

Научная статья

УДК 338.439 © М. О. Санникова

DOI: 10.24412/2225-8264-2024-4-895

**Ключевые слова:** техническая эффективность, продовольственный потенциал, стохастическая граничная производственная функция, анализ производственной границы, факторы производства

**Keywords:** technical efficiency, food potential, stochastic frontier production function, analysis of the production frontier, production factors

## ТИПОЛОГИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА РОССИИ

Санникова М. О.<sup>1</sup>

***Аннотация.** В статье обобщен опыт использования моделей технической эффективности на основе стохастических граничных производственных функций, которые представляют собой результативный инструмент для исследования технической эффективности элементов продовольственного потенциала. Целью работы является на основе систематизации стохастических граничных производственных функций выявить отличительные особенности и аналитические возможности их типов. Задачи исследования: разработка системы классификации стохастических граничных производственных функций; типологизация стохастических граничных производственных функций; апробация применения различных типов и модификаций функций с привлечением эмпирических данных; оценка применимости отдельных моделей при осуществлении анализа технической эффективности элементов продовольственного потенциала. В результате проведенной работы были выявлены наиболее употребимые модели стохастической граничной производственной функции, выделены их типы в рамках предложенных классификационных групп. Кроме этого, на эмпирических данных производителей зерновых и зернобобовых культур Саратовской области за 2010-2022 гг. показаны основные отличия и перспективы использования отдельных моделей при проведении исследований эффективности элементов продовольственного потенциала. Нами установлено, что модель зависимой от времени технической эффективности с учетом технологических изменений, обеспечивая сходный результат по общим для всех моделей параметрам, обладает дополнительными возможностями оценки динамических показателей объекта исследования. Полученные при этом результаты свидетельствуют о низких темпах технологического развития зернового производства — 1,62% в год, и росте технической эффективности производителей — на 10,46% за весь период исследования.*

<sup>1</sup>Санникова Марина Олеговна — кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и статистики, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Россия, г. Саратов, проспект имени Петра Столыпина зд. 4, стр. 3.)  
E-mail: sannikovamarin@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-8727-4260

## TYPOLGY OF MODELS FOR ASSESSING THE TECHNICAL EFFICIENCY OF FOOD POTENTIAL ELEMENTS

Marina O. Sannikova

Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov

***Abstract.** The article summarizes the experience of using technical efficiency models based on stochastic frontier production functions, which are an effective tool for studying the technical efficiency of food potential elements. The aim of the work is to identify the distinctive features and analytical capabilities of their types based on the systematization of stochastic frontier production functions. Research objectives: development of a classification system for stochastic frontier production functions; typologization of stochastic frontier production functions; approbation of the application of various types and modifications of functions using empirical data; assessment of the applicability of individual models in the analysis of the technical efficiency of elements of food potential. As a result of the work carried out, the most commonly used models of the stochastic frontier production function were identified, their types were identified within the proposed classification groups. In addition, based on empirical data from grain and leguminous crop producers in the Saratov region for 2010-2022. The main differences and prospects of using individual models in conducting research on the effectiveness of elements of food potential are shown. We have established that the model of time-dependent technical efficiency, taking into account technological changes, providing a similar result in terms of parameters common to all models, has additional capabilities for evaluating the dynamic indicators of the object of study. The results obtained indicate a low rate of technological development of grain production — 1.62% per year, and an increase in the technical efficiency of producers — by 10.46% over the entire period of the study.*

Поступила в редакцию:  
6.11.2024

## ВВЕДЕНИЕ

**П**родовольственная безопасность как один из значимых элементов национальной безопасности является приоритетом внутренней политики страны и обязательным условием стабильности общественной сферы, благосостояния и здоровья населения. Необходимым фундаментом обеспечения продовольственной безопасности служит продовольственный потенциал, позволяющий генерировать всю совокупность ресурсов для производства продовольствия и массу конечного продукта, достаточную для удовлетворения потребностей населения страны в качественном и доступном питании, а также осуществления экспансии на внешние продовольственные рынки. Продовольственный потенциал представляет собой синергетическое соединение первичных ресурсов и возможностей, результатом использования которых является получение сельскохозяйственной продукции и продовольствия. В целях планирования и прогнозирования развития, оптимизации использования, поиска направлений увеличения отдачи необходима разработка методов и моделей оценки эффективности использования как продовольственного потенциала в целом, так и отдельных его элементов. Как отмечено, материальной частью продовольственного потенциала являются первичные ресурсы, используемые в производственном процессе. Представив их виды и аналитически обусловленные группы в качестве элементов продовольственного потенциала, можно оценить эффективность их использования и найти ключевые факторы активации ее роста.

Обобщенные оценки эффективности использования элементов продовольственного потенциала можно получить с привлечением аналитического инструментария производственных функций, в одном из вариантов представляющих собой модели зависимости выхода продукции от вложенных ресурсов. Кроме общепотребимых методов анализа на основе оценок коэффициентов производственной функции, распространение получило исследование технической эффективности производства продукции субъектами хозяйствования или отдельными отраслями на основе анализа производственной границы. Для осуществления такого анализа используются модели технической эффективности, в основе которых — граничные производственные функции разных типов. Концепция технической эффективности базируется на подходе максимизации результатов деятельности, при этом техническая эффективность отражает максимально возможный выход продукции (максимально возможную продуктивность) при сложившихся условиях хозяйствования и уровне технологического развития [1].

Разработка концепции границы производственных возможностей и анализа технической эффективности в середине XX века связана с именами G. Debreu [2], T. C. Koopmans [3], M. J. Farrell [4], D. Aigner и др. [5]. На современном этапе предложенная ими методология развивается в направлении уточнения методов построения производственной границы, получения оценок технической эффективности, а также применения

моделей для анализа и прогнозирования параметров функционирования социально-экономических систем. Основными подходами построения производственной границы являются непараметрический метод — анализ оболочки данных (Data Envelopment Analysis — DEA) и параметрический метод — анализ стохастической границы (Stochastic Frontier Analysis — SFA). Указанные подходы широко применяются для анализа технической эффективности и оценки оказывающих на нее влияние факторов в однородных совокупностях экономических субъектов. В частности, с помощью анализа оболочки данных исследовались техническая эффективность европейских (F. A. Madau и др. [6]) и сербских молочных ферм (R. Popović, P. Dalibor [7]), коневодческих хозяйств Монголии (А.В. Голубев, У. Дзидбал [8]), фермерских хозяйств Тамбовской области (С.Н. Сазонов [9]). Методом DEA рассчитано влияние нересурсных переменных на техническую эффективность отраслей (В.В. Спицын и др. [10]). Анализ стохастической границы также достаточно результативно применялся при решении проблем повышения технической эффективности в сельском хозяйстве в силу стохастической природы результатов производства: при исследовании производства пальмового масла (F. Varina [11]) и выращивания свиней (H. Harianto, E. N. Keraru [12]) в Индонезии, эффективности растениеводства в Китае (F. Yin [13]). Решения методологических и методических проблем оценки технической эффективности предлагались Р. А. Жуковым [14], С. А. Айвазяном, М. Ю. Афанасьевым, А. В. Кудровым [15, 16]. Весьма ценными представляются работы С. А. Айвазяна и др., где авторы рассматривают возможности моделирования производственного потенциала на основе применения концепции стохастической границы. Большой объем накопленного опыта оценки технической эффективности требует систематизации используемых методов и моделей, а также выявления перспектив их использования для решения различных задач. В настоящей статье, опираясь на работы, в том числе, указанных авторов, рассматривается типология моделей стохастической границы, применимых для оценки технической эффективности элементов продовольственного потенциала.

Таким образом, цель настоящей работы — на основе систематизации стохастических граничных производственных функций выявить отличительные особенности и аналитические возможности их типов. В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

- разработка системы классификации стохастических граничных производственных функций;
  - типологизация стохастических граничных производственных функций;
  - апробация применения различных типов и модификаций функций с привлечением эмпирических данных;
  - оценка применимости отдельных моделей при осуществлении анализа технической эффективности элементов продовольственного потенциала.
- Научная новизна результатов исследования заключается в определении наиболее результативных

моделей стохастической границы производственных возможностей, в разработке классификации стохастических граничных производственных функций, в выявлении основных отличий и перспектив использования отдельных моделей при проведении исследований эффективности элементов продовольственного потенциала.

В ходе работы применялись общенаучные, а также частнонаучные подходы и методы. В частности, логика структуры продовольственного потенциала и определение состава его элементов предложены на основе применения функционального аспекта системного подхода и абстрактно-логического метода. При уточнении методологии анализа границы производственных возможностей и разработке типологии моделей оценки технической эффективности элементов продовольственного потенциала использованы положения теории факторов производства и связанной с ней концепции производственных функций. Оценка уровня и динамики технической эффективности элементов продовольственного потенциала основывалась на применении моделей зависимости объема произведенной продукции от факторов производства, основным подходом послужил анализ стохастической границы производственных возможностей (Stochastic Frontier Analysis — SFA). В качестве эмпирической базы использовались данные производителей зерна Саратовской области за 2010–2022 гг.

#### Основная часть

Упрощенная типология моделей стохастических граничных производственных функций, составленная с использованием [17], может быть сведена к нескольким типам в соответствии с разными классификационными признаками:

— по форме базовой производственной функции: линейная функция, функция Кобба-Дугласа, квадратичная функция, трансцендентальная логарифмическая (транслог) функция;

— по ограничению временного охвата используемых данных: функции, построенные на основе панельных или многомерных данных (в виде сбалансированных и несбалансированных панелей), перекрестных или одномерных данных;

— по способу работы с панельными (многомерными) данными: функции, построенные с помощью объединенной оценки данных как перекрестных, ординарной оценки панельных данных с учетом периода;

— по виду получаемых оценок технической эффективности: модели с независимой от времени технической эффективностью, с зависимой от времени технической эффективностью;

— по возможности оценки технологических изменений в исследуемой совокупности: модели с учетом и без учета технологических изменений;

— по использованию дополнительных переменных, влияющих на границу производственных возможностей: модели с использованием и без использования дополнительных переменных.

Возможные комбинации приведенных характеристик формируют модели, пригодные для исполь-

зования с учетом исходных эмпирических условий моделируемых объектов и задач, поставленных перед исследованием. Как видно из типологии, стохастические граничные производственные функции могут формировать средние оценки технической эффективности за период исследования (независимая от времени техническая эффективность), среднегодовые оценки технической эффективности в динамике (зависимая от времени техническая эффективность), в том числе по каждому наблюдаемому элементу, включенному в выборку. Дополнительно включение в модель временной переменной по коэффициенту при ней позволяет оценивать средний темп технологических изменений в совокупности исследуемых объектов, что предоставляет дополнительную информацию для анализа научно-технологического развития. Понятно, что использование перекрестных данных для построения модели не позволяет оценить изменение технической эффективности в динамике и технологические изменения. Предполагается, что в отдельно взятый период времени для обследуемых хозяйствующих субъектов доступны одинаковые технологии производства продукции. С течением времени характеристики и эффект применения технологий может меняться в процессе их совершенствования или смены технологической платформы. Следовательно, анализ панельных данных и введение фактора времени в модели оценки технической эффективности позволяет не только исследовать текущий ее уровень в разрезе разных объектов, но и получить представление о технологических изменениях совокупности хозяйствующих субъектов.

Также модель может быть модифицирована с помощью введения дополнительных параметров, отличных от обычных для производственных функций ресурсных переменных. Например, отражающих качество менеджмента хозяйственных единиц, характеристики природных условий важных для сельскохозяйственного производства, размещение предприятия и пр. Важно отметить, что оценки параметров при дополнительных переменных производственной функции показывают влияние включенных факторов на средний выход продукции, а оценки параметров при дополнительных переменных стохастической граничной производственной функции — на границу производственных возможностей.

При этом в качестве основы для всех описанных вариантов моделей, в зависимости от конкретных условий, может использоваться одна из указанных форм производственных функций. Ее выбор требует подготовительной исследовательской работы и тщательного обоснования.

Возможности модификации стохастических граничных производственных функций с помощью перечисленных опций, а также отличие особенностей строения и аналитических возможностей производственной функции и стохастической граничной производственной функции показано с помощью матрицы в таблице 1.

В соответствии с таблицей и, как отмечалось выше, производственная функция может быть построена на основе оценки как перекрестных, так и панельных

**Модификации производственных и стохастических граничных производственных функций**

	Вид оценок технической эффективности	Без определения технической эффективности	С определением независимой от времени технической эффективности	С определением зависимой от времени технической эффективности	
Учет технологических изменений	Дополнительные переменные Временной охват	Возможно использование дополнительных переменных, влияющих на выход продукции	Без дополнительных переменных, влияющих на границу производственных возможностей	Без дополнительных переменных, влияющих на границу производственных возможностей	С дополнительными переменными, влияющими на границу производственных возможностей
Без учета технологических изменений	Оценка перекрестных данных	<b>Производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>	–	–
	Оценка панельных данных	<b>Производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>
С учетом технологических изменений	Оценка панельных данных	<b>Производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>	<b>Стохастическая граничная производственная функция</b>
	Объединенная оценка панельных данных	<b>Производственная функция</b>	–	–	–

Источник: составлено автором

данных (в том числе на основе объединенной оценки панели), а также учитывать или не учитывать технологическое развитие. Стохастическая граничная производственная функция (в отличие от производственной) дополнительно способна предоставлять оценки о технической эффективности с разной степенью детализации.

В ходе проведения исследований технической эффективности производителей зерновых и зернобобовых культур Саратовской области нами были осуществлены расчеты в программной среде R с применением, в том числе, пакета *plm* [18] для работы с линейными моделями панельных данных, пакета *frontier* [19] для оценки стохастических граничных производственных функций. В качестве исходных были использованы данные сельскохозяйственных предприятий за 2010–2022 гг. Была сформирована несбалансированная панель, содержащая 3516 наблюдений. Исследовалась зависимость производства зерна от величины земельных ресурсов, затрат на оплату труда, на семена, на удобрения и амортизации основных средств. Отдельные, в том числе, промежуточные результаты были представлены в [20, 21].

Проведенный сравнительный анализ применения различных форм производственных функций (линейной, Кобба-Дугласа, квадратичной, трансцедентной логарифмической) к описанию деятельности производителей зерна показал наибольшую эффективность производственной функции Кобба-Дугласа. Что дало основания использовать ее в качестве базовой для исследований после линеаризации с помощью логарифмирования. Спецификация разных модификаций (см. таблицу 1) производственных функций осуществля-

лась с помощью метода наименьших квадратов, стохастических граничных производственных функций — с помощью метода максимального правдоподобия.

В таблице 2 представлены отдельные результаты избранных модификаций производственных и стохастических граничных производственных функций. Отметим, что все параметры моделей оказались значимыми.

Первичная оценка технологических изменений по производственной функции была проведена с помощью двух подходов — на основе объединенной оценки данных (используемых как перекрестные данные) и на основе оценки выборки как панельных данных. Представленные результаты заметно отличаются, что объясняется наличием эндогенности в модели объединенной оценки.

В качестве центральных моделей представлены спецификации, позволяющие получать оценки технологических изменений и технической эффективности производителей зерна, основанные на применении стохастических граничных производственных функций, в частности модель независимой от времени технической эффективности и модель зависимой от времени технической эффективности (реализованные в двух вариантах — с учетом технологических изменений и без их учета). По полученным значениям эластичностей и средней технической эффективности все варианты довольно близки, за исключением модели независимой от времени технической эффективности без учета технологических изменений. В последнем случае выше, чем в других моделях эластичность затрат на оплату труда. Но указанная модель менее предпочтительна по аналитическим возможностям, т.к. не позволяет оценивать

Таблица 2

**Отдельные результаты модификаций моделей производственных и стохастических граничных производственных функций**

Показатель	Производственные функции с учетом технологических изменений		Стохастические граничные производственные функции			
	Модель на основе объединенной оценки панельных данных	Модель на основе оценки панельных данных	С определением независимой от времени технической эффективности		С определением зависимой от времени технической эффективности	
			Модель без учета технологических изменений	Модель с учетом технологических изменений	Модель без учета технологических изменений	Модель с учетом технологических изменений
Ежегодный уровень технологических изменений, %	2,53	2,06	–	2,53	–	1,62
Рост производства зерна при увеличении затрат на 1% (эластичность), %:						
— затрат на оплату труда	0,16	0,22	0,20	0,17	0,18	0,18
— затрат на семена	0,12	0,13	0,12	0,13	0,12	0,12
— затрат на удобрения	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
— амортизации	0,27	0,25	0,26	0,24	0,25	0,25
Средняя техническая эффективность за период	–	–	0,74	0,74	0,73	0,73
Темп роста технической эффективности за период, %	–	–	–	–	126,40	110,46

Источник: рассчитано автором по данным отчетов сельскохозяйственных товаропроизводителей Саратовской области с помощью программной среды R.

технологические изменения в отрасли, среднегодовые значения технической эффективности и, соответственно, ее динамику. Содержание в модели одновременно фактора технологических изменений и опции определения динамической (зависимой от времени) технической эффективности, снижает их выходные величины (уровень технологических изменений — 1,62%, рост технической эффективности — 110,46% — минимальные среди всех решений), т.к. оба параметра строятся на оценке временных изменений и общая тенденция распределяется на два показателя динамики. На наш взгляд последняя модель, обеспечивая сходный результат по общим для всех моделей параметрам (например, эластичности ресурсов), обладает дополнительными возможностями по оценке динамических показателей объекта исследования, что характеризует ее как наиболее перспективную для решения задач оценки эффективности элементов продовольственного потенциала. В анализируемом случае на ее основании можно констатировать ведущую роль в увеличении производства зерновых и зернобобовых повышении оснащенности основными средствами и их качественного развития. При этом с 2010 года технологическое развитие зернового производства в Саратовской области шло довольно низкими темпами — 1,62% в год, техническая эффективность производителей возросла на 10,46%.

Модели с дополнительными переменными не были использованы при проведении исследования.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящее время, несмотря на имеющийся довольно большой пласт научной литературы по вопросам оценки технической эффективности на базе применения стохастических граничных производственных функций, попытки систематизации и формальной их типологизации встречаются редко и предлагаемое распределение моделей на отдельные виды не отличается полнотой. Исходя из необходимости повышения результативности использования в научных целях такого ценного для анализа и прогнозирования инструментария как модели технической эффективности, особое внимание необходимо обратить на его методическое обеспечение. По нашему мнению, систематизация моделей технической эффективности, раскрытие особенностей результатов, получаемых с их применением, позволит упростить их использование и повысить качество научных исследований. Учитывая сказанное, нами сделана попытка типологизировать наиболее употребимые модели стохастической граничной производственной функции, выделены их типы в рамках классификационных групп. Кроме этого, на эмпирических данных показаны основные отличия и перспекти-

вы использования отдельных моделей при проведении исследований эффективности элементов продовольственного потенциала.

Дальнейшее развитие темы исследования, связанной с поиском механизмов развития элементов продовольственного потенциала, в том числе с помощью привлечения эконометрического инструментария, видится в проведении работ по глубокому изучению состояния АПК, источников его роста, подготовке эмпирической информации для расширения номенклату-

ры рассматриваемых факторных переменных моделей, дальнейшего их обоснованного отбора и спецификации функций технической эффективности. Использование моделей с дополнительными переменными позволит повысить качество анализа состояния и прогнозирования развития элементов продовольственного потенциала страны за счет выявления зачастую скрытых возможностей экономической, организационной, социальной и, в некоторых случаях, политической природы.

#### Список источников

1. Санникова М. О., Кувшинова Е. А. Техническая эффективность как показатель развития продовольственного потенциала и качества организации бизнес-процессов в АПК // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2024. № 6. С. 251–255.
2. Debreu G. The Coefficient of Resource Utilization, *Econometrica*. 1951; 19, 3 July: 273–292.
3. Koopmans T. C. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. *Activity Analysis of Production and Allocation*. 1951. NY: John Wiley and Sons.
4. Farrell M. J. The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistica Society*. 1957; Series A 120: 253–281.
5. Aigner D., Lovell C. A. K., and Schmidt P. (1977) Formulation and estimation of stochastic frontier function models, *Journal of Econometrics*. 1977; 6 (1): 21–37.
6. Madau F. A., Furesi R., Pulina P. Technical efficiency and total factor productivity changes in European dairy farm sectors. *Agric Econ*. 2017; 5: 17. DOI: 10.1186/s40100-017-0085-x.
7. Popović R., Dalibor P. Technical efficiency of Serbian dairy processing industry, *Ekonomika poljoprivrede*, 2018; Vol. 65 (2): 569–581. DOI: 10.5937/ekoPolj1802569P.
8. Голубев А. В., Дзжидбал У. Определение технической эффективности системы хозяйствования в АПК (на примере монгольского коневодства) // *Агроинженерия*. 2018. № 2. С. 55–62. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-2-55-62.
9. Сазонов С. Н. Анализ технической эффективности использования ресурсов в фермерских хозяйствах // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2019. № 1. С. 148–153.
10. Спицын В. В., Спицына Л. Ю., Грибанова Е. Б. Моделирование влияния возраста на техническую эффективность в разрезе отраслей и временных периодов // *Вестник университета*. 2021. № 10. С. 59–68. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-10-59-68.
11. Varina F. Regional Differences In Technical Efficiency Of Indonesian Oil Palm Smallholders, *International Conference on Research and Development (ICORAD)*, 2022; Vol. 1: 1–9. DOI: 10.47841/icorad.v1i1.2.
12. Harianto H., Keraru E. N. Comparative analysis of technical efficiency of piglet farming in three production center provinces in Indonesia, *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 2022; Vol. 47 (3): 192–203. DOI: 10.14710/jitaa.47.3.192-203.
13. Yin F. Technical Efficiency Versus Land-Use Efficiency: A Spatio-Temporal Efficiency Analysis of China's Crop Production, *German Journal of Agricultural Economics*, 2024; Vol. 73 (2). DOI: 10.52825/gjae.v73i2.1409.
14. Жуков Р. А. Оценка эффективности функционирования социально-экономических систем на основе производственных функций: новый подход // *Вестник Волгоградского государственного университета*. Экономика. 2019. Т. 21. № 3. С. 71–82. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2019.3.7.
15. Моделирование производственного потенциала на основе концепции стохастической границы: методология, результаты эмпирического анализа / С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев. Москва : Красанд. 2014. 344 с.
16. Айвазян С. А., Афанасьев М. Ю., Кудров А. В. Модели производственного потенциала и оценки технологической эффективности регионов РФ с учетом структуры производства // *Экономика и математические методы*. 2016. Т. 52. № 1. С. 28–44.
17. Henningsen A. Introduction to Econometric Production Analysis with R Collection of Lecture Notes (Electronic Materials), Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen. 2019. URL: <http://leanpub.com/ProdEconR/>.
18. Croissant Y., Millo G. Panel Data Econometrics in R: The plm Package. *Journal of Statistical Software*. 2008; 27 (2): 1–43. DOI: 10.18637/jss.v027.i02.
19. Coelli T., Henningsen A. frontier: Stochastic Frontier Analysis. R package version 1.1-8. 2020. URL: <https://CRAN.R-Project.org/package=frontier>.
20. Санникова М. О., Провидонова Н. В., Шаронова Е. В. Влияние производственного риска и технической эффективности на производство продукции растениеводства в Саратовской области // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2020. № 5. С. 37–43. DOI: 10.31442/0235-2494-2020-0-5-37-43.

21. Санникова М. О. Прогнозирование эффективности использования элементов продовольственного потенциала // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2024. № 4. С. 140–149. DOI: 10.21295/2223-5639-2024-4-140-149.

## References

1. Sannikova M. O., Kuvshinova E. A. Technical efficiency as an indicator of the development of food potential and the quality of the organization of business processes in the agro-industrial complex. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii = Competitiveness in the global world: economics, science, technology*. 2024; 6: 251–255. (In Russ.).
2. Debreu G. The Coefficient of Resource Utilization, *Econometrica*. 1951; 19, 3 July: 273–292.
3. Koopmans T. C. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. *Activity Analysis of Production and Allocation*. 1951. NY: John Wiley and Sons.
4. Farrell M. J. The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*. 1957; Series A 120: 253–281.
5. Aigner D., Lovell C. A. K., and Schmidt P. (1977) Formulation and estimation of stochastic frontier function models, *Journal of Econometrics*. 1977; 6 (1): 21–37.
6. Madau F. A., Furesi R., Pulina P. Technical efficiency and total factor productivity changes in European dairy farm sectors. *Agric Econ*. 2017; 5: 17. DOI: 10.1186/s40100-017-0085-x.
7. Popović R., Dalibor P. Technical efficiency of Serbian dairy processing industry, *Ekonomika poljoprivrede*, 2018; Vol. 65 (2): 569–581. DOI: 10.5937/ekoPolj1802569P.
8. Golubev A. V., Dezhidbal U. Determination of the technical efficiency of the agricultural management system (using the example of Mongolian horse breeding). *Agroinzheneriya = Agroengineering*, 2018; 2: 55–62. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-2-55-62. (In Russ.).
9. Sazonov S. N. Analysis of the technical efficiency of the use of resources in farms. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*, 2019; 1: 148–153. (In Russ.).
10. Spitsin V. V., Spitsina L. Yu., Griбанова E. B. Modeling the influence of age on technical efficiency in the context of industries and time periods. *Vestnik universiteta = Bulletin of the University*, 2021; 10: 59–68. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-10-59-68. (In Russ.).
11. Varina F. Regional Differences In Technical Efficiency Of Indonesian Oil Palm Smallholders, *International Conference on Research and Development (ICORAD)*, 2022; Vol. 1: 1–9. DOI: 10.47841/icorad.v1i1.2.
12. Harianto H., Keraru E. N. Comparative analysis of technical efficiency of piglet farming in three production center provinces in Indonesia, *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 2022; Vol. 47 (3): 192–203. DOI: 10.14710/jitaa.47.3.192-203.
13. Yin F. Technical Efficiency Versus Land-Use Efficiency: A Spatio-Temporal Efficiency Analysis of China's Crop Production, *German Journal of Agricultural Economics*, 2024; Vol. 73 (2). DOI: 10.52825/gjae.v73i2.1409.
14. Zhukov R. A. Assessment of the effectiveness of the functioning of socio-economic systems based on production functions: a new approach. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of the Volgograd State University. Economy*, 2019; 21 (3): 71–82. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2019.3.7. (In Russ.).
15. Modeling of production potential based on the concept of stochastic boundary: methodology, results of empirical analysis. S. A. Ajvazyan, M. Yu. Afanas'ev. Moscow : Krasand. 2014. 344.
16. Ajvazyan S. A., Afanas'ev M. Yu., Kudrov A. V. Models of production potential and assessment of technological efficiency of the regions of the Russian Federation, taking into account the structure of production. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and mathematical methods*, 2016; 52 (1): 28–44. (In Russ.).
17. Henningsen A. Introduction to Econometric Production Analysis with R Collection of Lecture Notes (Electronic Materials), Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen. 2019. URL: <http://leanpub.com/ProdEconR/>.
18. Croissant Y., Millo G. Panel Data Econometrics in R: The plm Package. *Journal of Statistical Software*. 2008; 27 (2): 1–43. DOI: 10.18637/jss.v027.i02.
19. Coelli T., Henningsen A. frontier: Stochastic Frontier Analysis. R package version 1.1-8. 2020. URL: <https://CRAN.R-Project.org/package=frontier>.
20. Sannikova M. O., Providonova N. V., Sharonova E. V. The impact of production risk and technical efficiency on the production of crop production in the Saratov region. *Ekonomika sel'skohozyajstvennyh i pererabatyvayushchih predpriyatij = Economics of agricultural and processing enterprises*, 2020; 5: 37–43. DOI: 10.31442/0235-2494-2020-0-5-37-43. (In Russ.).
21. Sannikova M. O. Forecasting the effectiveness of using elements of food potential. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava = Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*. 2024; 4: 140–149. DOI: 10.21295/2223-5639-2024-4-140-149. (In Russ.).