

Оценка эффективности эксплуатации парка сельскохозяйственной техники современного предприятия агропромышленного комплекса

Карелина Мария Юрьевна¹

Д-р техн. наук, д-р пед. наук, проректор
ORCID: 0000-0003-0335-7550, e-mail: myu_karelina@guu.ru

Чекусов Максим Сергеевич²

Канд. техн. наук, директор
ORCID: 0000-0002-1241-6762, e-mail: mchekusov@anc55.ru

Сердечный Денис Владимирович¹

Канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Отдела научной деятельности Управления координации научных исследований
ORCID: 0000-0003-3060-9469, e-mail: dv_serdechnyj@guu.ru

Филатов Владимир Викторович¹

Канд. техн. наук, вед. науч. сотр. Лаборатории реверсивного инжиниринга
ORCID: 0000-0002-9477-9013, e-mail: vv_filatov@guu.ru

Кутков Владимир Дмитриевич¹

Специалист Центра управления инжиниринговыми проектами
ORCID: 0009-0005-0988-1355, e-mail: vd_kutkov@guu.ru

Акиншин Никита Сергеевич¹

Специалист Центра управления инжиниринговыми проектами
ORCID: 0009-0009-4229-7918, e-mail: ns_akinshin@guu.ru

¹Государственный университет управления, 109542, Рязанский пр-т, 99, г. Москва, Россия

²Омский аграрный научный центр, 644012, Королева пр-т, 26, г. Омск, Россия

Аннотация

В структуре себестоимости аграрного производства затраты на горюче-смазочные материалы (далее – ГСМ) занимают значительную долю и подвержены высокой ценовой волатильности, что создает существенные экономические риски. Целями исследования являются разработка и апробация эконометрического метода для оценки и оптимизации затрат на ГСМ путем стохастического моделирования стоимости эксплуатации разнородной сельскохозяйственной техники. Исследование основано на анализе панельных данных производственных отчетов Омского аграрного научного центра за полный сельскохозяйственный сезон. С помощью статистических методов физические и производственные показатели (производительность, удельный расход топлива) интегрируются со смоделированной динамикой рыночных цен. Для каждой единицы техники рассчитываются математическое ожидание стоимости обработки гектара и ее стандартное отклонение как мера риска. В работе продемонстрировано, что различные марки техники обладают уникальными экономическими профилями. Разработанный синтетический инструмент – матрица «Риск – Стоимость» – позволил провести объективную классификацию всего парка техники, выявив как высокоэффективные и предсказуемые активы, так и проблемные, являющиеся основным источником финансовых рисков. Предложенная модель является эффективным инструментом для принятия дифференцированных управленческих решений, направленных на повышение экономической устойчивости и конкурентоспособности агропредприятий.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, управление затратами, эконометрическое моделирование, стохастический анализ, гетерогенный парк техники, экономические риски, себестоимость, эффективность активов, панельные данные

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение № 075-15-2024-542.

Для цитирования: Карелина М.Ю., Чекусов М.С., Сердечный Д.В., Филатов В.В., Кутков В.Д., Акиншин Н.С. Оценка эффективности эксплуатации парка сельскохозяйственной техники современного предприятия агропромышленного комплекса//Управление. 2025. Т. 13. № 3. С. 36–51. DOI: 10.26425/2309-3633-2025-13-3-36-51

Assessing the operational efficiency of the agricultural machinery fleet at a modern agro-industrial enterprise

Mariya Yu. Karelina¹

Dr. Sci. (Engr.), Dr. Sci. (Ped.), Vice Rector
ORCID: 0000-0003-0335-7550, e-mail: myu_karelina@guu.ru

Maksim S. Chekusov²

Cand. Sci. (Engr.), Director
ORCID: 0000-0002-1241-6762, e-mail: mchekusov@anc55.ru

Denis V. Serdechnyi¹

Cand. Sci. (Engr.), Senior Researcher at the Scientific Activity Department of the Coordination of Scientific Research Office
ORCID: 0000-0003-3060-9469, e-mail: dv_serdechnyj@guu.ru

Vladimir V. Filatov¹

Cand. Sci. (Engr.), Senior Researcher at the Reverse Engineering Laboratory
ORCID: 0000-0002-9477-9013, e-mail: vv_filatov@guu.ru

Vladimir D. Kutkov¹

Specialist at the Engineering Project Management Centre
ORCID: 0009-0005-0988-1355, e-mail: vd_kutkov@guu.ru

Nikita S. Akinshin¹

Specialist at the Engineering Project Management Centre
ORCID: 0009-0009-4229-7918, e-mail: ns_akinshin@guu.ru

¹State University of Management, 99, Ryazansky prospekt, Moscow 109542, Russia

²Omsk Agrarian Scientific Centre, 26, Korolyova prospekt, Omsk 644012, Russia

Abstract

In the cost structure of agricultural production, fuel and lubricant costs (hereinafter referred to as FLC) account for a significant share and are subject to high price volatility, which creates substantial economic risks. The study aims to develop and test an econometric method for assessing and optimising FLC by stochastically modelling the operation costs of a heterogeneous agricultural machinery fleet. The research is based on the analysis of panel data from production reports of the Omsk Agrarian Scientific Centre for a full agricultural season. Using statistical methods, physical and operational indicators (productivity, specific fuel consumption) are integrated with simulated market price dynamics. For each machinery unit, the expected cost of cultivating one hectare and its standard deviation as a measure of risk are calculated. The paper demonstrates that different machinery models have unique economic profiles. The developed synthetic tool – the Risk – Cost matrix – allowed for an objective classification of the entire fleet, identifying highly efficient and predictable assets as well as problematic ones, which are the main source of financial risks. The proposed model is an effective tool for making differentiated managerial decisions aimed at improving the economic stability and competitiveness of agro-enterprises.

Keywords: agro-industrial complex, cost management, econometric modelling, stochastic analysis, heterogeneous machinery fleet, economic risks, production cost, asset efficiency, panel data

Acknowledgements. This article was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Agreement No. 075-15-2024-542.

For citation: Karelina M.Yu., Chekusov M.S., Serdechnyi D.V., Filatov V.V., Kutkov V.D., Akinshin N.S. (2025). Assessing the operational efficiency of the agricultural machinery fleet at a modern agro-industrial enterprise. *Upravlenie / Management (Russia)*, 13 (3), pp. 36–51. DOI: 10.26425/2309-3633-2025-13-3-36-51



Введение / Introduction

Экономическая устойчивость агропромышленного комплекса (далее — АПК) на региональном уровне неразрывно связана с эффективностью управления издержками на уровне отдельных хозяйствующих субъектов. В структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции затраты на горюче-смазочные материалы (далее — ГСМ) занимают одну из доминирующих позиций, достигая, по разным оценкам, 20–30 %. Данная статья расходов характеризуется высокой чувствительностью к макроэкономическим факторам, в первую очередь к волатильности цен на энергоносители. Для аграрного сектора, отличающегося низкой маржинальностью и жесткой сезонной детерминированностью производственных циклов, ценовая неопределенность на рынке ГСМ транслируется в значительные финансовые риски, снижая предсказуемость рентабельности и усложняя долгосрочное финансовое планирование. Неспособность эффективно управлять этой статьей затрат на микроуровне приводит к снижению конкурентоспособности отдельных предприятий и в совокупности к повышению уязвимости всего регионального АПК.

На микроуровне, в рамках конкретного агропредприятия, проблема усугубляется наличием гетерогенного парка производственных фондов. Сельскохозяйственная техника, различающаяся по маркам, возрасту, мощности и техническому состоянию, демонстрирует существенно разную экономичность. Эта невидимая гетерогенность (англ. *unobserved heterogeneity*) часто игнорируется традиционными методами бухгалтерского учета и планирования, которые оперируют усредненными или котловыми методами списания затрат. Такой подход рассматривает парк техники как «черный ящик», маскируя операционную неэффективность отдельных его элементов. Подобная информационная непрозрачность приводит к принятию субоптимальных управленческих решений: от неэффективного оперативного распределения машин по полям до стратегически неверных инвестиционных решений при обновлении парка и формирования некорректных систем мотивации персонала, что формирует актуальную научную задачу, лежащую на стыке отраслевой экономики и эконометрики: разработка инструментального метода для декомпозиции, анализа и моделирования затрат на ГСМ на уровне отдельных производственных активов. Целями данной работы являются создание и апробация эконометрической модели для оценки стохастической стоимости обработки гектара (руб./га). Предлагаемый подход знаменует собой парадигмальный сдвиг от детерминированного учета фактических затрат к их вероятностному

моделированию. Он признает, что итоговая стоимость является случайной величиной, на которую влияют как внутренние операционные факторы (вариативность в работе техники), так и внешние рыночные шоки (ценовая неопределенность) [Такмакова, Самыгин, Зайцев, Карелина, 2024].

Научная новизна исследования заключается в предложенном методе, который концептуально близок к современной портфельной теории (англ. *modern portfolio theory*), но применяется к управлению физическими, а не финансовыми активами. Метод интегрирует физические производственные показатели (производительность, топливная эффективность) в экономическую модель стоимости и риска. В работе продемонстрировано, как технические характеристики парка техники, полученные из производственных отчетов, могут быть преобразованы в эмпирические статистические распределения экономических коэффициентов. На основе этих распределений рассчитываются ключевые для принятия решений показатели: математическое ожидание затрат (как мера средней эффективности) и их дисперсия (как мера риска или непредсказуемости). Данный метод позволяет не только проводить бенчмаркинг техники, но и формировать адаптивные стратегии ее использования в зависимости от текущей и прогнозируемой ситуации на рынке энергоносителей.

В качестве эмпирической базы исследования использован набор производственных данных Омского аграрного научного центра за полный сельскохозяйственный сезон, полученный в рамках выполнения крупного научного проекта на тему «Обеспечение продовольственной безопасности страны на основе создания программно-аппаратных комплексов и интеллектуальных платформенных цифровых решений в сфере развития агропромышленных технологий полного жизненного цикла»¹. С помощью математических, статистических и инструментальных методов, реализованных в среде Python, последовательно решается ряд задач: проводится анализ эмпирических физических производственных функций для выявления технологических компромиссов; интегрируются экономические переменные для перевода физических показателей в денежное выражение; выполняется стохастический анализ для расчета показателей стоимости и риска. Завершающим этапом является синтез полученных результатов в виде матрицы «Риск — Стоимость» — интуитивно понятного инструмента для классификации активов. Результаты работы демон-

¹ Омский аграрный научный центр. Официальный сайт. Режим доступа: <https://anc55.ru/?ysclid=mg6aefqaza194937226> (дата обращения: 23.07.2025).

стрируют высокую практическую применимость предложенной модели для повышения экономической эффективности и снижения рисков в региональном АПК [Строев, Магомедов, Карелина, Сидоренко, 2024].

Материалы и методы / Materials and methods

Эмпирической базой исследования послужил набор производственных данных, предоставленных Омским аграрным научным центром. Использование данных реального агропредприятия, функционирующего в специфических климатических и почвенных условиях Западной Сибири, обеспечивает высокую практическую релевантность и валидность полученных выводов. Датасет охватывает полный сельскохозяйственный сезон 2024 г., что позволяет анализировать операционную динамику с учетом всех фаз аграрного цикла — от весенних полевых работ до осенней уборочной кампании. Структура данных представляет собой панельные данные (англ. panel data), где объектами наблюдения являются отдельные единицы техники, а временным измерением — последовательность выполненных ими сменных заданий.

Каждая запись в наборе данных является агрегированным отчетом, отражающим результаты производственной деятельности за одну смену. Такой формат данных, с одной стороны, накладывает определенные ограничения, не позволяя анализировать внутрисменную динамику, но, с другой стороны, он является типичным для учетных систем большинства агропредприятий Российской Федерации, что повышает универсальность и применимость разработанной методологии. Данные содержат информацию о ключевых производственных факторах: идентификатор производственного актива (марка и государственный номер техники), фамилию, имя и отчество оператора, параметры производственной задачи (номер поля, тип операции, объем выполненной работы) и первичные учетные показатели расхода ресур-

сов (остатки и заправки ГСМ). Для иллюстрации структуры исходных данных в табл. 1 представлен репрезентативный срез, включающий ключевые учетные поля, которые служат основой для последующего конструирования аналитических признаков [Сердечная, Сердечный, Корчагин, Андриянов, 2024].

На первом этапе были выполнены предварительная обработка данных и конструирование признаков (англ. feature engineering). Этап является критически важным для перехода от сырых учетных записей к аналитическим показателям. Вычисляемой переменной является фактический расход топлива за смену (V_f , л), который определяется на основе балансового метода по данным путевого листа:

$$V_f = (V_{start} + V_{refill}) - V_{end} \quad (1)$$

где V_{start} — остаток топлива в баке при выезде на смену, л; V_{refill} — объем заправленного топлива в течение смены, л; V_{end} — остаток топлива в баке при возвращении со смены, л.

В ходе программной реализации этого шага была проведена очистка данных: пропущенные значения в поле «заправка» заменены на ноль, что соответствует отсутствию дозаправки. Записи, содержащие некорректные или аномальные значения (например, обработанная площадь $S_h \leq 0$ или расчетный расход топлива $V_f \leq 0$), были исключены из дальнейшего анализа как нерепрезентативные.

После расчета V_f были вычислены две ключевые физические метрики, характеризующие производственный процесс.

1. Производительность (P_h , га/ч) — показатель, отражающий темп выполнения работ. Рассчитывается как отношение обработанной площади к длительности смены:

² Омский аграрный научный центр. Официальный сайт. Режим доступа: <https://anc55.ru/?ysclid=mg6aefqaza194937226> (дата обращения: 23.07.2025).

Таблица 1

Пример структуры исходных производственных данных

Table 1. Example of the structure of the initial production data

Дата	Номер поля	Операция	Марка техники	Выработка, га	Остаток (выезд)	Заправка	Остаток (возврат)
22.04.2024	52	Боронование	MT3-82	50,00	65,00	50,00	55,00
23.04.2024	52	Боронование	MT3-82	30,00	90,00	0,00	55,00
24.04.2024	39	Боронование	K-742M	141,00	140,00	570,00	360,00
24.04.2024	54	Боронование	RSM 2375	6,00	790,00	0,00	775,00
25.04.2024	54	Боронование	RSM 2400	177,00	215,00	649,00	350,00
26.04.2024	53	Боронование	K-701	4,00	65,00	171,00	230,00

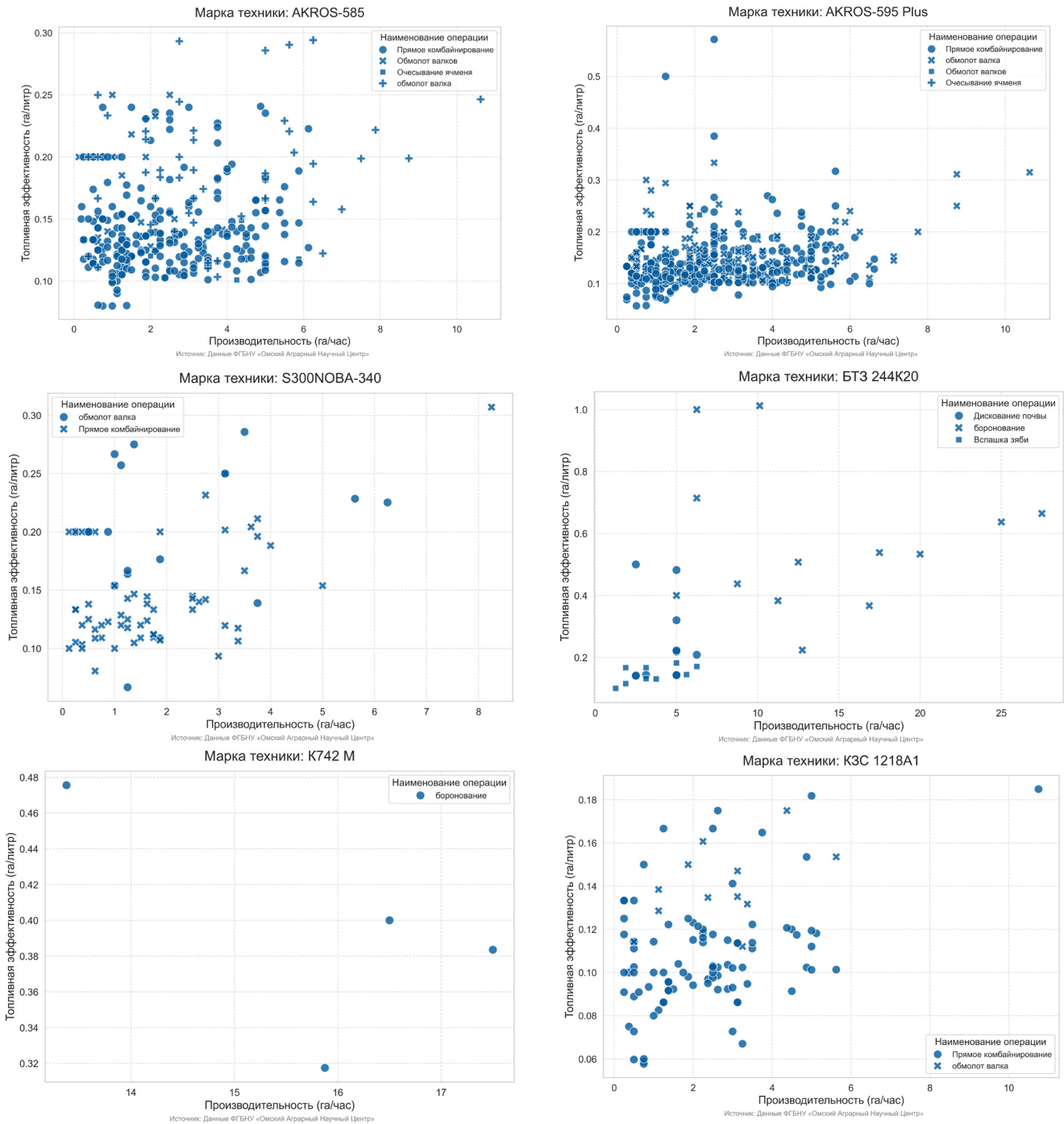
Составлено авторами по материалам источника / Compiled by the authors on the materials of the source²

$$P_h = \frac{S_h}{T_s}, \tag{2}$$

где S_h – обработанная площадь за смену, га; T_s – нормативная длительность смены (час), принятая для данного исследования, равная 8 ч.

2. Удельный расход топлива (q_f л/га) – ключевой физический коэффициент, отражающий количество ресурса (топлива), необходимого для производства единицы продукции (обработки одного гектара). Рассчитывается как:

$$q_f = \frac{V_f}{S_h}. \tag{3}$$



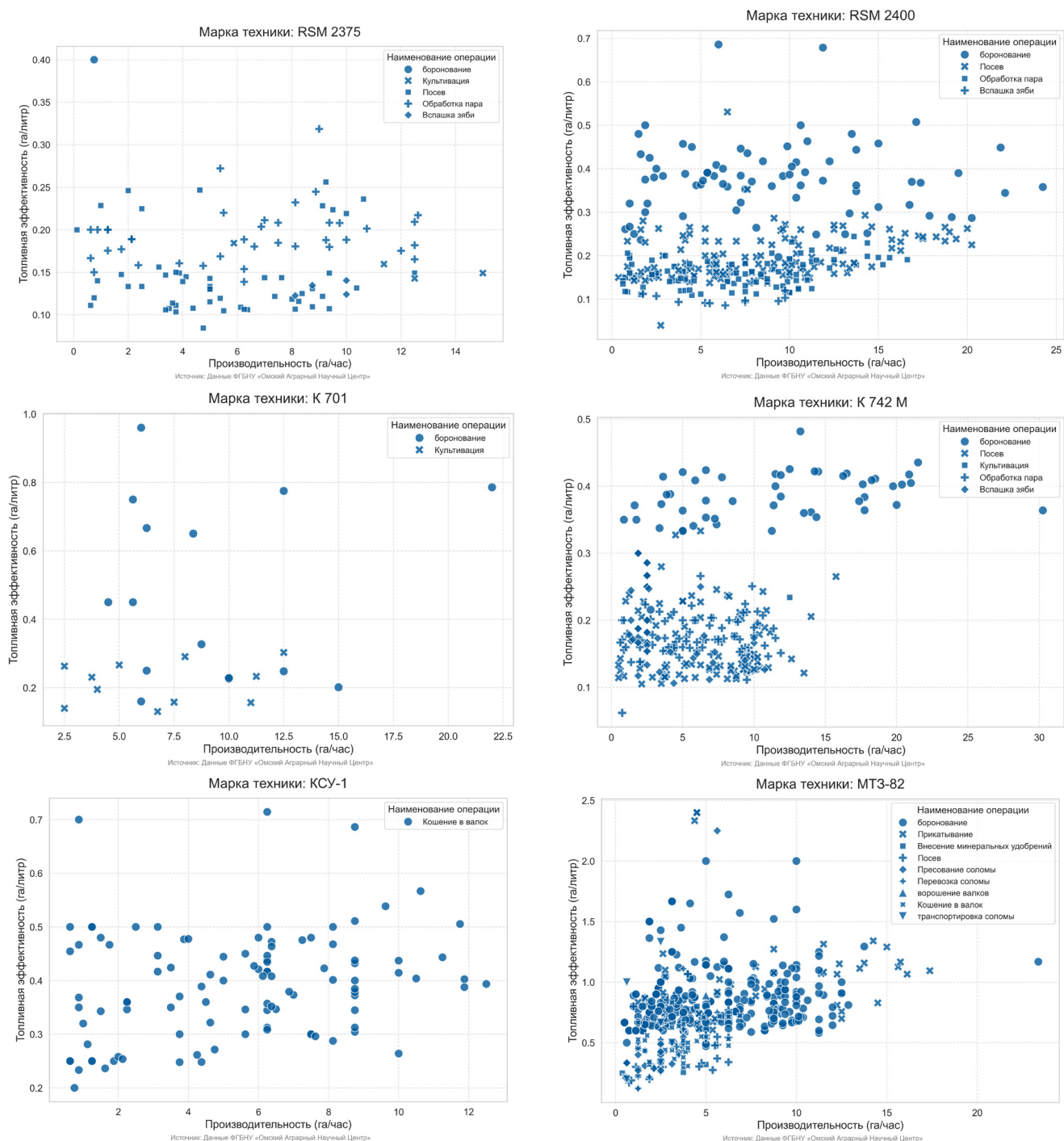
Примечание: каждый субграфик представляет собой анализ отдельной марки техники в координатах «Производительность – Топливная эффективность». Каждая точка на графике соответствует одному сменному заданию. Форма маркера кодирует тип выполненной агротехнической операции согласно общей легенде

Рис. 1. Детализированный анализ эффективности по маркам техники
Fig. 1. Detailed efficiency analysis by brand of technics

Данный показатель является обратной величиной топливной эффективности ($E_h = 1 / q_f$, га/л).

Первичный разведочный анализ данных был направлен на визуализацию эмпирических производственных функций для различных типов капитала (марок техники). Рис. 1 представляет собой детализированный анализ, где для каждой марки техники

построен график в координатах «Производительность (P_h) – Топливная эффективность (E_h)». Каждый суб-график (А–L) визуализирует технологический компромисс между скоростью выполнения операции и затратами топливного ресурса, характерный для конкретного класса машин [Кузнецова, Мазуров, 2024].



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Окончание рис. 1

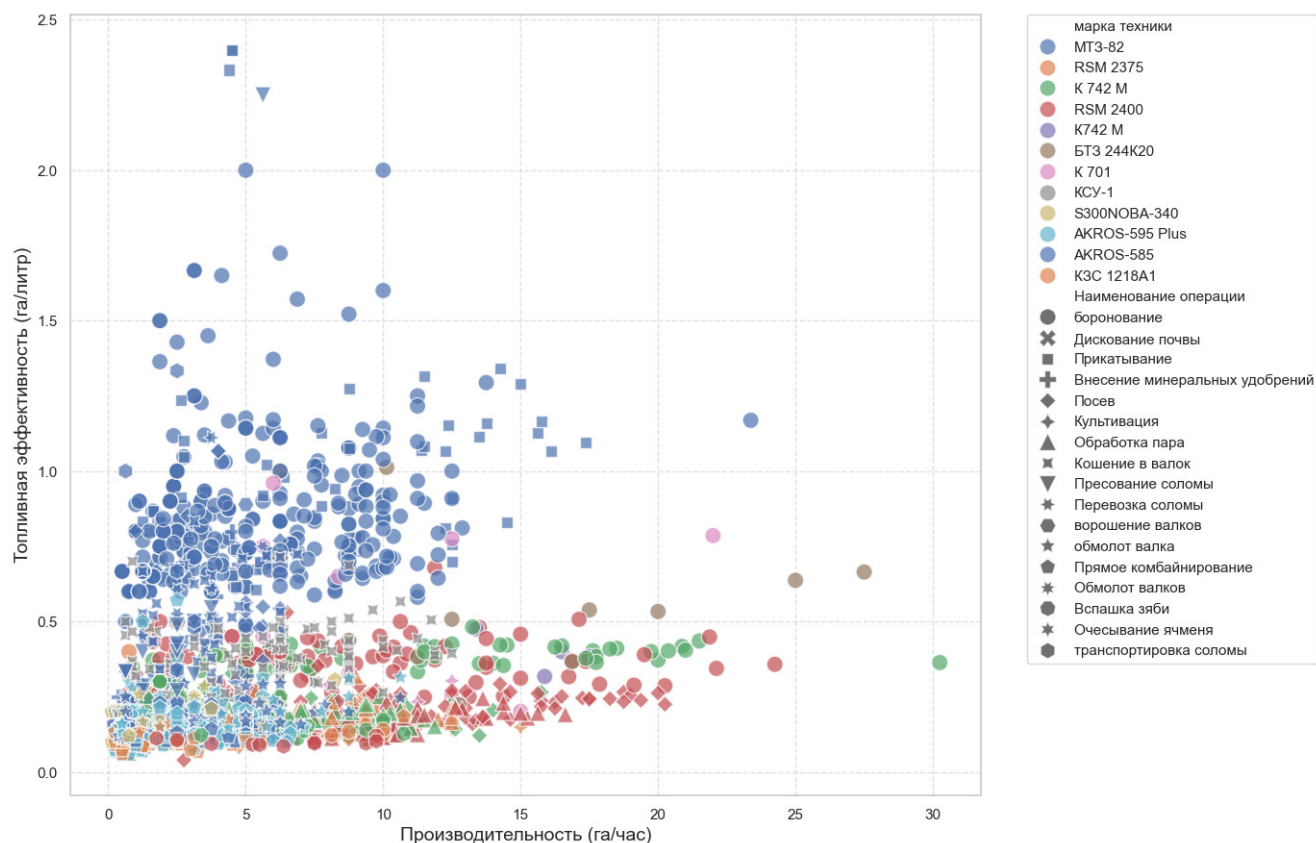
The end of fig. 1

Для формирования целостной картины и сопоставления операционных ниш на рис. 2 все кластеры объединены на одной координатной плоскости. Данная сводная диаграмма интерпретируется как технологическая граница производственных возможностей имеющегося парка техники. Точки, формирующие внешнюю огибающую облака, представляют собой наиболее эффективные по Парето комбинации «скорость – экономичность», достигнутые в ходе сезона. Точки, расположенные глубоко внутри облака, соответствуют технически неэффективным операциям, где можно было достичь либо большей производительности при том же расходе, либо меньшего расхода при той же производительности [Помогаев, Редреев, 2022].

Анализ рис. 2 позволяет провести не только кластеризацию по маркам техники, но и выявить закономерности, связанные с типом выполняемых агротехнических операций, которые кодируются формой маркера. Наблюдается четкая стратификация затрат в зависимости от энергоемкости работ. Такие операции, как дискование почвы (маркер х) и вспашка зяби (маркер +), формируют кластеры в нижней части

графика, характеризующиеся низкими значениями топливной эффективности (менее 0,5 га/л). Это ожидаемо, поскольку данные операции связаны с глубокой обработкой почвы и требуют максимального тягового усилия, что напрямую транслируется в высокий удельный расход топлива q_f и, как следствие, в высокую стоимость обработки гектара C_h .

Напротив, операции, не связанные с интенсивной почвообработкой, демонстрируют большую экономичность. Боронование (маркер о), прессование соломы (маркер v) и транспортировка (маркер Р) формируют кластеры в верхней части графика, где топливная эффективность может превышать 1,5–2,0 га/л. Данная визуализация эмпирически подтверждает, что тип агротехнической операции является одним из ключевых детерминантов в производственной функции затрат. Это обосновывает необходимость его включения в эконометрическую модель в качестве одной из объясняющих переменных для корректной оценки влияния других факторов, таких как марка техники, при прочих равных условиях [Алексюткина, 2024].



Примечание: график представляет собой сводную диаграмму рассеяния в координатах «Производительность – Топливная эффективность», где каждая точка соответствует одному сменному заданию. Цвет маркера кодирует марку техники, а форма маркера — тип выполненной агротехнической операции, согласно легенде

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Рис. 2. Сводная кластеризация сменных заданий

Fig. 2. Summary clustering of shift targets

Переходом к экономической модели является анализ статистического распределения удельного расхода топлива (q_f). Рис. 3 представляет собой анализ данного распределения для каждой марки техники с помощью диаграммы размаха (англ. boxplot). Данная визуализация позволяет количественно оценить не только центральную тенденцию (медиану) затрат ресурса, но и их вариативность. Ширина межквартильного размаха и наличие выбросов являются прокси-метрикой операционного риска: чем шире распределение, тем менее предсказуемы затраты топлива для данной марки техники, даже при выполнении однотипных операций [Балянец, 2023].

Ключевым шагом методологии является переход от физических показателей к экономическим. Для этого вводится основная переменная исследования — стоимость обработки гектара (C_h , руб./га). Она рассчитывается как произведение физического коэффициента затрат на рыночную цену ресурса:

$$C_h = q_f \cdot P_f, \quad (4)$$

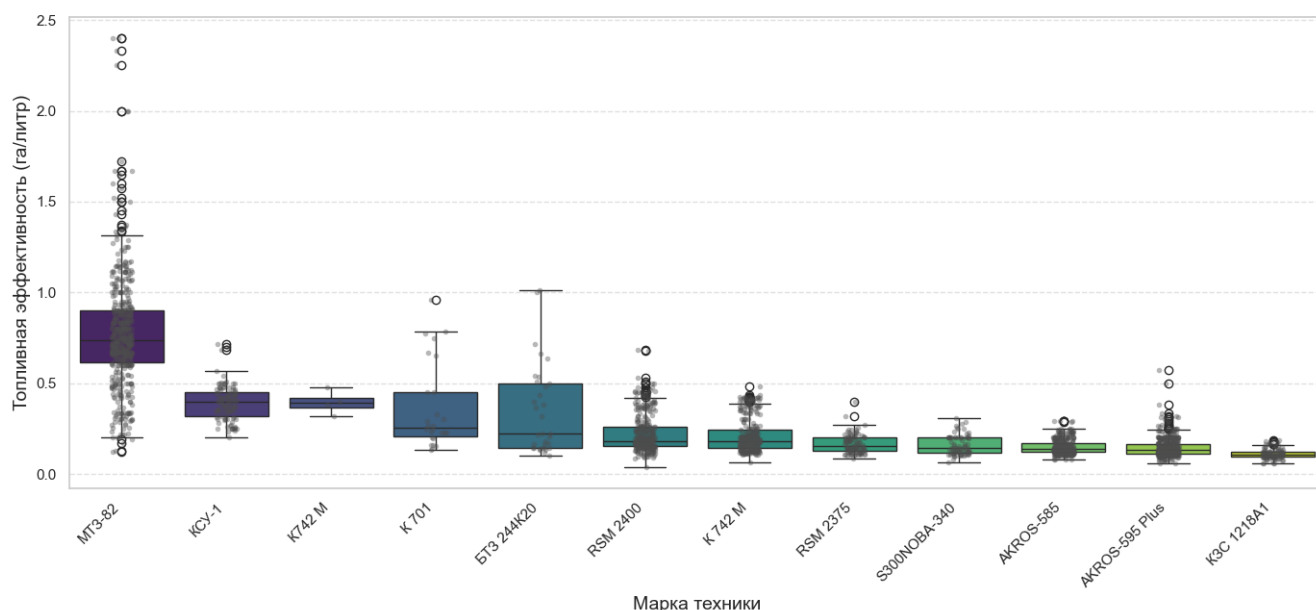
где P_f — цена дизельного топлива (руб./л).

Поскольку и удельный расход q_f (как показано на рис. 3), и цена топлива P_f (вследствие рыночной

волатильности) являются случайными величинами, итоговая стоимость C_h также является стохастической. Это позволяет для каждой марки техники рассчитать два ключевых экономических показателя:

- математическое ожидание стоимости ($E[C_h]$) — средние ожидаемые затраты на обработку гектара;
- дисперсия стоимости ($\text{Var}(C_h)$) — мера риска, отражающая непредсказуемость и волатильность затрат.

Для выявления и количественной оценки факторов, влияющих на стоимость, в исследовании используется метод декомпозиционного анализа, основанный на расчете и сравнении ключевых экономических показателей. Этот инструментальный метод позволяет оценить экономический вклад каждой марки техники и типа операции в итоговую себестоимость полевых работ путем агрегации данных и анализа статистических свойств полученных распределений. В разделе «Результаты» будут представлены расчеты математического ожидания ($E[C_h]$) и стандартного отклонения ($\sigma[C_h]$) стоимости для каждой подгруппы данных. Этот подход позволит провести объективный бенчмаркинг активов и классифицировать их по критерию «Риск — Стоимость», что является основой для дальнейших управленческих выводов [Иовлев, Голдина, Зорков, 2023].



Примечание: каждый ящик представляет собой межквартильный размах (от 25-го до 75-го перцентиля) распределения топливной эффективности для соответствующей марки техники. Горизонтальная линия внутри ящика обозначает медианное значение. Усы диаграммы показывают основной диапазон данных, а отдельные точки за их пределами — статистические выбросы. Серые точки (англ. stripplot) наложены для визуализации плотности распределения всех индивидуальных сменных заданий

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Рис. 3. Распределение топливной эффективности по маркам техники

Fig. 3. Distribution of fuel efficiency by brand of technics

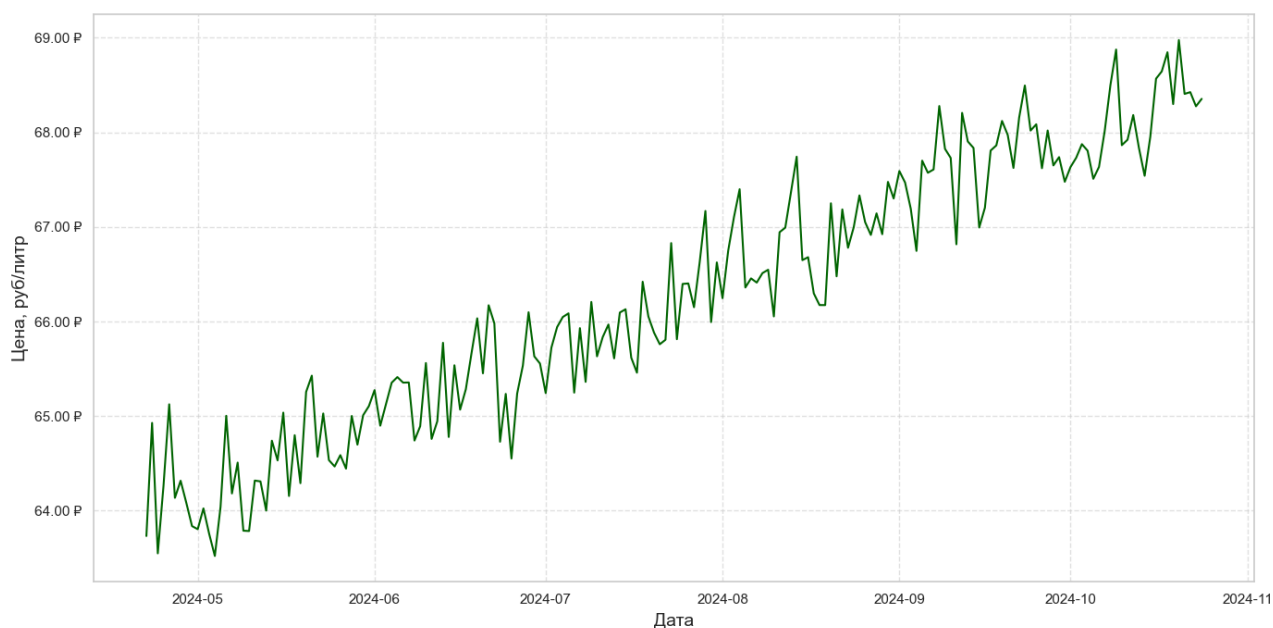
Моделирование экономических условий и динамика затрат / Modelling of economic conditions and cost dynamics

В данном разделе представлены результаты эконометрического анализа, направленного на количественную оценку экономических последствий эксплуатации гетерогенного парка сельскохозяйственной техники в условиях рыночной неопределенности. Анализ основан на интеграции эмпирических производственных данных, отражающих внутреннюю операционную эффективность, со смоделированной динамикой рыночных цен на топливо, представляющей внешний экономический риск.

Для перехода от физических показателей к экономическим была введена экзогенная переменная — цена топлива (P_f). Использование единого среднего годового значения цены является распространенным упрощением в ретроспективном анализе, однако такой подход полностью игнорирует фактор временной волатильности и скрывает риски, с которыми предприятие сталкивается в реальности. Чтобы создать более адекватную экономическую среду для анализа, на рис. 4 представлена смоделированная динамика цен на протяжении сельскохозяйственного сезона 2024 г. Данная временная последовательность является ключевым внешним фактором, определяющим экономический контекст исследования.

Все этапы вычислительного эксперимента, включая предварительную обработку данных, расчет экономических показателей, эконометрическое моделирование и визуализацию результатов, были реализованы в интерактивной среде Jupyter Notebook. В качестве основного языка программирования использовался Python 3.x в связке с ключевыми библиотеками для анализа данных: Pandas — для структурирования и манипуляции панельными данными, NumPy — для выполнения векторных математических вычислений, Matplotlib и Seaborn — для построения статистических графиков и диаграмм. Такой выбор программных средств обеспечивает полную воспроизводимость и прозрачность исследования, а также возможность его легкой адаптации для анализа аналогичных наборов данных из других агропредприятий.

Представленная на графике модель цены не просто является случайной симуляцией, а отражает две фундаментальные экономические компоненты, наблюдаемые в ретроспективе на рынках ГСМ. Первая — это детерминированный линейный тренд, имеющий положительный наклон. Он агрегирует в себе предсказуемые макроэкономические и сезонные факторы: общую инфляцию в экономике, плановые изменения в налоговой политике (акцизы), а также сезонное увеличение спроса на дизельное топливо в периоды посевной и уборочной кампаний, что традиционно приводит к его удорожанию. Эта компонента представляет



Примечание: график иллюстрирует смоделированную временную последовательность ежедневных цен на дизельное топливо. Сплошная зеленая линия включает в себя две компоненты: детерминированный линейный тренд, отражающий сезонное удорожание, и стохастическую компоненту («шум»), имитирующую краткосрочные рыночные колебания

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Рис. 4. Смоделированная динамика цен на дизельное топливо в течение сезона 2024 г.

Fig. 4. Simulated dynamics of diesel fuel prices during the 2024 season

собой тот аспект ценового риска, который поддается прогнозированию и может быть учтен в долгосрочном финансовом планировании предприятия [Шарикова, Лысова, Кондак, Шаронова, 2023].

Вторая компонента — стохастическая, или «шумовая», проявляющаяся в виде краткосрочных колебаний вокруг основного тренда. Она моделирует непредсказуемую рыночную волатильность, обусловленную множеством факторов: локальными дисбалансами спроса и предложения на региональных нефтебазах, краткосрочными изменениями мировых цен на нефть, логистическими сбоями или изменениями в работе демпферного механизма. Именно эта компонента представляет собой чистый рыночный риск, который предприятие не может контролировать и должно либо абсорбировать за счет собственной маржинальности, либо хеджировать. Смоделированная на рис. 4 динамика цен является реалистичным представлением внешней экономической среды, полной как предсказуемых трендов, так и стохастической неопределенности.

На основе этих ежедневных цен и ранее рассчитанного удельного расхода топлива (q_f) для каждого сменного задания была вычислена ключевая экономическая метрика — стоимость обработки одного гектара (C_h), согласно формуле (4) из раздела «Материалы и методы». В табл. 2 приведен пример рассчитанных

показателей, демонстрирующий, как физические коэффициенты и рыночные цены формируют итоговую стоимость [Шарикова, Лысова, Кондак, Шаронова, 2023; Водяников, Субаева, Александрова, 2024].

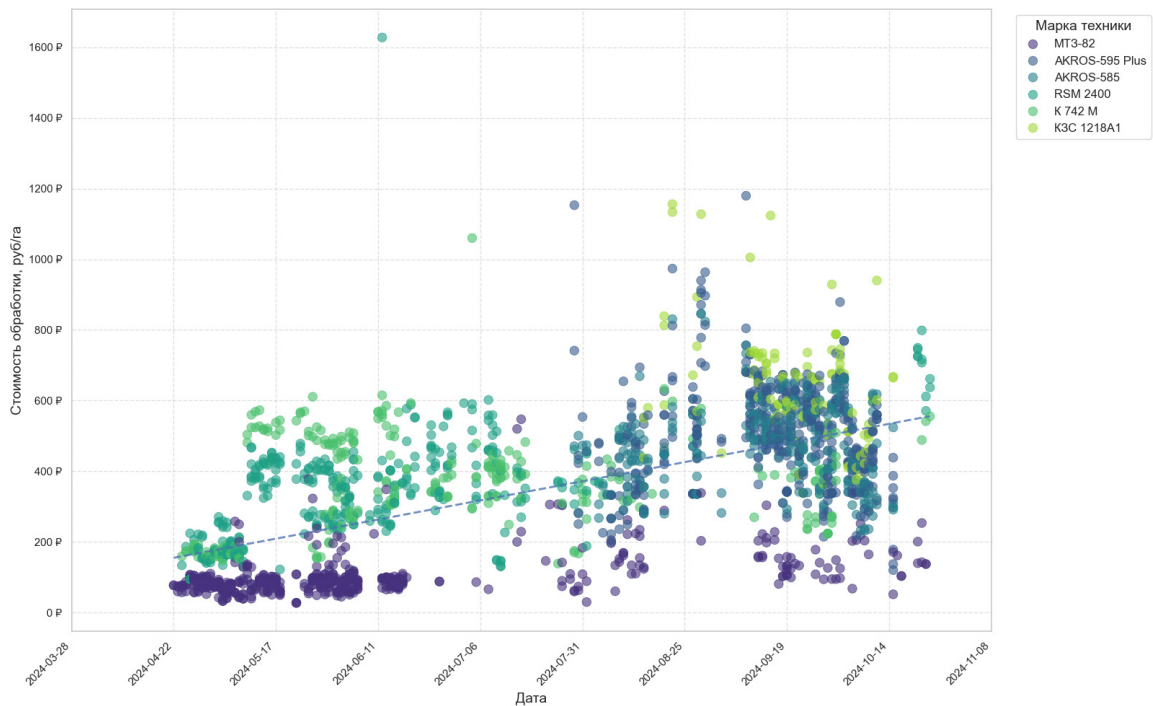
Таблица 2
Пример расчета динамической стоимости обработки одного гектара

Table 2. Example of calculating the dynamic cost of processing one hectare

Дата	Марка техники	Удельный расход, л/га	Цена топлива, руб./л	Стоимость, руб./га
22.04.2024	MT3-82	1,20	64,68	77,61
23.04.2024	MT3-82	1,14	64,17	73,34
23.04.2024	MT3-82	0,93	64,17	59,59
24.04.2024	K-742M	2,50	64,23	160,58
25.04.2024	RSM 2400	2,90	65,10	188,79

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Для детального анализа влияния ценовой волатильности на различные классы техники на рис. 5 и рис. 6 представлена декомпозиция динамики затрат. Коллаж состоит из субграфиков для каждой из 6 наиболее репрезентативных марок техники (MT3-82, AKROS 595 Plus, AKROS 585, RSM 2400, K-742 M, K3C-1218A-1), отобранных по частоте их использования в течение сезона.



Примечание: график агрегирует динамику затрат всего парка на одной плоскости. Каждая точка представляет собой отдельное сменное задание, стоимость которого рассчитана на основе ежедневной цены на топливо. Цвет маркера кодирует марку техники. Пунктирная синяя линия представляет собой общий линейный тренд, отражающий систематическое увеличение себестоимости полевых работ в течение сезона

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Рис. 5. Сводная динамика стоимости обработки одного гектара для репрезентативных марок техники
Fig. 5. Summary dynamics of the processing cost of one hectare for representative brands of technics

Данный график (рис. 5) агрегирует динамику затрат всего парка на одной плоскости, позволяя оценить общую структуру и масштаб экономических колебаний. Наблюдается выраженный восходящий тренд (показан пунктирной линией), который отражает систематическое увеличение себестоимости полевых работ в течение сезона, обусловленное ростом цен на ГСМ. Этот тренд является общей экономической реальностью для всех активов предприятия. Цветовое кодирование по маркам техники позволяет визуально идентифицировать отдельные кластеры, однако их сильное взаимное наложение затрудняет детальный анализ поведения каждого отдельного класса машин.

Тем не менее даже на этом агрегированном уровне можно сделать важный вывод: дисперсия затрат не является однородной. В начале сезона (апрель-май) разброс точек относительно небольшой, однако по мере роста цен и усложнения полевых работ (например, уборка урожая) вертикальный разброс значений сильно увеличивается. Это свидетельствует о неравномерной волатильности затрат во времени. Для того чтобы декомпозировать этот общий разброс и понять, какой вклад в него вносит каждая марка техники, необходимо провести изолированный анализ, представленный на рис. 6.

Для детального анализа влияния ценовой волатильности на различные классы техники на рис. 6 представлена декомпозиция динамики затрат. Коллаж состоит из субграфиков для 6 наиболее репрезентативных марок, что позволяет устранить взаимное наложение данных и изолированно изучить поведение каждого актива.

Анализ коллажа позволяет сделать несколько ключевых наблюдений. Во-первых, для всех марок техники наблюдается общий восходящий тренд затрат (показан пунктирной линией), что является прямым следствием роста цен на топливо. Во-вторых, и это наиболее важный вывод, профиль риска существенно различается. Обратим внимание на широкий вертикальный разброс точек у таких моделей, как K-742M и RSM 2400 (субграфики D, E). Это означает, что их итоговая стоимость за гектар крайне волатильна. В то же время MT3-82 (субграфик A) демонстрирует гораздо более плотный кластер точек, что свидетельствует о низком операционном риске и высокой предсказуемости затрат. Одна и та же рыночная неопределенность (колебания цен на топливо) по-разному мультиплицируется в зависимости от внутренней операционной стабильности актива [Рущицкая, Куликова, Кружкова, Чернов, 2025].

Классификация активов по критерию «Риск – Стоимость» / Classification of assets according to the Risk – Value criterion

Для формализации и количественной оценки этих наблюдений для каждой марки техники были вычислены два основных экономических показателя:

- математическое ожидание стоимости ($E[C_h]$) – средние ожидаемые затраты на обработку гектара, рассчитанные как среднее арифметическое C_h за весь период;
- риск ($\sigma[C_h]$) – мера волатильности затрат, рассчитанная как стандартное отклонение C_h .

Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3

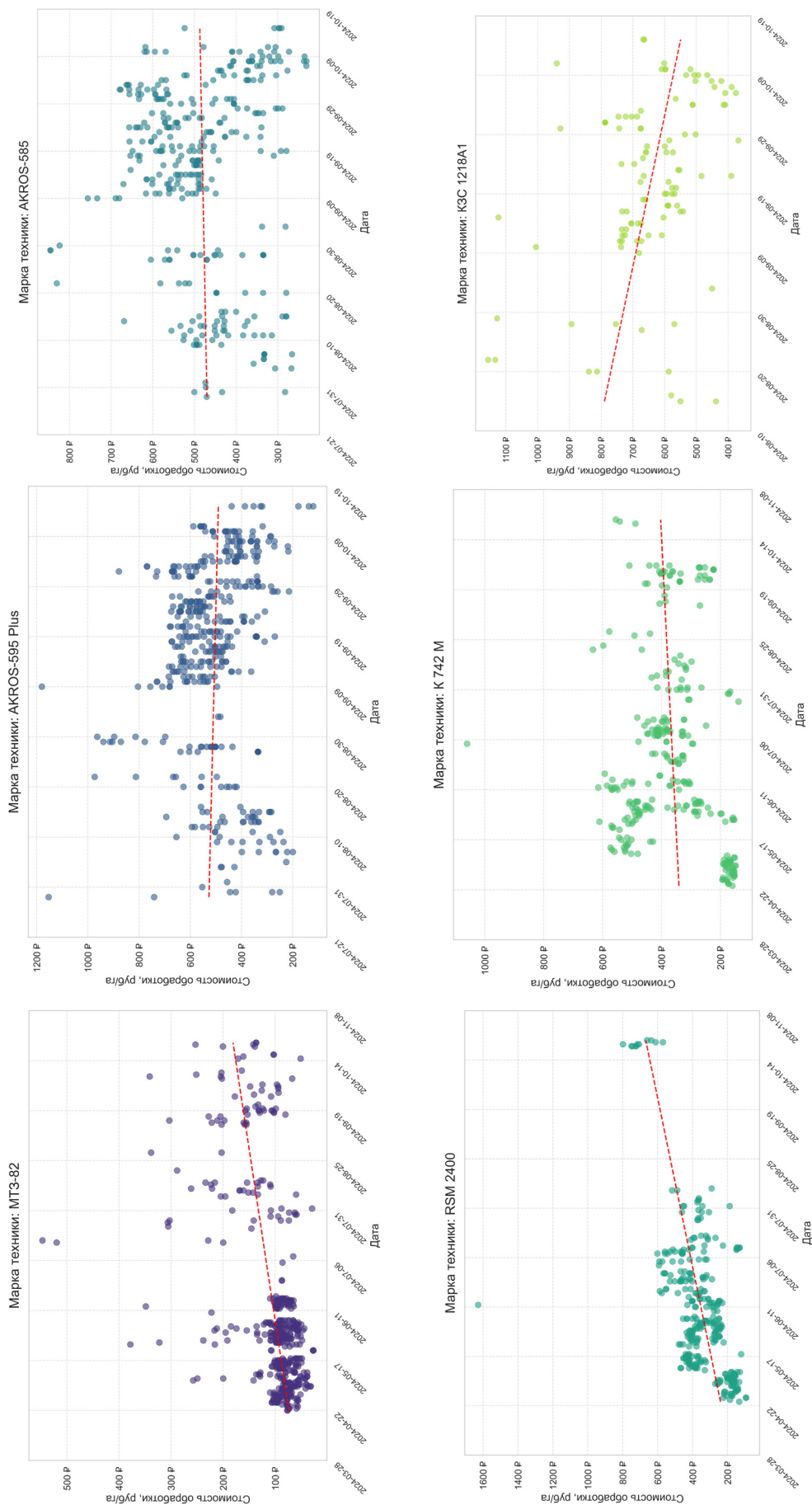
Итоговые экономические показатели парка техники

Table 3. Final economic indicators of the technics fleet

Марка техники	Ожидаемая стоимость, руб./га ($E[C_h]$)	Риск, руб./га ($\sigma[C_h]$)
MT3-82	102,41	58,71
K-742M	167,23	27,80
KCY-1	182,60	47,84
K-701	247,51	124,81
BT3-244K.20	293,58	173,75
RSM 2400	349,07	150,62
K-742M	363,70	131,71
RSM 2375	427,28	117,40
S300 NOVA-340	473,40	150,91
AKROS 585	479,35	116,29
AKROS 595 Plus	502,84	142,69
K3C-1218A-1	642,16	158,40

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Для перехода от анализа отдельных показателей к синтетической, интегральной оценке всего парка активов рассчитанные экономические данные были визуализированы в виде матрицы «Риск – Стоимость», представленной на рис. 7. Этот инструмент, концептуально заимствованный из теории портфельного анализа в финансах, позволяет трансформировать двумерный набор данных (ожидаемая стоимость и риск для каждой марки техники) в стратегический дашборд для принятия управленческих решений. Ось абсцисс на графике представляет собой математическое ожидание затрат, то есть наиболее вероятную стоимость обработки одного гектара. Ось ординат, в свою очередь, представляет собой стандартное отклонение, которое является количественной мерой риска, или волатильности, этих затрат. Таким образом, каждая точка на графике – это экономический профиль конкретного типа актива, характеризующий его с позиций как средней затратности, так и предсказуемости.

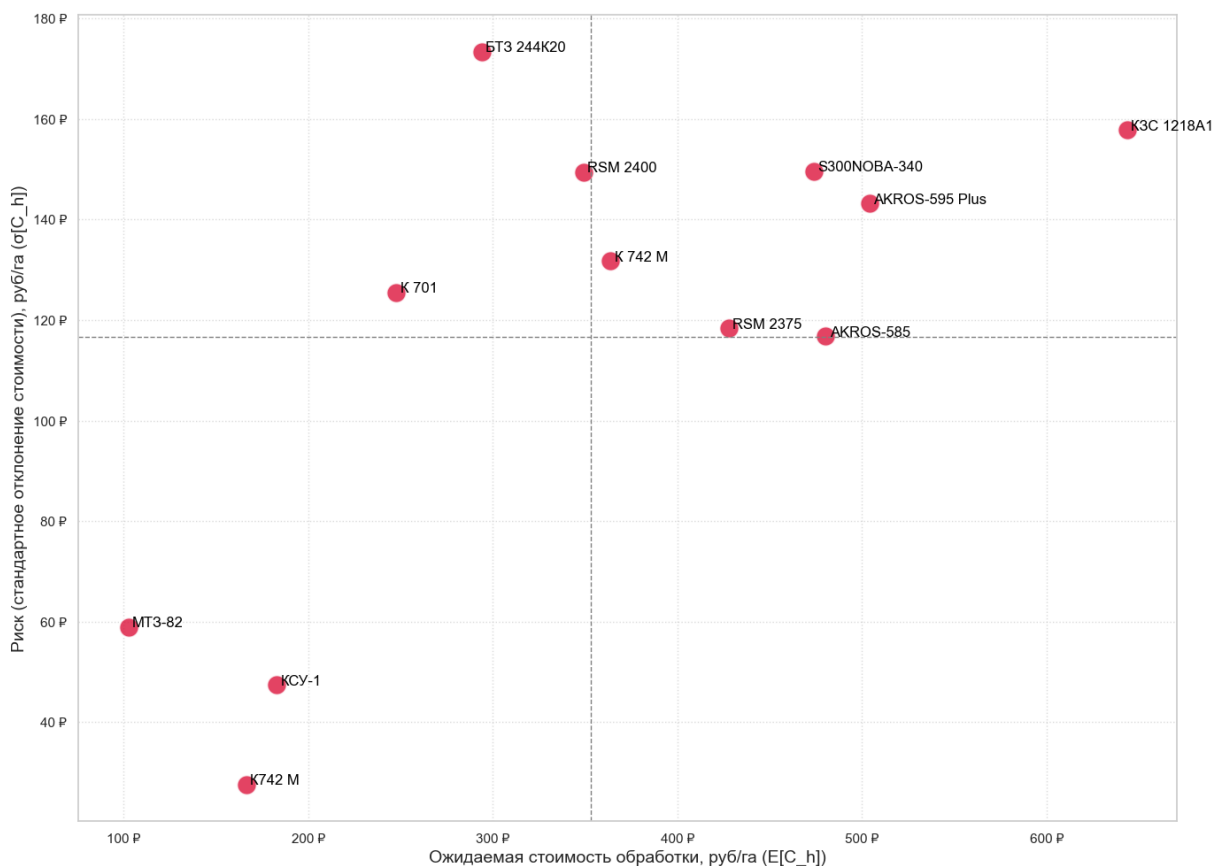


Примечание: каждый субграфик иллюстрирует динамику ежедневной стоимости обработки одного гектара для отдельной марки техники. Цветные точки представляют собой отдельные сменные задания, стоимость которых рассчитана на основе ежедневной цены на топливо. Пунктирная красная линия на каждом графике представляет собой линейный тренд, отражающий общую тенденцию изменения затрат для данной марки техники в течение сезона

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Рис. 6. Детализированная динамика стоимости обработки одного гектара для репрезентативных марок техники на отдельных графиках

Fig. 6. Detailed dynamics of the processing cost of one hectare for representative brands of technics on separate graphs



Примечание: каждая точка на графике представляет экономический профиль отдельной марки техники в координатах «Ожидаемая стоимость – Риск». Ось абсцисс (X) соответствует средним ожидаемым затратам на обработку одного гектара ($E[C_h]$), а ось ординат (Y) – стандартному отклонению этих затрат ($\sigma[C_h]$), которое является мерой риска или волатильности. Пунктирные серые линии обозначают средние значения стоимости и риска по всему парку, разделяя плоскость на четыре стратегических квадранта

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the author on the materials of the study

Рис. 7. Матрица «Риск – Стоимость» для парка техники

Fig. 7. Risk – Cost matrix for the fleet of technics

Анализ матрицы позволяет провести стратегическую сегментацию парка техники:

- **квадрант I (низкая стоимость, низкий риск):** в данном квадранте находятся наиболее эффективные и предсказуемые активы. Яркими представителями являются MT3-82, KCY-1 и K-742M. Эти машины выступают «рабочими лошадками» хозяйства, обеспечивая стабильно низкую себестоимость на своих операциях;

- **квадрант II (высокая стоимость, низкий риск):** в данную категорию попадают активы, которые являются дорогостоящими в эксплуатации, но при этом предсказуемыми. На графике таких явных представителей нет, но RSM 2375 и AKROS 585 близки к этой зоне. Такая техника может быть оправдана для выполнения критически важных, узкоспециализированных операций, где предсказуемость важнее экономии;

- **квадрант III (низкая стоимость, высокий риск):** здесь находятся непредсказуемые активы. K-701 и БТЗ-244К.20 демонстрируют относительно невысокую среднюю

стоимость, но огромный разброс. Это указывает на их нестабильную работу, возможно, связанную с техническим состоянием или широким спектром неоптимальных режимов эксплуатации;

- **квадрант IV (высокая стоимость, высокий риск):** этот квадрант занимают наименее эффективные активы, являющиеся основными кандидатами на списание, капитальный ремонт или пересмотр режимов эксплуатации. Модели RSM 2400, S300 NOVA-340, AKROS 595 Plus и особенно K3C-1218A-1 демонстрируют как самые высокие средние затраты, так и высокий уровень их непредсказуемости.

Обсуждение результатов / Discussion of the results

Представленный эконометрический анализ и классификация активов по матрице «Риск – Стоимость» являются не просто констатацией ретроспективных фактов, а формируют основу для разработки

инструментального метода принятия обоснованных управленческих решений. Практическая ценность модели заключается в ее способности трансформировать сырые производственные данные в многомерную систему координат для стратегического управления. Это позволяет перейти от унифицированного подхода к управлению парком техники к дифференцированным стратегиям, учитывающим уникальный экономический профиль каждого актива. Классификация техники по квадрантам матрицы является первым шагом в этом процессе, позволяя сегментировать активы и применять к ним целенаправленные управленческие воздействия [Иовлев, 2022].

Для активов, попавших в квадрант IV (высокая стоимость, высокий риск), таких как КЗС-1218А-1 и RSM 2400, модель предоставляет количественное обоснование для принятия радикальных решений. Большие ожидаемые затраты в сочетании с их непредсказуемостью делают эти машины основным источником финансовой нестабильности. Управленческая стратегия здесь должна быть направлена на минимизацию их негативного влияния: проведение глубокого технического аудита для выявления причин нестабильности, ограничение спектра выполняемых ими операций до наименее ответственных и, в конечном счете, экономическое обоснование их замены в рамках следующего инвестиционного цикла. В свою очередь, активы из квадранта III (низкая стоимость, высокий риск), такие как БТЗ-244К.20, требуют иного подхода. Их проблема заключается не в средней стоимости, а в ее высокой дисперсии. Это сигнализирует о необходимости проведения диагностики операционного процесса: является ли причиной нестабильности техническое состояние машины, недостаточная квалификация операторов или ее неоптимальное применение? Модель позволяет изолировать эти факторы, например, путем анализа волатильности затрат для разных операторов на одной и той же машине, тем самым превращаясь в инструмент для выявления потребности в целевом обучении персонала.

Активы из квадрантов I и II формируют ядро эффективного производственного процесса. Техника из квадранта I (низкая стоимость, низкий риск), в частности МТЗ-82, представляет собой эталонный актив. Стратегия управления для этих машин заключается в максимальной утилизации их потенциала и использовании их показателей в качестве внутреннего бенчмарка для других активов. Активы из квадранта II (высокая стоимость, низкий риск), такие как RSM 2375, играют роль «специалистов». Их использование экономически оправдано при выполнении критически

важных агротехнических операций с узкими временными окнами (например, посев или внесение средств для защиты растений), где предсказуемость и надежность выполнения задачи (низкий риск срыва) имеют более высокий приоритет, чем минимизация прямых затрат на ГСМ. Таким образом, модель позволяет менеджменту делать осознанный выбор между экономичностью и надежностью, распределяя активы по задачам в соответствии с их экономическим профилем.

Преимуществом предложенного подхода является возможность формирования адаптивной операционной стратегии в режиме реального времени. В периоды высокой волатильности цен на топливо (высокий $\sigma[P_f]$) общий финансовый риск предприятия возрастает. В этих условиях модель предписывает минимизировать использование техники с большим внутренним операционным риском (широкий разброс на рис. 6), даже если ее средняя стоимость не является самой высокой. Экономический смысл этого решения заключается в предотвращении мультипликативного эффекта, когда внешний рыночный риск накладывается на внутренний операционный, порождая катастрофическую непредсказуемость затрат. В такие периоды предпочтение следует отдавать активам из I и II квадрантов, так как их предсказуемость снижает общий финансовый риск предприятия.

Более того, разработанная модель имеет долгосрочные стратегические импликации, выходящие за рамки операционного управления. Она может быть интегрирована в процессы капитального бюджетирования и принятия инвестиционных решений. При выборе новой техники для закупки агропредприятие получает возможность оценивать потенциальные активы не только по цене приобретения и заявленным производителем характеристикам, но и по их ожидаемому профилю «Риск – Стоимость». Запрос у производителя данных о дисперсии операционных показателей в реальных условиях эксплуатации становится таким же важным, как и данные о среднем расходе топлива. Это позволяет проводить более точную оценку жизненного цикла актива (англ. *asset lifecycle*) и принимать решения, направленные на формирование сбалансированного и экономически устойчивого парка техники.

Наконец на отраслевом и региональном уровнях широкое внедрение подобных эконометрических моделей может привести к значительному повышению общей эффективности АПК. Оно способствует формированию культуры управления, основанной на данных (англ. *data-driven management*), и создает объективную основу для разработки систем мотивации персонала, где вознаграждение привязано не только к объему выполненных работ, но и к стабильности

и экономичности их выполнения. Увеличение эффективности на микроуровне отдельных предприятий транслируется в снижение себестоимости продукции в регионе, повышение его конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках, а также общей экономической устойчивости аграрного сектора к внешним ценовым шокам.

Заключение / Conclusion

В настоящем исследовании была разработана и апробирована эконометрическая модель для оценки и оптимизации затрат на ГСМ в условиях гетерогенного парка сельскохозяйственной техники. Работа решает актуальную для региональной и отраслевой экономики проблему высокой доли и волатильности топливных издержек в структуре себестоимости аграрного производства. Ключевым методологическим результатом является переход от анализа детерминированных физических показателей эффективности, таких как удельный расход топлива, к стохастическому моделированию экономических издержек. Предложенный инструментальный метод, основанный на интеграции производственных данных с динамикой рыночных цен, позволил трансформировать традиционные учетные записи в многомерную систему экономических координат, включающую как ожидаемую стоимость, так и меру риска.

На эмпирическом материале Омского аграрного научного центра было продемонстрировано, что различные типы производственных активов (марки техники) обладают уникальными экономическими профилями. Исследование показало, что один и тот же внешний ценовой шок оказывает гетерогенное воздействие на итоговую себестоимость полевых работ в зависимости от внутренней операционной

стабильности конкретной машины. Разработанный синтетический инструмент — матрица «Риск — Стоимость» — позволил провести объективную классификацию всего парка техники, выявив как высокоэффективные и предсказуемые активы, формирующие ядро экономической устойчивости предприятия, так и проблемные активы, являющиеся основным источником финансовых рисков.

Полученные результаты имеют значительные управленческие импликации. На операционном уровне модель предоставляет основу для формирования адаптивных стратегий распределения техники, позволяя менеджменту делать осознанный выбор между минимизацией затрат и снижением рисков в зависимости от текущей рыночной конъюнктуры. На стратегическом уровне предложенный подход может быть интегрирован в процессы принятия инвестиционных решений, предоставляя иной, более полный критерий для оценки и выбора новой техники, основанный не только на цене приобретения, но и на ее ожидаемом профиле «Риск — Стоимость». Таким образом, исследование предлагает конкретный инструментарий для повышения эффективности управления активами и, как следствие, конкурентоспособности агропредприятия.

Модель базировалась на агрегированных сменных отчетах, что не позволило декомпозировать причины операционной нестабильности на более глубоком уровне (например, разделить влияние оператора и технического состояния). Перспективными направлениями для дальнейших исследований являются интеграция в модель других компонент затрат (амортизация, ремонт, оплата труда) для расчета полной стохастической себестоимости машиночаса, а также использование гранулярных телематических данных для более точной идентификации факторов риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексюткина О.А.* Цепочка создания стоимости продукции зернопродуктового подкомплекса: элементы и факторы. Научный журнал молодых ученых. 2024;2(37):77–81.
- Баляниц К.М.* Особенности развития информационной инфраструктуры регионов СКФО в условиях цифровой трансформации агроэкономики. В кн.: Современные тренды и приоритеты устойчивого развития регионов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук, Махачкала, 17 октября 2023 г. Махачкала: Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук; 2023. С. 48–56.
- Водяников В.Т., Субаева А.К., Александрова Н.Р.* Модернизация технического ресурса аграрного сектора экономики

REFERENCES

- Aleksyutkina O.A.* The value chain of the grain product subcomplex: elements and factors. Scientific Journal of Young Scientists. 2024;2(37):77–81. (In Russian).
- Baliyants K.M.* Features of the development of the information infrastructure of the North Caucasus Federal District regions in the context of the digital transformation of the agricultural economy. In: Modern trends and priorities for sustainable development of regions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Makhachkala, October 17, 2023. Makhachkala: Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 2023. Pp. 48–56. (In Russian).
- Iovlev G.A.* Economics of agricultural transport. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022;S13:18–30. (In Russian). <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-228-13-18-30>

России в условиях санкционных ограничений. Экономика сельского хозяйства России. 2024;2:29–36. <http://doi.org/10.32651/242-29>

Иовлев Г.А. Экономика сельскохозяйственного транспорта. Аграрный вестник Урала. 2022;S13:18–30. <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-228-13-18-30>

Иовлев Г.А., Голдина И.И., Зорков В.С. Техническая и экономическая оценка систем технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Аграрная наука. 2023;4:129–136. <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-129-136>

Кузнецова Л.В., Мазуров В.Н. Нормативная база и анализ обеспеченности тракторами аграрного сектора экономики АПК (на примере Калужской области). АПК: экономика, управление. 2024;6:76–82. <http://doi.org/10.33305/246-76>

Помогаев В.М., Редреев Г.В. Информационное обеспечение в системе технического обслуживания и ремонта мобильных машин в сельском хозяйстве. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022;2(46):145–152. http://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_2_145

Рушницкая О.А., Куликова Е.С., Кружкова Т.И., Чернов С.А. Разработка методики интегральной оценки технической оснащенности сельскохозяйственных организаций для повышения производственной эффективности. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025;5:2–9. <http://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-5-2-9>

Сердечная Ю.Н., Сердечный Д.В., Корчагин С.А., Андриянов Н.А. Разработка эффективной системы мониторинга и анализа современных технологий развития агропромышленного комплекса в горных территориях. Устойчивое развитие горных территорий. 2024;2(60(16)):770–779. <http://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-2-770-779>

Строев В.В., Магомедов М.Д., Карелина М.Ю., Сидоренко С.В. Увеличение объемов производства зерна как основа эффективного развития предприятий агропромышленного комплекса Российской Федерации. Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024;4–1(14):404–412.

Такмакова Е.В., Самыгин Д.Ю., Зайцев А.Г., Карелина М.Ю. Роль хозяйств населения в обеспечении продовольственной безопасности России. Экономика сельского хозяйства России. 2024;8:110–116. <http://doi.org/10.32651/248-110>

Шарикова И.В., Лысова Т.А., Кондак В.В., Шаронова Е.В. Оценка материально-технической базы и уровня механизации сельского хозяйства. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;1:207–217.

Iovlev G.A., Goldina I.I., Zorkov V.S. Technical and economic assessment of maintenance and repair systems for agricultural machinery. Agrarian Science. 2023;4:129–136. (In Russian). <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-129-136>

Kuznetsova L.V., Mazurov V.N. The regulatory framework and analysis of tractor provision in the agricultural sector of the agro-industrial complex (on the example of the Kaluga region). AIC: Economics, Management. 2024;6:76–82. (In Russian). <http://doi.org/10.33305/246-76>

Pomogaev V.M., Redreev G.V. Information support in the system of maintenance and repair of mobile machines in agriculture. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2022;2(46):145–152. (In Russian). http://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_2_145

Rushchitskaya O.A., Kulikova E.S., Kruzhkova T.I., Chernov S.A. Development of a methodology for the integral assessment of the technical equipment of agricultural organizations to improve production efficiency. Economics of Agricultural and Processing Enterprises. 2025;5:2–9. (In Russian). <http://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-5-2-9>

Serdechnaya Yu.N., Serdechnyi D.V., Korchagin S.A., Andriyanov N.A. Development of an effective system for monitoring and analysis of modern technologies for the development of the agro-industrial complex in mountain territories. Sustainable Development of Mountain Territories. 2024;2(60(16)):770–779. (In Russian). <http://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-2-770-779>

Sharikova I.V., Lysova T.A., Kondak V.V., Sharonova E.V. Assessment of the material and technical base and the level of mechanization in agriculture. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2023;1:207–217. (In Russian).

Stroev V.V., Magomedov M.D., Karelina M.Yu., Sidorenko S.V. Increasing grain production volumes as a basis for the effective development of agro-industrial complex enterprises of the Russian Federation. Economics: Yesterday, Today, Tomorrow. 2024;4–1(14):404–412. (In Russian).

Takmakova E.V., Samygin D.Yu., Zaitsev A.G., Karelina M.Yu. The role of household farms in ensuring the food security of Russia. Economics of Agriculture of Russia. 2024;8:110–116. (In Russian). <http://doi.org/10.32651/248-110>

Vodyannikov V.T., Subaeva A.K., Aleksandrova N.R. Modernization of the technical resource of the agricultural sector of the Russian economy under sanction restrictions. Economics of Agriculture of Russia. 2024;2:29–36. (In Russian). <http://doi.org/10.32651/242-29>