической безопасностью промышленного предприятия // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2017. № 1. С. 118–127.
6. Воронин Е. А., Юшин И. В. Актуальные проблемы обеспечения экономической безопасности в сфере цифровой экономики // Научное обозрение. Сер. 1, Экономика и право. 2020. № 1-2. doi: 10.26653/2076-4650-2020-1-2-13
7. Воронин Е. А., Юшин И. В., Сафронова Ю. В. Основные подходы к решению задач по обеспечению экономической безопасности в информационном пространстве цифровой экономики // Экономика и предпринимательство. 2020. Т. 116, № 3. С. 984–987.
8. Воронин Е. А., Нгуен К. Т. Выбор и обоснование критерия оценки и нормирования безопасности мероприятий и систем различного назначения // Научные технологии. 2018. Т. 19, № 4. С. 17–19.
9. Воронин Е. А. Оперативная оценка и прогнозирование угроз продовольственной безопасности на основе ограниченного набора статистических данных // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 2. С. 104–107.
10. Чжоу К., Фримэн Д. Машинное обучение и безопасность / пер. с англ. А. В. Снастина. М. : ДМК Пресс, 2020. 388 с.
11. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации / пер. с англ. А. В. Логунова. М. : ДМК Пресс, 2020. 1002 с.
12. Вирсански Э. Генетические алгоритмы на Python / пер. с англ. А. А. Слинкина. М. : ДМК Пресс, 2020. 286 с.



13. Омеляненко Я. Эволюционные нейросети на языке Python / пер. с англ. В. С. Яценкова. М. : ДМК Пресс, 2020. 310 с.
14. Скобцов Ю. А., Сперанский Д. В. Эволюционные вычисления. М. : Национальный открытый университет «ИНТУИТ», 2014.
15. Воронин Е. А., Юшин И. В. Оценка экономической безопасности и успешности противодействия экономическим угрозам методами машинного обучения // Экономика и межнациональная культура. 2020. № 4. С. 43–50.
16. Грас Дж. Data Science. Наука о данных с нуля / пер. с англ. СПб. : БХВ-Петербург, 2017. 336 с.
17. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / пер. с англ. СПб. : Альфа-книга, 2018. 688 с.
18. Рашка С., Мирджалили В. Python и машинное обучение: машинное и глубокое обучение с использованием Python, Scikit-learn и TensorFlow 2 : пер. с англ. 3-е изд. СПб. : Диалектика, 2020. 848 с.
19. Ховард Р. А. Динамическое программирование и марковские процессы. М. : Сов. радио, 1964. 190 с.
20. Сукар Л. Э. Вероятностные, графовые модели. Принципы и приложения / пер. с англ. А. В. Снастина. М. : ДМК Пресс, 2021. 338 с.
21. Воронин Е. А. Юшин И. В. Прогнозирование угроз и выбор оптимальной стратегии обеспечения экономической безопасности методами машинного обучения // Научное обозрение. Сер. 1, Экономика и право. 2019. № 6. С. 115–123.
22. Кэмерон Д.-П. Вероятностное программирование на Python: байесовский вывод и алгоритмы. СПб. : Питер, 2019. 256 с.
23. Пфедфер А. Вероятностное программирование на практике / пер. с англ. А. А. Слинкин. М. : ДМК Пресс, 2017. 462 с.
24. Воронин Е. А., Дарьина А. Н., Дивеев А. И. [и др.]. У истоков теории надежности сложных систем // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 1. С. 3–4.
25. Воронин Е. А. Оценка и выбор систем безопасности обеспечения продовольствием // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 2. С. 124–128.

### References

1. Senchagov V.K. (ed.). *Ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii. Obshchiy kurs: uchebnik. 2-e izd. = Economic security of Russia. General course : textbook. 2nd ed.* Moscow: Delo, 2005. (In Russ.)
2. Voronin E.A. Assessment and choice of food security systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2020;(2):124–128. (In Russ.)
3. Semkin A.G., Voronin E.A. Spatial development of specialized high-tech zones on the basis of a universal indicator of food security formation. *Ustoychivoe razvitie sela, tsifrovizatsiya i ekonomika APK: materialy Vseros. (natsional'noy) nauch.-prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava = Sustainable rural development, digitalization and the economy of agriculture : materials of All Russia. (national) scientific and Practical conference of the teaching staff.* Saint Petersburg, 2023:53–62. (In Russ.)
4. Semkin A.G., Voronin E.A. Food security as a factor of strategic spatial development of certain specialized, high-tech zones (territories) in Russia. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii = The economics of agriculture in Russia.* 2023;(2):2–10. (In Russ.)
5. Ivanova T.L. Theoretical approaches to managing the economic security of an industrial enterprise. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya = Innovative economy: prospects for development and improvement.* 2017;(1):118–127. (In Russ.)
6. Voronin E.A., Yushin I.V. Actual problems of ensuring economic security in the field of digital economy. *Nauchnoe obozrenie. Ser. 1, Ekonomika i pravo = Scientific review. Ser. 1, Economics and law.* 2020;(1-2). (In Russ.). doi: 10.26653/2076-4650-2020-1-2-13
7. Voronin E.A., Yushin I.V., Safronova Yu.V. Basic approaches to solving problems of ensuring economic security in the information space of the digital economy. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Economics and entrepreneurship.* 2020;116;(3):984–987. (In Russ.)
8. Voronin E.A., Nguen K.T. The choice and justification of criteria for evaluating and rationalizing the safety of measures and systems for various purposes. *Naukoemkie tekhnologii = High-tech technologies.* 2018;19(4):17–19. (In Russ.)
9. Voronin E.A. Operational assessment and forecasting of threats to food security based on a limited set of statistical data. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2022;2:104–107. (In Russ.)
10. Chio K., Frimen D. *Mashinnoe obuchenie i bezopasnost' = Machine learning and security.* Transl. from Eng. by A.V. Snastina. Moscow: DMK Press, 2020:388. (In Russ.)
11. Saymon D. *Algoritmy evolyutsionnoy optimizatsii = Algorithms of evolutionary optimization.* Transl. from Eng. by A.V. Logunova. Moscow: DMK Press, 2020:1002. (In Russ.)
12. Virsanski E. *Geneticheskie algoritmy na Python = Genetic algorithms in Python.* Transl. from Eng. by A.A. Slinkina. Moscow: DMK Press, 2020:286. (In Russ.)

13. Omel'yanenko Ya. *Evolyutsionnye neyroseti na yazyke Python = Evolutionary neural networks in Python*. Transl. from Eng. by V.S. Yatsenkova. Moscow: DMK Press, 2020:310. (In Russ.)
14. Skobtsov Yu.A., Speranskiy D.V. *Evolyutsionnye vychisleniya = Evolutionary calculations*. Moscow: Natsional'nyy otkrytyy universitet «INTUIT», 2014. (In Russ.)
15. Voronin E.A., Yushin I.V. Assessment of economic security and the success of countering economic threats using machine learning methods. *Ekonomika i mezhnatsional'naya kul'tura = Economics and international culture*. 2020;(4):43–50. (In Russ.)
16. Gras Dzh. *Data Science. Nauka o dannyykh s nulya = Data Science. Data Science from scratch*. Transl. from Eng. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2017:336. (In Russ.)
17. Zheron O. *Prikladnoe mashinnoe buchenie s pomoshch'yu Scikit-Learn i TensorFlow: kontseptsii, instrumenty i tekhniki dlya sozdaniya intellektual'nykh sistem = Applied machine learning using Scikit-Learn and TensorFlow: concepts, tools and techniques for creating intelligent systems*. Transl. from Eng. Saint Petersburg: Al'fa-kniga, 2018:688. (In Russ.)
18. Rashka S., Mirdzhalili V. *Python i mashinnoe obuchenie: mashinnoe i glubokoe obuchenie s ispol'zovaniem Python, Scikit-learn i TensorFlow 2: per. s angl. 3-e izd. = Python and machine learning: machine and deep learning using Python, Scikit-learn and TensorFlow 2: trans. from English. 3rd ed*. Saint Petersburg: Dialektika, 2020:848. (In Russ.)
19. Khovard R.A. *Dinamicheskoe programmirovaniye i markovskie protsessy = Dynamic programming and Markov processes*. Moscow: Sov. radio, 1964:190. (In Russ.)
20. Sukar L.E. *Veroyatnostnye, grafovye modeli. Printsipy i prilozheniya = Probabilistic, graph models. Principles and applications*. Transl. from Eng. by A.V. Snastina. Moscow: DMK Press, 2021:338. (In Russ.)
21. Voronin E.A., Yushin I.V. Forecasting threats and choosing the optimal strategy for ensuring economic security using machine learning methods. *Nauchnoye obozreniye. Ser. 1, Ekonomika i parvo = Scientific Review. Series 1, Economics and Law*. 2019;(6):115–123. (In Russ.)
22. Kameron D.-P. *Veroyatnostnoye programmirovaniye na Python: bayesovskiy vyvod i algoritmy = Probabilistic programming in Python: Bayesian inference and algorithms*. Saint Petersburg: Piter, 2019:256. (In Russ.)
23. Pfeffer A. *Veroyatnostnoye programmirovaniye na praktike = Probabilistic programming in practice*. Transl. from Eng. by A.A. Slinkin. Moscow: DMK Press, 2017:462. (In Russ.)
24. Voronin E.A., Dar'ina A.N., Diveev A.I. et al. At the origins of the theory of reliability of complex systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;(1):3–4. (In Russ.)
25. Voronin E.A. Assessment and choice of food security systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;(2):124–128. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Евгений Алексеевич Воронин

доктор технических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник,  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление»  
Российской академии наук  
(Россия, г. Москва, пр-кт 60-летия Октября, 9)  
E-mail: e.voronin1@gmail.com

#### Александр Григорьевич Семкин

доктор экономических наук,  
заведующий отделом систем управления,  
интеграции и кооперации в АПК,  
Федеральный научный центр аграрной экономики  
и социального развития сельских территорий –  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт экономики сельского хозяйства  
(Россия, г. Москва, Хорошевское шоссе, 35)  
E-mail a.semkin@vniiesh.ru

#### Evgeny A. Voronin

Doctor of technical sciences, professor,  
leading researcher,  
Federal Research Center "Computer Science  
and Control" of the Russian Academy of Sciences  
(9 60-letiya Oktyabrya avenue, Moscow, Russia)

#### Aleksandr G. Semkin

Doctor of economical sciences, head of the department  
of management systems, integration and cooperation in  
the agro-industrial complex,  
Federal Scientific Center for Agrarian Economics  
and Social Development of Rural Territories –  
All-Russian Research Institute of Agricultural  
Economics  
(35 Khoroshevskoe highway, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 04.09.2023**

**Поступила после рецензирования / Revised 14.09.2023**

**Принята к публикации / Accepted 25.09.2023**