

УДК 338.26

**С. О. Крамаров**

Сургутский государственный университет, Сургут, e-mail: maooovo@yandex.ru

**Л. В. Сахарова**

Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, e-mail: L\_Sakharova@mail.ru

## **МЕТОДИКА НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАЙОНАХ РЕГИОНА И ИХ РАНЖИРОВАНИЯ**

**Ключевые слова:** Математическая модель, методы оценки состояния экономических систем, комплексная оценка, система показателей, нечеткая логика.

В статье предложена универсальная модель комплексной оценки состояния экономической системы на основе совокупности разнородных показателей. В качестве математического аппарата модель использует системы нечетко-логических выводов, так называемые нечеткие многоуровневые  $[0,1]$  – классификаторы. Для оценки устойчивости сельского хозяйства в районах региона предложено использовать нечетко-множественное агрегирование соответствующих нормированных оценок трех подсистем: экономической, социальной и экологической. Каждая из оценок подсистем может быть получена посредством нечетко-множественного агрегирования временных рядов разнородных показателей, выбранных в соответствии с общепринятыми методиками оценивания. Методика обладает рядом преимуществ перед существующими аналогами, а именно, универсальностью, учетом весовых коэффициентов показателей и их вариативностью, возможностью учета мнений экспертов. Для реализации методики разработано специализированное программное обеспечение. Методика апробирована на статистических данных для Ростовской области, взятых из Росстата, а также Экологического вестника Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области». Установлено, что все районы Ростовской области могут быть отнесены к терму «развитие, близкое к устойчивому», причем последние два района с равным успехом могут быть отнесены к пятому терму «высокий уровень устойчивости».

**S. O. Kramarov**

Surgut State University, Surgut, e-mail: maooovo@yandex.ru

**L. V. Sakharova**

Rostov State University of Economics (RINH), Rostov-on-Don, e-mail: L\_Sakharova@mail.ru

## **METHODOLOGY FOR FUZZY-MULTIPLE ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN REGIONS AND THEIR RANKING**

**Keywords:** mathematical model, methods for assessing the state of economic systems, integrated assessment, scorecard, fuzzy logic.

The article proposes a universal model for a comprehensive assessment of the state of the economic system based on a set of heterogeneous indicators. As a mathematical apparatus, the model uses systems of fuzzy-logical inferences, the so-called fuzzy multilevel  $[0,1]$  classifiers. To assess the sustainability of agriculture in the regions of the region, it is proposed to use fuzzy-multiple aggregation of the corresponding normalized estimates of the three subsystems: economic, social and environmental. Each of the subsystem estimates can be obtained by fuzzy-multiple aggregation of time series of dissimilar indicators selected in accordance with generally accepted estimation methods. The method has a number of advantages over existing analogues, namely, versatility, taking into account the weighting coefficients of indicators and their variability, the ability to take into account the opinions of experts. To implement the methodology, specialized software has been developed. The methodology was tested by statistical data for the Rostov region, taken from Rosstat, as well as the Don Ecological Bulletin «On the state of the environment and natural resources of the Rostov region.» It has been established that all regions of the Rostov Region can be assigned to the term «development close to sustainable», and the last two regions can equally well be assigned to the fifth term «high level of sustainability».

### **Введение**

Проблема оценки устойчивости развития производства в регионе, в том числе сельскохозяйственного, представляет

собой, с математической точки зрения, задачу оценки сложной социально-экономической системы по комплексу разнородных показателей. Существуют

различные подходы как к определению устойчивого развития производства в регионе [1 – 3], так и к проведению оценки уровня устойчивости его развития. Тем не менее, для них можно выделить общие принципы. Математическая реализация оценки состоит из двух важных этапов: 1) выбор и обоснование системы показателей, характеризующих устойчивость производства; 2) разработка на их основе системы качественных и количественных индексов, характеризующих степень устойчивости производства. Если первый этап в настоящее время разработан в полном объеме, то второй этап требует проведения дополнительных исследований, в том числе, с привлечением аппарата нечеткой логики. Устойчивое развитие сельского хозяйства подразумевает непрерывный рост производства продукции растениеводства и животноводства, а также расширение сферы услуг для товаропроизводителей, рост эффективности сельскохозяйственного производства, качественные преобразования социальной сферы тружеников села, внедрение инноваций, акцент на ресурсосберегающие и экологически чистые технологии [4].

Анализ литературных источников показывает, что уже разработаны несколько классов моделей и методик, направленных на оценку устойчивости сельскохозяйственной сферы производства [5-7]. Например, в работе [5] рассмотрены два подхода оценки устойчивости сельскохозяйственного производства. Первый подход основан на формировании и исследовании системы специфических индикаторов, отражающих устойчивость частных сфер сельскохозяйственного производства: экономической, социальной, экологической, управленческой и пр. Второй подход подразумевает формирование неких интегральных показателей, отражающих устойчивость развития каждой из перечисленных сфер в заданном регионе. Совокупность индикаторов является варьируемой и определяется задачами, поставленными в каждом конкретном исследовании. Кроме того, варьируются мнения авторов о том, какие совокупности показателей считают значимыми в определенных случаях.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что существующие

модели обладают такими недостатками, как: 1) локальность, привязанность к конкретной решаемой задаче; 2) малая универсальность, отсутствие единых алгоритмов построения оценок; 3) невозможность ранжирования показателей, а также невозможность учета экспертных мнений при построении оценок. С точки зрения математического моделирования проблему можно трактовать следующим образом. Для оценки устойчивости можно рассматривать систему показателей, используемых для оценки эффективности, по группам (экономическая, социальная, экологическая). Устойчивому развитию системы (район, регион, страна либо отдельная подотрасль) соответствует: 1) нахождение показателей, на основе которых строятся интегрированные оценки, в нормативных рамках, определяемых из смысла задачи, что соответствует, в свою очередь, известным интервалам изменения интегрированных оценок; 2) положительная динамика показателей, имеющая численное отражение в интегральных оценках соответствующих групп.

**Целью исследования** является разработка методики оценки устойчивости сельскохозяйственного производства в районах региона, как тенденции к устойчивому росту интегрированных индикаторов, находящихся в нормативных рамках, направленной на исследование устойчивости сельскохозяйственного производства в регионе, на основе нечетко-множественного агрегирования нормированных оценок трех его подсистем: экономической, социальной и экологической.

#### **Материал и методы исследования**

Для формирования комплексной оценки устойчивости сельскохозяйственного района использованы авторские методики для оценки состояния сложных систем на основе комплексов показателей, имеющих различную значимость, в том числе для оценки эффективности сельскохозяйственного производства в регионе [8-9]. Также использованы авторские методики оценки региона на соответствие принципам экологического природопользования [10]. Для построения оценок использован универсальный аппарат теории нечет-

ких множеств – система нечетких многоуровневых  $[0,1]$  – классификаторов. Актуальность предложенной методики определяется необходимостью проведения исследований, позволяющих определить приоритеты государственной политики в регионе, позволяющее осуществить выравнивание различий социально-экономического развития субъектов юга России [11-12].

*Математический аппарат методики оценки устойчивости производства. Оценка каждой отдельной подсистемы* (экономической, социальной и экологической) осуществляется посредством нечетко-множественного агрегирования статистических данных по каждой подсистеме, представленных в виде временных рядов. Для агрегирования использована система нечетких пятиуровневых  $[0,1]$  – классификаторов. Рассмотрим подробнее алгоритм агрегирования, включающий в себя шесть этапов.

*Этап 1.* Разработка списка показателей, на основе которых будет произведено оценивание, исходя из имеющихся систем индикаторов, специфики исследуемой задачи и доступных статистических данных.

*Этап 2.* Оценка степени важности каждого из показателей для формируемой оценки, в том числе на основе экспертных оценок, их ранжирование, расчет весовых коэффициентов, отражающих значимость.

*Этап 3.* Расчет нормированных, то есть принадлежащих единичному отрезку значений исследуемых показателей. Для расчета используются алгебраические формулы, определяемые смыслом задачи и являющиеся, по сути, функциями отклика, отражающими близость исследуемых показателей к неким эталонным значениям. Возможны два типа оценок: статические (когда данные представлены за один период и имеются нормативные значения) и динамические (когда данные представлены за ряд лет, и в качестве эталона принимается устойчивый рост показателя).

*Этап 4.* Задание лингвистических переменных, характеризующих численно и вербально состояние исследуемой системы. Универсальным множеством лингвистических переменных является единичный отрезок, поскольку именно

ему принадлежат числовые значения показателей, рассчитанных на Этапе 3. Терм-множества лингвистических переменных, отвечающих индикаторным показателям, состоят из пяти термов, характеризующих уровень показателя: «очень низкий»; «низкий»; «средний»; «высокий»; «очень высокий». Функции принадлежности лингвистических переменных определены с помощью стандартных трапециевидных функций [8-9].

Для формируемой комплексной оценки вводим отдельную лингвистическую переменную:  $\gamma$  = «комплексная оценка состояния системы». Ее терм-множество состоит из пяти термов, название которых определяется исходя из смысла оценки. В самом простом случае названия термов могут быть определены так, как это приведено выше, для показателей, то есть отражать уровень исследуемого свойства системы.

*Этап 5.* Расчет комплексной оценки состояния системы на основе общего алгоритма работы стандартных пятиуровневых  $[0,1]$  – классификаторов [8, 11].

*Этап 6.* Лингвистическое распознавание построенной комплексной оценки в соответствии с определением ее терм-множества, а также анализ полученных значений. Алгоритм работы организован таким образом, что, в случае получения недостаточно высокой либо неудовлетворительной оценки можно проанализировать, какие из конкретных индикаторов привели к снижению итоговой оценки. Наивысшему значению комплексной оценки (единица) соответствуют наивысшие нормированные значения всех исследуемых показателей. Поэтому, проранжировав построенные нормированные значения показателей, можно получить исчерпывающую информацию о состоянии системы, а также сделать выводы, в каких направлениях должна вестись работа по улучшению ситуации.

*Система показателей для оценки устойчивости сельскохозяйственного производства в регионе как совокупности подсистем*

*Оценка экономической подсистемы. В соответствии с разработанной ранее методикой [8], формирование оценки устойчивости экономической подсистемы осуществляется по двум группам по-*

казателей: группе показателей ресурсов и группе показателей выхода продукции (за год, 2008-2018 годы). Данные получены из открытых интернет-источников: базы Росстата [13], а также Экологического вестника Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области» [14] и представлены для каждого из 43 районов Ростовской области.

*Показатели ресурсов (по районам):*

1) наличие сельскохозяйственной техники в сельскохозяйственных организациях на конец года, штука; 2) посевные площади сельскохозяйственных культур, гектар; 3) поголовье скота и птицы в хозяйствах населения сельских поселений, голова; 4) внесено минеральных удобрений под посевы сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях, центнер.

*Показатели выхода продукции (по районам):* 1) объем производства продукции сельского хозяйства (в фактически действовавших ценах), тысяча рублей, хозяйства всех категорий; 2) объем производства продукции растениеводства (в фактически действовавших ценах), тысяча рублей; 3) объем производства продукции животноводства (в фактически действовавших ценах), тысяча рублей; 4) индекс производства сельскохозяйственной продукции (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году), процент; 5) индекс производства продукции растениеводства (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году), процент; 6) индекс производства продукции животноводства (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году), процент.

*Оценка социальной подсистемы.* Совокупность показателей для формирования оценки социальной устойчивости сельского хозяйства (по районам) имеет вид (2008-2019 годы): 1) среднемесячная заработная плата работников организаций, рубль; 2) объем социальных выплат населению и налогооблагаемых денежных доходов населению, тыс. руб.; 3) общий коэффициент рождаемости, промилле; 4) общий коэффициент смертности, промилле; 5) численность врачей всех специальностей; 6) численность среднего медицинского персонала; 7) число

медицинских коек; 8) ввод в действие индивидуальных жилых домов на территории муниципального образования, кв. м. общей площади.

*Оценка экологической подсистемы.* Совокупность показателей для формирования оценки экологической устойчивости (по районам), имеет вид (2007-2018 годы): 1) количество загрязняющих веществ, выброшенных в атмосферу от сельскохозяйственных предприятий, тыс. тонн; 2) доля в них неочищенных выбросов; 3) забор воды из источников всех типов; 4) забор воды из подземных источников; 5) потери воды при транспортировке; 6) сброс загрязненных вод без очистки; 7) объем оборотной и последовательно используемой воды; 8) доля санкционированных свалок в общем количестве по Ростовской области; 9) доля несанкционированных свалок в общем количестве по Ростовской области; 10) доля особо охраняемых территорий от их общей площади по Ростовской области; 11) затраты на финансирование окружающей среды из бюджетных и внебюджетных источников.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для каждого из 43 районов Ростовской области по методике, описанной выше, была построена оценка устойчивости его экономической, социальной и экологической подсистем (таблица). На основе построенных оценок, с применением той же системы нечетких многоуровневых [0,1] – классификаторов, были построены итоговые оценки устойчивости сельскохозяйственного производства в каждом из районов.

Как следует из таблицы, все районы Ростовской области могут быть отнесены к терму «развитие, близкое к устойчивому», причем последние два района равным успехом могут быть отнесены к пятому терму «высокий уровень устойчивости». На основе построенной таблицы можно проанализировать, «насколько хороши» либо «насколько плохи» результаты каждого из 43 районов в каждой их трех подсистем. Районы, оказавшиеся в конце списка, могут быть подвергнуты дополнительному, более подробному анализу показателей, на основе кото-

рых происходило агрегирование каждой из оценок подсистем. Таким образом, на основе применения методики могут быть определены приоритетные

направления развития агропромышленного комплекса Ростовской области с целью выравнивания различий социально-экономического развития.

Расчет итоговой оценки устойчивости сельскохозяйственного производства для районов Ростовской области

N	Оценка экономической устойчивости (вес 0,4)	Оценка социальной устойчивости (вес 0,3)	Оценка экологической устойчивости (вес 0,3)	Итоговая оценка устойчивости
1	0,6154	0,5502	0,505	0,5524
2	0,5000	0,5821	0,564	0,5276
3	0,6074	0,6122	0,539	0,5832
4	0,5000	0,5070	0,579	0,5174
5	0,6000	0,6634	0,539	0,6000
6	0,5000	0,5904	0,597	0,5524
7	0,5156	0,5540	0,523	0,5024
8	0,5240	0,5540	0,504	0,5024
9	0,5509	0,5816	0,508	0,5196
10	0,5266	0,5972	0,501	0,5283
11	0,4935	0,5845	0,504	0,5207
12	0,5692	0,6053	0,539	0,5485
13	0,6499	0,5754	0,504	0,5952
14	0,4394	0,6286	0,524	0,5387
15	0,5704	0,5617	0,501	0,5233
16	0,5738	0,5823	0,494	0,5384
17	0,5000	0,5012	0,559	0,5054
18	0,5185	0,4946	0,459	0,5000
19	0,5998	0,5073	0,515	0,5398
20	0,5572	0,4911	0,515	0,5058
21	0,5140	0,5193	0,654	0,5600
22	0,5000	0,5587	0,579	0,5226
23	0,5000	0,5795	0,464	0,5177
24	0,556	0,5587	0,513	0,5100
25	0,5000	0,5254	0,573	0,5138
26	0,6000	0,5004	0,539	0,5400
27	0,5000	0,5795	0,508	0,5177
28	0,5228	0,5399	0,543	0,5000
29	0,5072	0,5067	0,564	0,5084
30	0,5000	0,624	0,511	0,5444
31	0,5756	0,5957	0,564	0,5563
32	0,5399	0,5656	0,365	0,4584
33	0,5406	0,5740	0,504	0,5144
34	0,5043	0,5360	0,499	0,5000
35	0,5000	0,4862	0,504	0,5000
36	0,5024	0,5214	0,504	0,5000
37	0,5094	0,4794	0,476	0,5000
38	0,5746	0,5034	0,582	0,5389
39	0,6024	0,5913	0,348	0,5067
40	0,5101	0,5377	0,575	0,5150
41	0,4622	0,5029	0,374	0,4544
42	0,5000	0,4889	0,506	0,5000
43	0,6157	0,5160	0,551	0,5532

**Выводы**

Таким образом, разработанная об- щая методика показала свою приме- нимость для оценки и ранжирования устойчивости сельскохозяйственного производства в районах региона на при- мере Ростовской области, посредством нечетко-множественного агрегирова- ния нормированных оценок устойчи- вости его трех подсистем: экономиче- ской, социальной и экологической.

Построенная нечетко-множествен- ная методика обладает такими преи-

муществами, перед существующими аналогами, как универсальность, учет весовых коэффициентов показателей и их вариативность, возможность уче- та мнений экспертов. Для реализации методики разработано специализи- рованное программное обеспечение, которое в дальнейшем может быть преобразовано в программный ком- плекс, позволяющий строить оцен- ки не только сельскохозяйственного, но и любого другого производства в регионе.

*Библиографический список*

1. Антонова М.А. Теоретико-методологические основы изучения устойчивого развития регио- нов // Общество: политика, экономика, право. 2013. № 4. С. 113-119.
2. Журова Л.И., Топорков А.М. Сравнительный анализ подходов к оценке устойчивого развития экономических систем // Вестник ВУиТ. 2017. № 4. С. 42-54.
3. Третьякова Е.А., Алферова Т.В., Пухова Ю.И. Анализ методического инструментария оцен- ки устойчивого развития промышленных предприятий // Вестник ПГУ. Серия: Экономика. 2015. № 4 (27). С. 132-139.
4. Иванов В.А., Пономарева А.С. Методологические основы устойчивого развития аграрного сектора // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2011. № 4. С. 109-120.
5. Мартынов К.П. Методика оценки устойчивости развития региональной аграрной сферы // Теория и практика общественного развития. 2013. № 8. С. 44-48.
6. Ускова Т.В. Управление устойчивым развитием региона: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2009. 355 с.
7. Бор В.Н. Взаимосвязь эффективности и устойчивости в развитии малого предприниматель- ства // Организатор производства. 2009. № 1. С. 68-72.
8. Alekseychik T.V., Bogachev T.V., Karasev D.N., Sakharova L.V., Stryukov M.B. Fuzzy method of assessing the intensity of agricultural production on a set of criteria of the level of intensification and the level of economic efficiency of intensification. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. vol. 896. P. 790-798.
9. Крамаров С.О., Сахарова Л.В. Мягкие вычисления в менеджменте: управление сложными многофакторными системами на основе нечетких аналог-контроллеров // Научный вестник южного института менеджмента. 2017. № 3(19). С. 42-51.
10. Vovchenko N.G., Stryukov M.B., Sakharova L.V., Domokur O.V. (2019) Fuzzy-logic analysis of the state of the atmosphere in large cities of the industrial region on the example of Rostov region. Systems Advances in Intelligent and Computing. 2019. Vol. 896. P. 709-715.
11. Борисова Л.В., Кравчук А.А., Конин М.Г., Борисова Д.В. О выравнивании различий социаль- но-экономического развития регионов юга России // Состояние и перспективы развития сельскохо- зяйственного машиностроения: Сборник статей 11 международной научно-практической конферен- ции, в рамках 21-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2018» (Ростов-на- Дону, 28 февраля – 2 марта 2018 г.). Ростов н/Д., 2018. 613 с.
12. Курдюков В.Н., Бадалян Л.Х., Джумабаев Д. Эколого-экономические аспекты устойчивого развития // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Сборник статей 10 международной научно-практической конференции, в рамках 20-й международной агро- промышленной выставки «Интерагромаш-2017» (Ростов-на-Дону, 1–3 марта 2017 г.). Ростов-на- Дону. 2017. 716 с.
13. Российский статистический ежегодник. 2020 / Федеральная служба государственной стати- стики (Росстат). М. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst60/DBInet.cgi> (дата обращения: 03.07.2020).
14. Экологический вестник Дона. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростов- ской области в 2016 году / Под общей редакцией В. Г. Гончарова, Г. А. Урбана. Ростов н/Д., 2017. 369 с.