ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ/TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT FOR FORESTRY AND WOOD PROCESSING

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИРОВАННОГО МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА АЛЬТЕРНАТИВ TOPSIS ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭНТОМОФАГОВ ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Научная статья

Замотайлова Д.А.[1, *], Коляда В.В.[2], Симонов Ф.С.[3]
[1] ORCID : 0000-0001-7271-8677;
[1, 2, 3] Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Крансодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (idalia[at]mail.ru)

Аннотация

В данной работе анализируется программное решение, позволяющее автоматизировать использование адаптированного метода TOPSIS, применяемого для многокритериального анализа альтернатив при проведении процедуры оценки энтомофагов вредителей сельскохозяйственных растений группами экспертов. Предлагаемое решение предлагается использовать для проведения экспертами оценки альтернативных вариантов по сгруппированным критериям с возможностью гибкой настройки коэффициентов значимости. Программный продукт, представленный в работе, разработан на платформе .NET Framework с использованием языка программирования C#. Программный продукт ориентирован на использование широким кругом специалистов для проведения оценки альтернатив; может быть использован как самостоятельный продукт, однако в дальнейшем предполагается его включение в состав программного комплекса поддержки принятия решений.

Ключевые слова: многокритериальный анализ, альтернативы, TOPSIS, система поддержки принятия решений, экспертная оценка, энтомофаги.

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE ADAPTED TOPSIS METHOD OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF ALTERNATIVES FOR DECISION SUPPORT IN THE ASSESSMENT OF ENTOMOPHAGE PESTS OF AGRICULTURAL PLANTS

Research article

Zamotajlova D.A.[1, *], Kolyada V.V.[2], Simonov F.S.[3]
[1] ORCID : 0000-0001-7271-8677;
[1, 2, 3] Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (idalia[at]mail.ru)

Abstract

This work analyses a software solution to automate the use of the adapted TOPSIS method used for multi-criteria analysis of alternatives in the procedure of assessing entomophage pests of agricultural plants by groups of experts. The suggested solution is proposed to be used for experts' evaluation of alternatives according to grouped criteria, with the possibility of flexible adjustment of significance coefficients. The software product presented in the paper is developed on the .NET Framework platform using the C# programming language. The software product is oriented to be used by a wide range of specialists for the evaluation of alternatives; it can be used as an independent product, but in the future it is expected to be included in the decision support software complex.

Keywords: multi-criteria analysis, alternatives, TOPSIS, decision support system, expert judgement, entomophages.

Введение

В настоящее время оценка альтернатив является распространенным компонентов процесса принятия решений в различных областях деятельности человека. Очевидно, что для повышения объективности оценки и качества принимаемого в дальнейшем решения, следует применять наиболее эффективный и удобный инструментарий, наиболее часто включающий в себя математические модели и программные продукты, поддерживающие и автоматизирующие их использование. Существует достаточно большое количество различных методов, использование которых позволяет повысить качество оценки и сравнения альтернатив: метод анализа иерархий (AHP), ELECTRE, многокритериальная теория полезности (MAUT), TOPSIS и другие. Проведенные исследования показали, что наиболее перспективным для использования в рамках проводимого исследования является метод TOPSIS, так как именно он позволяет гибко настраивать параметры оценки и подключать к процедуре не одного эксперта, а их группу, что существенно повышает объективность проводимой процедуры.

Процесс многокритериальной оценки альтернатив при подборе энтомофагов вредителей сельскохозяйственных культур является неотъемлемой составляющей, так как для успешной интродукции энтомофага в агроценоз необходимо четко понимать, не является ли рассматриваемый вариант неоптимальным с точки зрения требуемых инвестиций (для создания необходимых для энтомофага внешних и внутренних условий), соответствует ли он изначально условиям имеющейся экологической ниши и т.д. В связи с этим разработка эффективных инструментов поддержки многокритериальной оценки альтернатив при подборе энтомофагов сельскохозяйственных вредителей является актуальной.

Системы и продукты, подобные предлагаемой в данном исследовании, отсутствуют на рынке; не применяются в настоящее время методы многокритериальной оценки альтернатив в неавтоматизированном виде, так как являются достаточно сложными для реализации.

Методы и принципы исследования

Ранее отмечалось, что в качестве базового инструмента для реализации многокритериального анализа альтернатив при подборе энтомофагов вредителей сельскохозяйственных культур выбран адаптированный метод TOPSIS. Использование этого метода позволяет производить гибкую настройку параметров оценки альтернатив, тем самым повышая качество оценки и увеличивая ее объективность.

К работе по оценке альтернатив с использованием адаптированного метода TOPSIS может привлекаться неограниченное количество экспертов, имеющих разную квалификацию и являющихся представителями разных отраслей. Отметим однако, что при привлечении к оценке значительного количества экспертов существенно повышается сложность дальнейших расчетов без применения программных продуктов и инструментов.

Алгоритм проведения оценки альтернатив в рамках использования адаптированного метода TOPSIS [1], [2], [3] включает в себя следующие этапы:

1. Определение групп критериев и перечня частных критериев для проведения текущей процедуры оценки альтернатив:

$$R^l = \left[r_{iz}^l\right], l = \overline{1,g} \leftrightarrow \left\{a_{iz}^l, b_{iz}^l, c_{iz}^l, d_{iz}^l\right\}, l - \overline{1,g}. \tag{1}$$

2. Расстановка коэффициентов значимости групп критериев и частных критериев.

3. Оценка альтернатив экспертами (с использованием лингвистических переменных).

4. Агрегирование матрицы:

$$\begin{gathered} a_{iz} = \left\{\min a_{iz}^{vl}, l = \overline{1,g}\right\}; \\ b_{iz} = \frac{1}{g}\sum_{l=1}^{g} b_{iz}^{vl} \\ c_{iz} = \frac{1}{g}\sum_{l=1}^{g} c_{iz}^{vl} \\ d_{iz} = \left\{\max d_{iz}^{vl}, l = \overline{1,g}\right\}. \end{gathered} \tag{2}$$

5. Нормализация матрицы полученных результатов:

$$d_z^+ = \max d_{iz}^w, i = \overline{1,n} \tag{3}$$

6. Расчет взвешенной матрицы:

$$R_{iz}^N = \left[r_{iz}^N\right] \leftrightarrow \left\{a_{iz}^N, b_{iz}^N, c_{iz}^N, d_{iz}^N\right\} \leftrightarrow \left\{\frac{a_{iz}^W}{d_z^+}, \frac{b_{iz}^w}{d_z^+}, \frac{c_{iz}^W}{d_z^+}, \frac{d_{iz}^W}{d_z^+}\right\}. \tag{4}$$

7. Расчет идеального позитивного и идеального негативного решений (ИПР и ИНР):

$$d_z^+ = \left\{\max d_{iz}^N, i = \overline{1,n}\right\}. \tag{5}$$

$$a_z^- = \left\{\min a_{iz}^N, i = \overline{1,n}\right\} \tag{6}$$

8. Расчет расстояний оцениваемых альтернатив до ИПР и ИНР:

$$D^*\left(x_i\right) = \sqrt{\sum_{z=1}^{Z}\left(D^*\left(x_i, X^*\right)^2\right.}. \tag{7}$$

$$D^-\left(x_i\right) = \sqrt{\sum_{z=1}^{Z}\left(D^-\left(x_i, X^*\right)^2\right.}. \tag{8}$$

9. Получение интегральной оценки альтернатив с их последующим ранжированием:

$$\begin{gathered} D\left(x_i\right) = D^*\left(x_i\right) + D^-\left(x_i\right), \\ \varphi\left(x_i\right) = \frac{D^-\left(x_i\right)}{D\left(x_i\right)} \end{gathered}. \tag{9}$$

Метод удобен для использования экспертами, так как для оценки им предлагается использовать набор лингвистических переменных, а не присваивать альтернативе по критерию нечеткую оценку. Перевод набора лингвистических переменных, полученных на этапе оценки альтернатив экспертами, в трапециевидные числа производится на этапе нормализации матрицы. Использование трапециевидных чисел также позволяет повысить точность оценки.

С учетом того, что наиболее подходящими для использования при интродукции в агроценоз для борьбы с сельскохозяйственными вредителями в условиях Краснодарского края и в целом Южного федерального округа являются хищные жужелицы (Coleoptera: Carabidae) [4], [5], [6], [7], [8], [9], группы критериев и частные критерии для оценки альтернатив будут подбираться в привязке к этому.

Предлагается разделить все используемые в рамках оценки критерии на следующие группы:

- географические (температура, влажность, тип почвы и т.д.);
- корректирующие (рельеф, особенности возделывания культуры, состав почвы и т.д.);
- экономические (включает критерии, описывающие особенности использования и интродукции энтомофага с экономической точки зрения).

Основные результаты

Для обеспечения соответствия программного продукта требованиям экспертов, а также учета всех этапов проектирования программного продукта, разработана модель процесса оценки альтернатив из числа энтомофагов вредителей сельскохозяйственных культур в нотации BPMN.

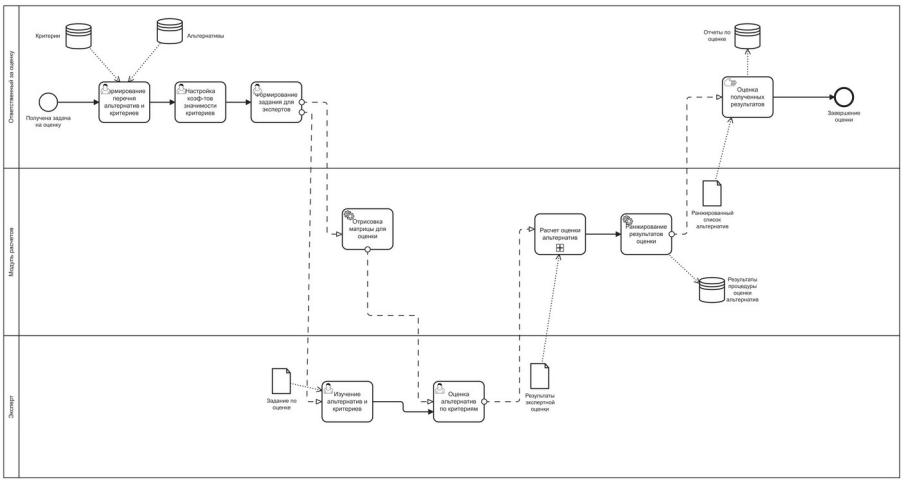


Рисунок 1 - Модель процесса оценки альтернатив методом TOPSIS
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16.1

Модель процесса оценки альтернатив адаптированным методом TOPSIS в нотации BPMN представлена ниже.

Рисунок 2 - Подмодель процесса оценки альтернатив методом TOPSIS
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16.2

На базе представленных моделей разработан рабочий прототип программного продукта, автоматизирующего расчеты согласно адаптированному методу TOPSIS.

На рисунке 3 представлено окно настройки процедуры оценки.

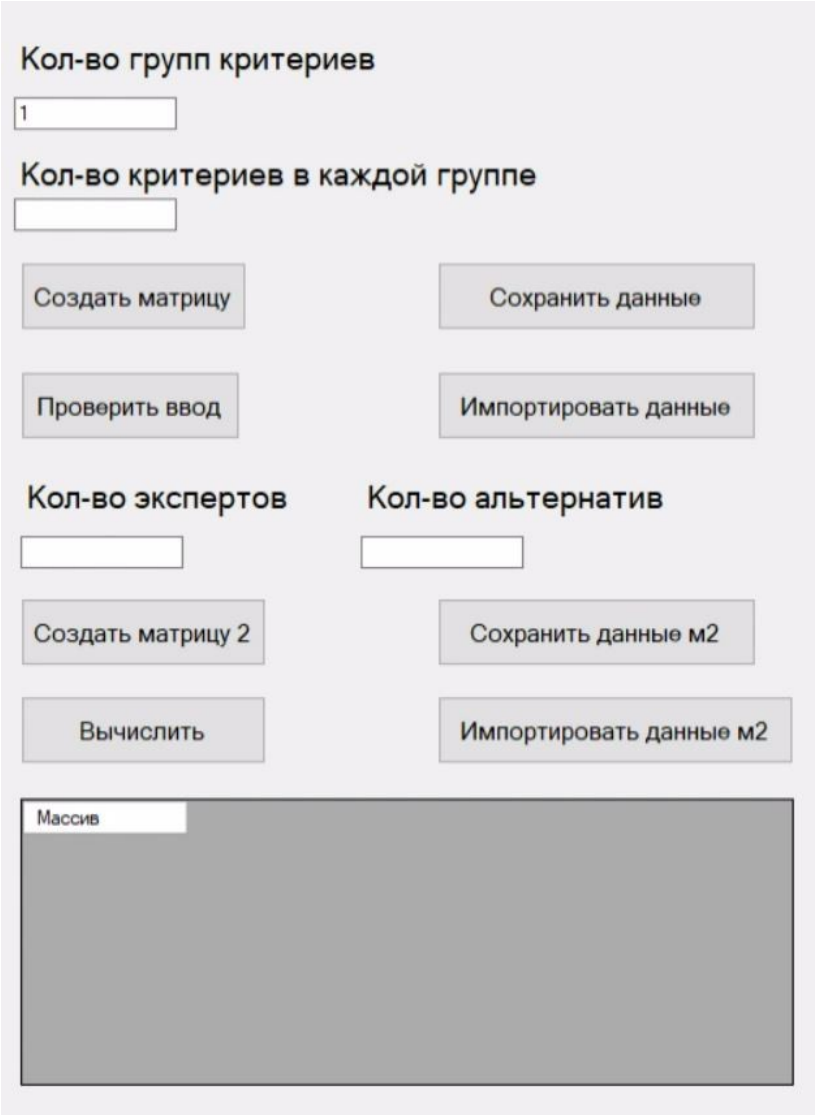
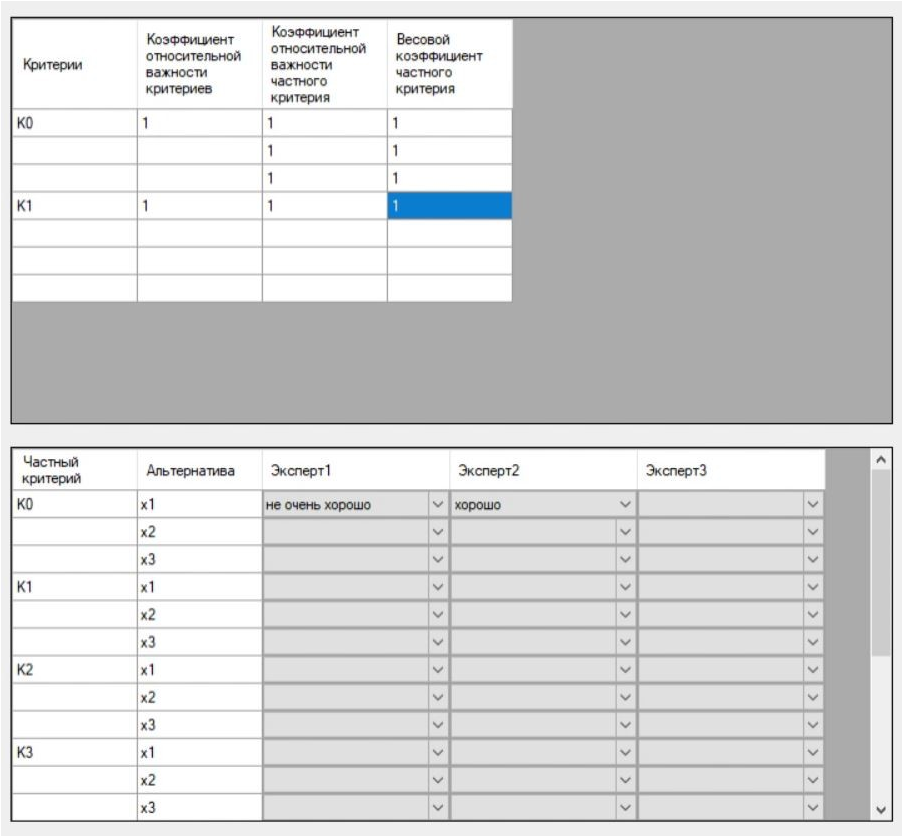


Рисунок 3 - Окно настройки процедуры оценки
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16.3

Логически окно настройки разделено на две части: «настройка критериев», в которой вводятся данные, необходимые для дальнейшей расстановки весовых коэффициентов, и «настройка оценки», в которую вносится количество альтернатив и экспертов, принимающих участие в оценке. После настройки критериев производится отрисовка матрицы критериев; ввод данных по количеству альтернатив позволяет отрисовать оценочную матрицу. Важно выполнять операции именно в следующей последовательности:

1. Настройка критериев.
2. Настройка оценки.

Отрисованные матрицы представлены на рисунке 4.



Критерии	Коэффициент относительной важности критериев	Коэффициент относительной важности частного критерия	Весовой коэффициент частного критерия
K0	1	1	1
		1	1
		1	1
K1	1	1	1

Частный критерий	Альтернатива	Эксперт1	Эксперт2	Эксперт3
K0	x1	не очень хорошо	хорошо	
	x2			
	x3			
K1	x1			
	x2			
	x3			
K2	x1			
	x2			
	x3			
K3	x1			
	x2			
	x3			

Рисунок 4 - Формы ввода информации по весовым коэффициентам критериев и оценкам
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16.4

Далее оператором информационной системы производится ввод данных. Отметим, что возможен не только ручной ввод параметров, но и их импорт из файла при помощи соответствующих кнопок в формах настройки.

После ввода или импорта данных оценки можно производить вычисление результатов оценки. Оператору не демонстрируются промежуточные этапы вычислений, а сразу выводятся результаты ранжирования (последний этап алгоритма адаптированного метода TOPSIS). На рисунке 5 представлены результаты ранжирования альтернатив.

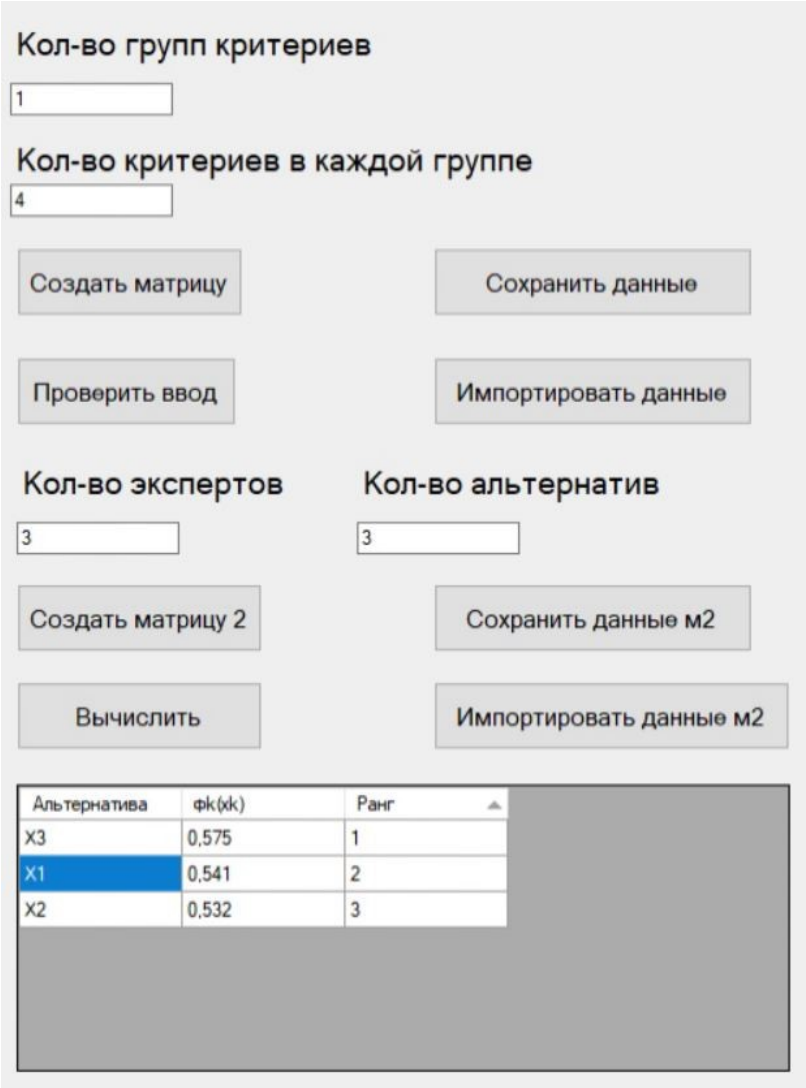


Рисунок 5 - Результаты ранжирования альтернатив
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16.5

Обсуждение

Адаптированный метод TOPSIS представляет собой первый уровень эколого-математической модели анализа и прогнозирования динамики популяций энтомофагов сельскохозяйственных вредителей. Всего модель состоит их двух уровней:

1. Оценка энтомофагов, доступных для использования или интродукции в агроценоз с помощью адаптированного метода TOPSIS;

2. Прогнозирование динамики популяции энтомофагов в агроценозе с использованием адаптированной модели А.Н. Колмогорова [10].

Использование предлагаемой эколого-математической модели позволит существенно упростить процедуру выбора оптимального энтомофага или карабидокомплекса для его использования в качестве основного элемента системы защиты растений (в рамках применения биологических методов).

Реализация первого уровня модели позволит сократить перечень уже имеющихся в агроценозе или доступных для интродукции энтомофагов, определив оптимальных для использования и выявив, что искомые отсутствуют.

Реализация второго уровня модели (при условии получения данных с первого уровня) позволит произвести анализ динамики популяции выбранного энтомофага и произвести ее прогноз для принятия окончательного решения о возможности его применения для борьбы с сельскохозяйственными вредителями в конкретном случае или отсутствии доступных для использования энтомофагов.

Общая модель программного комплекса анализа и прогнозирования динамики популяций энтомофагов сельскохозяйственных вредителей может быть проиллюстрирована следующей моделью процесса.

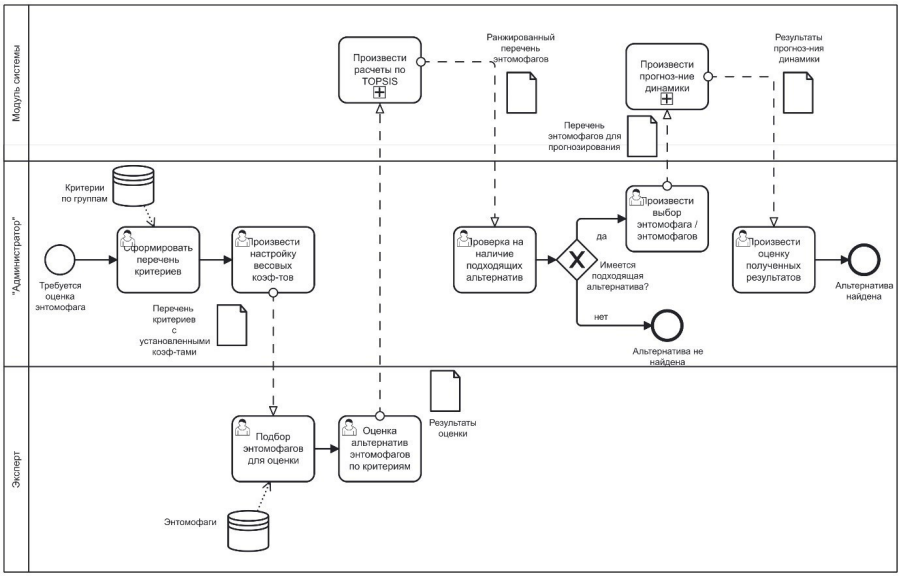


Рисунок 6 - Модель процесса реализации двухуровневой эколого-математической модели
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.16.6

Заключение

Использование программно-математического инструментария анализа и прогнозирования динамики популяций энтомофагов вредителей сельскохозяйственных культур позволит существенно продвинуться в вопросе более эффективного и обоснованного использования биологических методов защиты растений. Отметим, что именно использование биометода позволяет повышать качество сельскохозяйственной продукции, успешно реализовывать концепцию «зеленого земледелия».

Очевидно, что большое значение имеет именно анализ конкретного энтомофага на первом уровне предлагаемой эколого-математической модели, так как именно он позволяет «отсеять» неподходящие альтернативы. Отметим, что зачастую при оценке энтомофага сельскохозяйственных вредителей ключевую роль будут играть критерии из группы «экономические», так как даже при возможности создания внешних и внутренних условий для конкретного агроценоза, такие процедуры могут быть не рентабельны. В связи с этим следует особенно тщательно подходить к подбору экономических критериев оценки и настройки модели в части установки коэффициентов значимости для них.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, https://rscf.ru/en/project/24-21-20016/, № 24-21-20016.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The study was funded by a grant from the Russian Science Foundation, https://rscf.ru/en/project/24-21-20016/, № 24-21-20016.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Zamotajlova D.A. Prospects for the development of the experts' competence assessing tools as one of the TOPSIS method stages / D.A. Zamotajlova, E.V. Popova, P.G. Gorkavoj et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — № 786.

2. Сеидова И. Применение метода TOPSIS для принятия решений / И. Сеидова, Л. Мамедова // Sciences of Europe. — 2023. — № 112. — С. 63–68.

3. Замотайлова Д.А. Метод A-TOPSIS для решения задач многокритериальной оптимизации / Д.А. Замотайлова, Д.Н. Савинская, Е.В. Попова // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. Сборник тезисов по материалам V Национальной конференции. — Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. — С. 62.

4. Николаева С.А. Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах при органической системе земледелия / С.А. Николаева, А.О. Колесникова // Биологическое разнообразие как основа существования и функционирования естественных и искусственных экосистем : Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. — Москва : Издательство Истоки, 2015. — С. 243–248.

5. Сердюк В.Ю. Перспективы использования жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в органическом земледелии на Кубани / В.Ю. Сердюк, А.С. Замотайлов // Защита растений от вредных организмов : материалы IX международной научно-практической конференции. — Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. — С. 240–241.

6. Хомицкий Е.Е. Аборигенные энтомофаги семейства жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в условиях защищенного и открытого грунта и перспективы их использования в борьбе с вредителями сельского хозяйства / Е.Е. Хомицкий, А.С. Замотайлов, А.И. Белый // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности : сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции. — Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. — С. 335–337.

7. Хомицкий Е.Е. Аттрактивность элементов органического земледелия для жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в условиях предгорной зоны Краснодарского края / Е.Е. Хомицкий, А.С. Замотайлов, М.И. Шаповалов // Наука: комплексные проблемы. — 2015. — № 1(5). — С. 41–53.

8. Хомицкий Е.Е. К изучению миграций жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроландшафтах Краснодарского края / Е.Е. Хомицкий, А.С. Замотайлов, А.И. Белый и др. // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг : Сб. мат. II Международной науч.-практ. конференции. — Майкоп : Адыгейский государственный университет, 2015. — С. 85–88.

9. Хомицкий Е.Е. Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) в агробиоценозах Кубани: ретроспективный обзор исследований / Е.Е. Хомицкий, А.С. Замотайлов, А.И. Белый и др. // Труды Кубанского Государственного Аграрного университета. — 2019. — № 79. — С. 80–89.

10. Колмогоров А.Н. Качественное изучение математических моделей динамики популяций / А.Н. Колмогоров // Проблемы кибернетики. — 1972. — Вып. 25. — С. 101–106.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zamotajlova D.A. Prospects for the development of the experts' competence assessing tools as one of the TOPSIS method stages / D.A. Zamotajlova, E.V. Popova, P.G. Gorkavoj et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — № 786.

2. Seidova I. Primenenie metoda TOPSIS dlya prinyatiya reshenii [Application of TOPSIS method for decision-making] / I. Seidova, L. Mamedova // Sciences of Europe [Sciences of Europe]. — 2023. — № 112. — P. 63–68. [in Russian]

3. Zamotailova D.A. Metod A-TOPSIS dlya resheniya zadach mnogokriterialnoi optimizatsii [A-TOPSIS method for solving multi-criteria optimisation problems] / D.A. Zamotailova, D.N. Savinskaya, Ye.V. Popova // Scientific and technological support of the agro-industrial complex of Russia: problems and solutions. Collection of theses on the materials of the V National Conference. — Krasnodar : Kubanskii gosudarstvennii agrarnii universitet imeni I.T. Trubilina, 2020. — P. 62. [in Russian]

4. Nikolaeva S.A. Zhuzhelitsi (Coleoptera, Carabidae) v agrotsenozakh pri organicheskoi sisteme zemledeliya [Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in agrocenoses under organic farming system] / S.A. Nikolaeva, A.O. Kolesnikova // Biological diversity as a basis for existence and functioning of natural and artificial ecosystems : Proceedings of the All-Russian Youth Scientific Conference. — Moscow : Izdatelstvo Istoki, 2015. — P. 243–248. [in Russian]

5. Serdyuk V.Yu. Perspektivi ispolzovaniya zhukov-zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) v organicheskom zemledelii na Kubani [Prospects for the use of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in organic farming in Kuban] / V.Yu. Serdyuk, A.S. Zamotailov // Plant protection from pests : proceedings of IX International Scientific and Practical Conference. — Krasnodar : Kubanskii gosudarstvennii agrarnii universitet imeni I.T. Trubilina, 2019. — P. 240–241. [in Russian]

6. Khomitskii Ye.E. Aborigennie entomofagi semeistva zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) v usloviyakh zashchishchennogo i otkritogo grunta i perspektivi ikh ispolzovaniya v borbe s vreditelyami selskogo khozyaistva [Native entomophages of the ground beetle family (Coleoptera, Carabidae) in protected and open ground conditions and prospects for their use in agricultural pest control] / Ye.E. Khomitskii, A.S. Zamotailov, A.I. Belii // Ecological problems of agrolandscapes development and ways to increase their productivity : collection of articles on the materials of the International Scientific Ecological Conference. — Krasnodar : Kubanskii gosudarstvennii agrarnii universitet imeni I.T. Trubilina, 2018. — P. 335–337. [in Russian]

7. Khomitskii Ye.E. Attraktivnost elementov organicheskogo zemledeliya dlya zhukov-zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) v usloviyakh predgornoi zoni Krasnodarskogo kraya [Attractiveness of organic farming elements for ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the conditions of the foothill zone of Krasnodar Krai] / Ye.E. Khomitskii, A.S. Zamotailov, M.I. Shapovalov // Nauka: kompleksnie problemi [Science: complex issues]. — 2015. — № 1(5). — P. 41–53. [in Russian]

8. Khomitskii Ye.E. K izucheniyu migratsii zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) v agrolandshaftakh Krasnodarskogo kraya [To the study of ground beetle (Coleoptera, Carabidae) migrations in agrolandscapes of Krasnodar Krai] / Ye.E. Khomitskii, A.S. Zamotailov, A.I. Belii et al. // Biodiversity. Bioconservation. Biomonitoring: Collection of materials. II International Scientific and Practical Conference. — Maikop : Adigeiskii gosudarstvennii universitet, 2015. — P. 85–88. [in Russian]

9. Khomitskii Ye.E. Zhuzhelitsi (Coleoptera, Carabidae) v agrobiotsenozakh Kubani: retrospektivnii obzor issledovanii [Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in Kuban agrobiocoenosis: a retrospective review of studies] / Ye.E. Khomitskii, A.S. Zamotailov, A.I. Belii et al. // Trudi Kubanskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo universiteta [Works of Kuban State Agrarian University]. — 2019. — № 79. — P. 80–89. [in Russian]

10. Kolmogorov A.N. Kachestvennoe izuchenie matematicheskikh modelei dinamiki populyatsii [Qualitative study of mathematical models of population dynamics] / A.N. Kolmogorov // Problemi kibernetiki [Problems of cybernetics]. — 1972. — Вып. 25. — P. 101–106. [in Russian]