

На правах рукописи

СТАРОВОЙТОВА ЮЛИЯ ВИКТОРОВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ
СВОЙСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ ПО
УСЛОВИЯМ ТРУДА**

Специальность: 4.3.1. Технологии машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Научный руководитель: **Перевозчикова Наталия Васильевна,**
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО
РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева

**Официальные
оппоненты:** **Сидоров Владимир Николаевич,**
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры МК6 «Колесные машины и прикладная
механика» Калужского филиала ФГАОУ ВО
«Московский государственный университет
имени Н. Э. Баумана»

Гольяпин Владимир Яковлевич,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник отдела анализа и обобщения
информации по инженерно-техническому
обеспечению АПК ФГБНУ
«Росинформагротех»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский
государственный аграрный университет»

Защита состоится 18 декабря 2025 года в 12.30 на заседании
диссертационного совета 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский
государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» по
адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел./факс: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов):
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте Университета
www.timacad.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

_____ Н. Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

В контексте агропромышленного сектора наблюдается тенденция к усилению требований к эксплуатационным параметрам тракторов. Это проявляется в необходимости увеличения мощности на единицу веса, улучшения топливной эффективности, расширения функциональности и повышения общей производительности машин, а также в снижении уровня эмиссии вредных веществ в атмосферу.

Профессия механизатора продолжает оставаться одной из ключевых в аграрной отрасли, несмотря на тенденцию к сокращению численности персонала и уменьшению парка техники. Создание оптимальных условий для труда механизаторов является приоритетной задачей, поскольку это способствует поддержанию их высокой производительности и улучшению качества выполнения агротехнических операций.

При разработке новых моделей тракторов необходимо уделять внимание эргономическим параметрам, включая безопасность эксплуатации, удобство управления и комфортность условий труда оператора. Это способствует повышению эффективности работы и минимизации риска возникновения профессиональных заболеваний и травматизма.

Существует потребность в разработке методологии, позволяющей проводить комплексную оценку технологического уровня тракторов, включая анализ их технических спецификаций, агротехнических характеристик, производительности, безопасности и степени автоматизации.

В свете вышеизложенного, данное исследование направлено на решение актуальных проблем, связанных с повышением эффективности и безопасности эксплуатации тракторов, что имеет значительное значение для прогресса агропромышленного комплекса.

Цель и задачи. В рамках научного исследования проведен анализ и предложены пути усовершенствования методологии оценки технологического уровня сельскохозяйственных тракторов.

Основные задачи исследования включают:

1. Обзор и анализ существующих методик оценки технологического уровня сельскохозяйственных тракторов.
2. Разработка и реализация процедуры экспертного опроса с целью выявления ключевых показателей для комплексной оценки и определения коэффициентов их значимости.
3. Модификация существующей математической модели, представляющей собой уравнение, которое связывает комплексный показатель технологического уровня тракторов с обобщенными и специализированными показателями.
4. Формирование теоретических и методических основ для повышения потребительских характеристик тракторов, в том числе разработка обобщенного метода квалиметрии на основе построения циклограммы качества.
5. Создание программы для определения агротехнических требований к сельскохозяйственным тракторам и оценки их технологического уровня.

Целью данных задач является комплексное исследование и совершенствование технологических характеристик тракторов, что предполагает как теоретическую, так и прикладную составляющую, направленную на повышение эффективности и безопасности работы сельскохозяйственной техники.

Объект исследований. Предметом анализа выступают сельскохозяйственные тракторы и машинно-тракторные агрегаты, функционирующие на их основе. Исследование охватывает широкий спектр аспектов, связанных с эксплуатационными характеристиками и оценкой технологических параметров данных машин. Особое внимание уделяется вопросам безопасности эксплуатации, уровня автоматизации, производительности и другим критическим показателям, оказывающим влияние на эффективность аграрного производства.

Предмет исследований. В рамках настоящего исследования осуществляется анализ количественных показателей технологической оснащенности тракторов, а также выявление закономерностей, лежащих в основе их определения. Исследование охватывает методологические подходы к оценке разнообразных параметров тракторов, включая технологическую универсальность, агротехнические характеристики, производительность, безопасность эксплуатации и степень автоматизации.

Научная новизна. Методология оценки уровня безопасности кабин сельскохозяйственных тракторов, учитывающая условия труда операторов. Это позволяет вычислить интегральный индекс безопасности, включающий анализ параметров кабин, таких как габариты и конструктивные особенности, эргономика доступа и размещения рабочего пространства, функциональность органов управления, видимость, параметры микроклимата, уровень запыленности и загрязненности воздуха, акустические характеристики и вибрационные нагрузки.

В рамках исследования были введены коэффициенты значимости для ключевых показателей безопасности, что способствует более точному отражению их влияния на общую безопасность рабочего пространства. Такой подход обеспечивает более объективную и всестороннюю оценку безопасности кабин тракторов.

Также была разработана методика оценки степени автоматизации тракторов, учитывающая такие аспекты, как автоматизация двигателя, трансмиссии, системы подключения переднего моста, гидравлической системы навески, процессов управления трактором, а также наличие гибридных силовых установок и электромоторколесов. Это позволяет сформировать комплексный индекс автоматизации и проводить сравнительный анализ различных моделей тракторов.

Исследование предлагает комплексный подход к оценке технологического уровня тракторов, включающий анализ технологической универсальности, агротехнические характеристики, производительность, безопасность и уровень автоматизации. Такой подход дает возможность провести более глубокую и объективную оценку технологического уровня тракторов.

Практическая значимость исследования. В контексте исследования новых моделей тракторов, полученные результаты обладают потенциалом для применения в процессе разработки усовершенствованных тракторных агрегатов. Это предполагает интеграцию эргономических стандартов, повышение показателей безопасности и уровня автоматизации техники.

В рамках оценки и сравнительного анализа тракторов, разработанные методологические подходы обеспечивают возможность комплексного изучения и сопоставления технологических параметров различных моделей. Данный аспект представляет интерес как для производителей, так и для конечных пользователей, стремящихся к выбору наиболее оптимальных тракторов для своих нужд. Анализ безопасности рабочих мест в кабинах тракторов способствует улучшению условий труда операторов, что, в свою очередь, может привести к повышению их трудовой эффективности и сокращению вероятности возникновения профессиональных

заболеваний и травматизма. Исследование уровня автоматизации тракторов играет ключевую роль в повышении производительности труда в аграрном секторе, что потенциально способствует увеличению общей производительности и уменьшению эксплуатационных затрат.

В заключение, данное исследование обладает значительной теоретической и практической ценностью, что подтверждает его актуальность и применимость для специалистов, работающих в сфере агропромышленного комплекса.

Акт внедрения подтверждает практическую значимость результатов научных исследований.

Результаты исследований используются в учебном процессе высших учебных заведений: ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева.

Методы диссертационного исследования. В рамках проведённого исследования были применены следующие методологические подходы:

1. Системный анализ: данный метод был использован для изучения и выявления взаимосвязей между отдельными компонентами конструкций тракторов и их влияния на уровень технологической развитости.

2. Дифференцированный подход к оценке качества: этот метод применялся для визуализации параметров на циклограмме и анализа их воздействия на технологический прогресс.

3. Экспертная оценка: использовалась для определения коэффициентов значимости показателей, связанных с безопасностью и степенью автоматизации, на основе консенсуса мнений профессионалов в данной области.

4. Анкетирование: применялось для сбора данных от специалистов и операторов тракторов с целью получения объективной информации.

5. Математическое моделирование: использовалось для создания математических моделей и алгоритмов, предназначенных для оценки технологического уровня тракторов.

6. Комплексный метод оценки: применялся для синтеза различных индикаторов в единую систему, позволяющую оценить технологический уровень тракторов.

Применение вышеперечисленных методов исследования обеспечило комплексный анализ и способствовало разработке методики оценки технологического уровня тракторов, а также способствовало определению коэффициентов значимости для отдельных показателей.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Разработка методологии для оценки безопасности кабин тракторов: в рамках исследования была создана методология, позволяющая проводить оценку безопасности кабин сельскохозяйственных тракторов с точки зрения условий труда. Данная методология включает в себя анализ таких параметров, как габариты и конструктивные особенности кабин, эргономика доступа и расположения рабочих мест, удобство взаимодействия с управляющими элементами, видимость, параметры микроклимата, уровень запыленности и загрязненности воздуха, а также шумовые и вибрационные характеристики.

2. Создание методики оценки уровня автоматизации тракторов: в ходе работы была разработана методика, учитывающая степень автоматизации различных систем тракторов, включая двигатель, трансмиссию, систему подключения переднего моста, гидравлическую систему навески, системы управления трактором, а также наличие гибридных силовых установок и электромоторов в колесах.

3. Комплексный подход к оценке технологического уровня тракторов: предложен интегрированный подход к оценке технологического уровня тракторов, который учитывает широкий спектр факторов, включая технологическую универсальность, агротехнические характеристики, производительность, безопасность и уровень автоматизации.

4. Применение экспертных оценок в процессе исследования: в исследовании был применен метод экспертных оценок для определения весомости показателей, связанных с безопасностью и автоматизацией, что способствует учёту мнения специалистов и повышает точность и объективность оценочных процедур.

5. Анализ и сопоставление технологических характеристик тракторов: проведен детальный анализ и сопоставление различных моделей тракторов по их технологическим параметрам, что позволяет определить весомость отдельных показателей и более точно оценить их влияние на общий уровень безопасности и автоматизации.

Данные тезисы отражают основные результаты проведенного исследования и могут быть использованы в качестве основы для разработки новых моделей тракторов, совершенствования их конструкции и эксплуатационных характеристик, а также для оценки и сравнения существующих моделей на рынке.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается анализом современных методов исследования, применением математического анализа, использованием современных компьютерных программ, проверкой сходимости полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Положения диссертации были доложены и одобрены:

- Чтения академика В.Н. Болтинского (Москва, 17-18 января 2025г);
- Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения Миловича Александра Яковлевича (Москва, 3-5 июня 2024г.);
- Чтения академика В.Н. Болтинского (Москва, 17-18 января 2023г);
- Чтения академика В.Н. Болтинского (Москва, 17-18 января 2022 г);
- Научно-практическая конференция, в рамках постоянно действующего семинара «Чтения академика В.Н. Болтинского» (Москва 3-5 июня 2021г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 8 научно-методических работах, в том числе 2 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Патенты. Оценка потребительских свойств мобильных энергетических средств. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025680580, 07.08.2025. Заявка № 2025668474 от 23.07.2025.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 165 страницах машинописного текста, из них основного текста 150 страниц. Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы. Приложения составляют 5 страниц. Список литературы включает 93 источника, в том числе 1 иностранный. Работа содержит 26 таблиц и 28 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована значимость избранной тематики для научного сообщества и практической деятельности. Предоставлено описание структуры и содержания работы. Определены цели и задачи исследования, которые направлены на

решение актуальной проблемы в соответствующей области науки. Выделена научная новизна, заключающаяся в разработке новых теоретических подходов или методик, а также практическая значимость результатов, предполагающая их применение в реальной практике.

В первой главе проведен обзор исследований и научных трудов, посвященных рассматриваемой тематике. Среди них стоит выделить следующих авторов: Кисленко А. К., Архилаев М. А., Гуськов В. В., Клютко Д. В., Кухарёнок Л. В., Шарипов В. М., Голопятин А. В., Гайда А.С., Сидоров В.Н., Гольтяпин В.Я. и другие. Изучив их работы, мы выявили необходимость совершенствовать методику оценки тракторов в таких областях как безопасность и автоматизация.

Во второй главе рассматриваются основные показатели, которые определяют технологический уровень тракторов, такие как технологическая универсальность, агротехнические свойства, производительность, безопасность и уровень автоматизации. Описываются методы их оценки и сравнения.

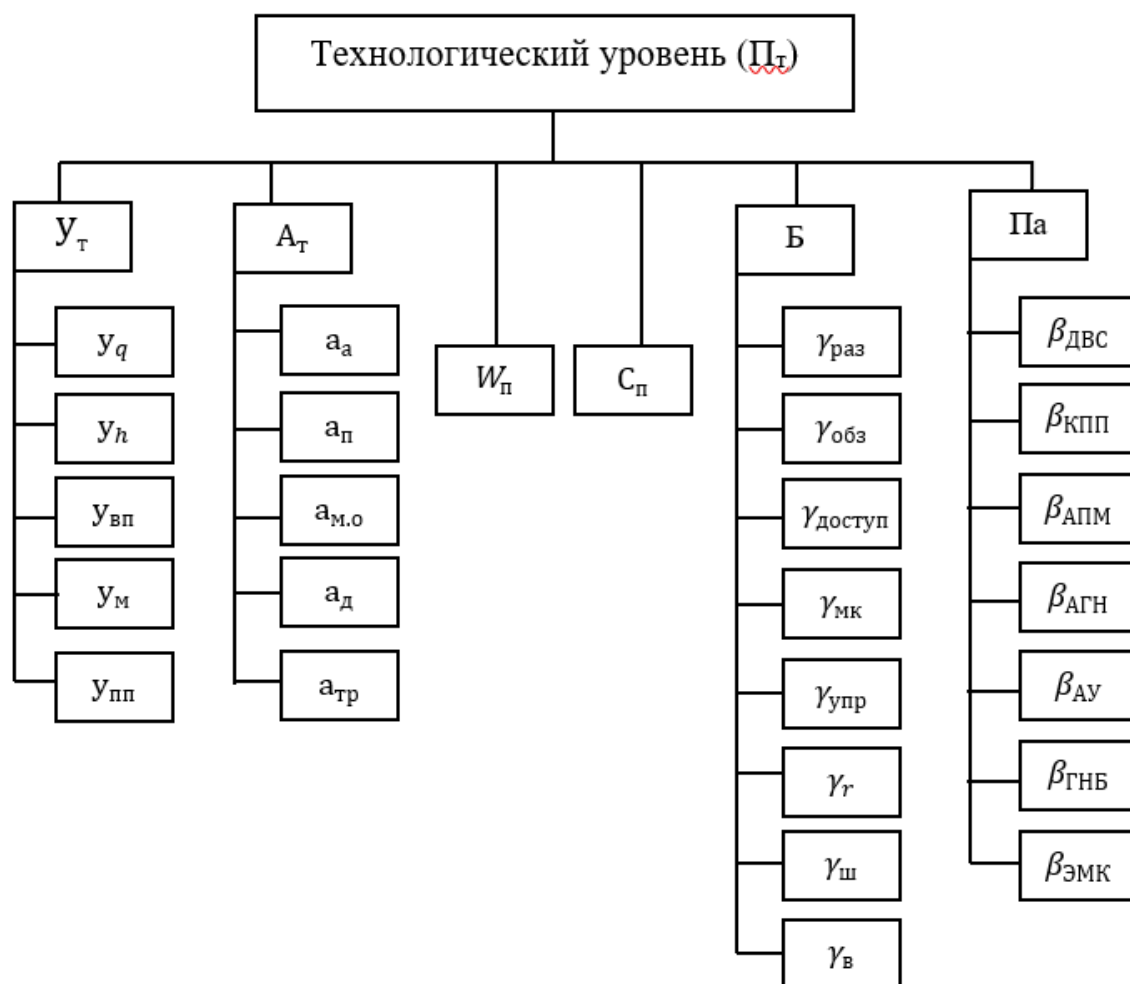


Рисунок 1 – Схема обобщенных и частных показателей технологического уровня сельскохозяйственных тракторов

Исходя из представленного рисунка, можно выделить ряд аспектов, влияющих на эргономику будущих тракторов, и, соответственно, определить направления для ее улучшения.

1. Технологическая универсальность (Ут) представляет собой критерий, характеризующий эффективность использования энергетического агрегата в

многофункциональных транспортных агрегатах (МТА) и его способность осуществлять широкий спектр аграрных операций.

2. Агротехнические свойства (Ат) являются показателем, который определяет специализацию тракторного агрегата, в частности, его пригодность для выполнения универсально-пропашных работ или задач общего назначения.

3. Производительность (Wп) отражает эффективность работы трактора с определённым типом орудий, учитывая ширину захвата и тяговое сопротивление, соответствующее номинальному уровню тяги, измеряемому на крюке агрегата.

4. Стоимость выполнения процесса (Ст) представляет собой экономический показатель, который учитывает совокупные затраты на эксплуатацию и использование тракторного агрегата.

5. Безопасность (Б) оценивает уровень защиты, обеспечиваемой конструкцией кабины трактора для оператора и пассажиров.

6. Автоматизация (Па) измеряет степень внедрения автоматизированных систем управления в сельскохозяйственные тракторы, что влияет на эффективность и удобство их эксплуатации.

В третьей главе представлен анализ математических моделей и алгоритмических процедур, применяемых для количественной оценки технологической оснащённости тракторной техники.

Существующие методы использования обобщённых показателей (состоящих из частных) (рисунок 2) основаны на применении в большинстве случаев субъективных методов. Многофакторность решаемой задачи приводит в таких условиях к значительной потере важной информации и изменению реальных комплексных показателей для сравниваемых машин.



Рисунок 2 – Уровни расположения показателей

В рамках разработки интегрированной модели компетенций специалиста применяется методология комплексной оценки. Данная методика включает в себя синтез индивидуальных оценочных показателей в интегрированную систему, для чего применяется алгоритм вычисления средневзвешенного арифметического.

$$K_э = 0,15K_{сам} + 0,20K_{вэ} + 0,10K_{р.г.} + 0,25K_{ос} + 0,30K_{вр} \quad (1)$$

где 0,15; 0,20; 0,10; 0,25; 0,30 – коэффициенты весомости; $K_{сам}$ – показатель самооценки экспертов; $K_{вэ}$ – показатель взаимооценки экспертов; $K_{р.г.}$ – показатель рабочей группы; $K_{ос}$ – отклонение эксперта от среднего значения группы; $K_{вр}$ – показатель воспроизводимости результатов эксперта.

Для анализа оценок экспертов и выявления согласованности их мнений используется коэффициент конкордации W по формуле Кендалла:

$$W = \frac{12R}{m^2(n^3-n)} \quad (2)$$

Коэффициент ранговой корреляции представляет собой статистический показатель, который меняет степень согласованности рангов среди группы экспертов.

Итоговая формула для определения показателя безопасности кабин сельскохозяйственных тракторов будет выглядеть:

$$B = S_{\text{размер}} \cdot \frac{\gamma_{\text{размер}}}{\gamma_{\text{размер ГОСТ}}} + S_{\text{доступ}} \cdot \frac{\gamma_{\text{доступ}}}{\gamma_{\text{доступ ГОСТ}}} + S_{\text{управ}} \cdot \frac{\gamma_{\text{управ}}}{\gamma_{\text{управ ГОСТ}}} + S_{\text{обз}} \cdot \frac{\gamma_{\text{обз}}}{\gamma_{\text{обз ГОСТ}}} + S_{\text{МК}} \cdot \frac{\gamma_{\text{МК}}}{\gamma_{\text{МК ГОСТ}}} + S_{\text{Г}} \cdot \frac{\gamma_{\text{Г}}}{\gamma_{\text{Г ГОСТ}}} + S_{\text{ш}} \cdot \frac{\gamma_{\text{ш}}}{\gamma_{\text{ш ГОСТ}}} + S_{\text{В}} \cdot \frac{\gamma_{\text{В}}}{\gamma_{\text{В ГОСТ}}}, \quad (3)$$

где S - доля весомости соответствующих показателей.

Кроме того, метод оценки технологических характеристик сельскохозяйственных тракторов, предложенный Г.М. Кутьковым, не включает в себя степень автоматизации трактора.

Поэтому, вместе с разработкой методики оценки безопасности кабин сельскохозяйственных тракторов по условиям труда для определения комплексного показателя безопасности аналогичным образом разработана методика оценки степени автоматизации трактора для определения комплексного показателя автоматизации.

В качестве единичных показателей автоматизации трактора принимаем показатели автоматизации ДВС $\beta_{\text{ДВС}}$, показатель автоматизации КПП $\beta_{\text{КПП}}$, показатель автоматического подключения переднего моста $\beta_{\text{АПМ}}$, показатель автоматизации гидросистемы навески $\beta_{\text{АГН}}$, показатель автоматизации управления трактором $\beta_{\text{АУ}}$, показатель наличия гибридной силовой установки $\beta_{\text{ТИБ}}$, показатель наличия электромотора колеса $\beta_{\text{ЭМК}}$.

$$Pa = f(\beta_{\text{ДВС}} \beta_{\text{КПП}} \beta_{\text{АПМ}} \beta_{\text{АГН}} \beta_{\text{АУ}} \beta_{\text{ТИБ}} \beta_{\text{ЭМК}}) \quad (4)$$

Согласно стандарту ГОСТ 15467—79 «Управление качеством продукции», интегральный показатель автоматизации сельскохозяйственных тракторов (Pa) можно представить как сумму произведений весовых коэффициентов S_i для каждого отдельного показателя автоматизации на их относительные значения β_i :

Итоговая формула для определения показателя автоматизации сельскохозяйственных тракторов будет выглядеть:

$$Pa = S_{\text{ДВС}} \cdot \frac{\beta_{\text{ДВС}}}{\beta_{\text{ДВС max}}} + S_{\text{КПП}} \cdot \frac{\beta_{\text{КПП}}}{\beta_{\text{КПП max}}} + S_{\text{АПМ}} \cdot \frac{\beta_{\text{АПМ}}}{\beta_{\text{АПМ max}}} + S_{\text{АГН}} \cdot \frac{\beta_{\text{АГН}}}{\beta_{\text{АГН max}}} + S_{\text{АУ}} \cdot \frac{\beta_{\text{АУ}}}{\beta_{\text{АУ max}}} + S_{\text{ГНБ}} \cdot \frac{\beta_{\text{ГНБ}}}{\beta_{\text{ГНБ max}}} + S_{\text{ЭМК}} \cdot \frac{\beta_{\text{ЭМК}}}{\beta_{\text{ЭМК max}}} \quad (5)$$

где S - доля весомости соответствующих показателей.

В четвертой главе представлены результаты применения разработанных методик для оценки безопасности и автоматизации различных моделей тракторов.

Для оценки безопасности кабин трактором нами были отобраны 9 единиц тракторов 4 класса разных производителей, наиболее распространённых в сельскохозяйственном производстве: Case IH Puma 175 CVX, Claas Arion 650 Cmatic, Deutz-Fahr 7250 TTV, Fendt 720 Vario, John Deere 6175R AP, McCormick X7.670 VT-Drive, Massey Ferguson 7720 Dyna V, New Holland T7 230 AC, Valtra T214 Direct. Также был проведен расчет для следующих универсально-пропашных тракторов: MTЗ 80, MTЗ 82.1, Агромаш 8.5 ТК, Т25, Агромаш ВТЗ 2032, Kubota B2441, Kubota MU 5502.

Был проведен опрос экспертов для определения рангов рассматриваемых единичных показателей безопасности. В опросе принимали участие 20 экспертов

(механизаторы, представители научной сферы (преподаватели кафедры тракторы и автомобили РГАУ-МСХА) (табл. 1).

Таблица 1 - Единичные показатели безопасности

n1	Размер и конструкция кабин
n2	Удобство и безопасность доступа и размещения тракториста на рабочем
n3	Удобство пользования органами управления и приборами
n4	Обзорность и освещенность
n5	Микроклимат в кабине
n6	Запыленность и загазованность воздуха в кабине
n7	Шум на рабочем месте тракториста
n8	Вибрация в кабине

Экспертам было предложено проранжировать единичные показатели безопасности по степени значимости. Показатели ранжируются по сумме рангов по итогам опроса.

Определение значений приведенных единичных показателей безопасности кабины трактора на примере John Deere 6175R AP

1. Размер и конструкция кабины

Данный параметр включает в себя несколько единичных параметров:

1.1. Расстояние от КТС до боковых стен, мм (минимальное)

1.2. Расстояние от КТС до потолка, мм (минимальное)

1.3. Ширина кабины, мм

Таким образом, величина приведенного параметра размера и конструкции кабин тракторов определяется по формуле:

$$\frac{Y_{\text{размер}}}{Y_{\text{размер ГОСТ}}} = \frac{775}{450} + \frac{960}{960} + \frac{1550}{1400} = 3,83 \quad (6)$$

2. Удобство доступа и размещения на рабочем

2.1. Габариты дверного проема

2.1.1. Высота, мм (минимальная)

2.1.2. Ширина в верхней части, мм (минимальная)

2.1.3. Ширина в средней части, мм (минимальная)

2.1.4. Ширина в нижней части, мм (минимальная)

2.1.5. Высота дверной ручки, мм (максимальная)

2.2. Габариты лестницы

2.2.1. Ширина ступеней, мм (минимальная)

2.2.2. Высота м/у ступенями, мм (минимальная)

2.3. Ширина сиденья, мм (минимальная)

2.4 Высота пола, мм

$$\frac{Y_{\text{доступ}}}{Y_{\text{доступ ГОСТ}}} = \frac{1400}{1250} + \frac{1100}{450} + \frac{570}{450} + \frac{330}{250} + \frac{1930}{1660} + \frac{370}{300} + \frac{290}{120} + \frac{600}{450} + \frac{1550}{1360} = 13,0 \quad (7)$$

3. Удобство пользования органами управления

3.1. Расстояние от колена до педалей тормоза, мм (максимальное)

3.2. Расстояние от колена до педали газа, мм (максимальное)

$$\frac{Y_{\text{управ ГОСТ}}}{Y_{\text{управ}}} = \frac{625}{530} + \frac{700}{500} = 2,57 \quad (8)$$

4. Обзорность

4.1. Ширина невидимой площадки, образуемой конструктивными элементами, мм.

$$\frac{Y_{\text{обз ГОСТ}}}{Y_{\text{обз}}} = \frac{700}{600} + \frac{1200}{700} + \frac{1200}{700} = 4,59 \quad (9)$$

5. Микроклимат

5.1. Температура в кабине при работающем кондиционере, °C (максимальная)

5.2. Влажность воздуха в кабине, % (максимальная)

5.3. Скорость воздуха, м/с (максимальная)

$$\frac{\gamma_{\text{мкГОСТ}}}{\gamma_{\text{мк}}} = \frac{28}{32} + \frac{60}{69} + \frac{1,5}{2} = 2,49 \quad (10)$$

6. Запыленность и загазованность

6.1. Концентрация окиси углерода, мг/м³ (максимальная)

6.2. Концентрация пыли в кабине в зависимости от двуокиси кремния, мг/м³ (максимальная)

$$\frac{\gamma_{\text{гГОСТ}}}{\gamma_{\text{г}}} = \frac{20}{15} + \frac{10}{8} = 2,58 \quad (11)$$

7. Шум в кабине

$$\frac{\gamma_{\text{шГОСТ}}}{\gamma_{\text{ш}}} = \frac{90}{72} = 1,25 \quad (12)$$

8. Вибрация

$$\frac{\gamma_{\text{вГОСТ}}}{\gamma_{\text{в}}} = \frac{115}{80} = 1,43 \quad (13)$$

Тогда, подставив все значение в итоговую формулу (3.15), получим значение комплексного показателя безопасности кабины трактора John Deere 6175R AP.

$$B_{\text{John Deere}} = 0,028 * 3,82 + 0,083 * 13,0 + 0,111 * 2,57 + 0,167 * 4,59 + 0,056 * 2,49 + 0,194 * 2,58 + 0,139 * 1,25 + 0,222 * 1,43 = 3,38 \quad (14)$$

Показатель расчета автоматизации (Па) на примере трактора John Deere 6175R AP.

1. Коэффициенты весомости (S):

$$S_{\text{ДВС}} = 0,25; S_{\text{КПП}} = 0,21; S_{\text{АПМ}} = 0,1; S_{\text{АГН}} = 0,14; S_{\text{АУ}} = 0,18; S_{\text{ГИБ}} = 0,05;$$

$$S_{\text{ЭМК}} = 0,07$$

2. Значения единичных показателей автоматизации (β):

2.1 β_{ДВС} = 0,8 (например, система автоматического управления двигателем)

2.2 β_{КПП} = 0,6 (например, автоматизированная механическая трансмиссия)

2.3 β_{АПМ} = 0,75 (например, автоматическое подключение переднего моста)

2.4 β_{АГН} = 1 (например, автоматическое управление гидросистемой навески)

2.5 β_{АУ} = 0,75 (например, система интеллектуального управления трактором)

2.6 β_{ГИБ} = 0 (например, отсутствие гибридной силовой установки)

2.7 β_{ЭМК} = 0 (например, отсутствие электромотора колеса)

3. Выполняем расчет уровня автоматизации:

$$P_a = 0,25 * \frac{0,8}{1} + 0,21 * \frac{0,6}{0,6} + 0,1 * \frac{0,75}{0,75} + 0,14 * \frac{1}{1} + 0,18 * \frac{0,75}{1} + 0,05 * \frac{0}{1} + 0,07 * \frac{0}{1} \quad (14)$$

$$P_a = 0,2 + 0,21 + 0,1 + 0,14 + 0,135 + 0 + 0 = 0,785 \quad (15)$$

Следовательно, коэффициент автоматизации (Па) для трактора марки John Deere 6175R AP равен 0,785. Этот коэффициент был представлен в графической форме.



Рисунок 3 – Коэффициент автоматизации (Π_a) для трактора марки John Deere 6175R AP

Полученные данные из расчетов комплексного показателя безопасности кабин сельскохозяйственных тракторов 4 класса сведем в таблицу 2.

Таблица 2 - Значения комплексных показателей безопасности тракторов 4 класса

Марка трактора	Ранг по показателю	Значение
Valtra T214 Direct	1	4,02
McCormick X7.670 VT-Drive	2	3,61
New Holland T7 230 AC	3	3,54
Case IH Puma 175 CVX	4	3,48
John Deere 6175R AP	5	3,38
Fendt 720 Vario	6	3,30
Deutz-Fahr 7250 TTV	7	3,27
Claas Arion 650 Cmatic	8	3,18
Massey Ferguson 7720 Dyna V	9	2,60

В данной методике мы определили показатель безопасности относительно единичных показателей безопасности, установленных ГОСТами.

Так же мы проанализировали показатели каждого из тракторов относительно эталонных величин.

За эталонные величины были приняты лучшие значения показателей исследуемых нами тракторов. Показатели безопасности исследуемых тракторов представлены в таблице 3.

Итоги данного сравнения отражены на сводной циклограмме (рисунок 4).

Таблица 3 - Показатели исследуемых тракторов

№ п/п	Показатель	Case IH Puma 175 CVX	Claas Arion 650 Cmatic	Deutz- Fahr 7250 TTV	Fendt 720 Vario	John Deere 6175R AP	McCormick X7.670 VT- Drive	Massey Ferguson 7720 Dyna V	New Holland T7 230 AC	Valtra T214 Direct	Эталон
1	Расстояние от КТС до боковых стен (мм, минимальное)	600	810	900	500	775	650	700	800	600	900
2	Расстояние от КТС до потолка (мм, минимальное)	860	970	870	940	960	830	990	870	940	990
3	Ширина кабины (минимальная)	1560	1620	1100	1580	1550	1620	1280	1560	1530	1620
4	Высота двери кабины (минимальная)	1360	1440	1430	1400	1400	1340	1440	1360	1400	1440
5	Ширина двери кабины в верхней части (минимальная)	900	630	700	760	1100	1100	800	900	800	1100
6	Ширина двери кабины в средней части (минимальная)	420	420	590	470	570	610	650	420	700	700
7	Ширина двери кабины в нижней части (минимальная)	300	300	340	340	330	320	370	300	330	370
8	Высота дверной ручки, мм	1830	1930	1940	1880	2030	1920	2000	1830	1660	2030
9	Ширина ступеней (минимальная)	300	370	320	400	330	310	370	370	370	400
10	Высота между ступенями (минимальная)	180	290	250	300	260	270	270	170	310	310
11	Ширина сиденья (мм, минимальная)	580	600	590	500	550	560	490	500	530	600
12	Высота пола кабины	1490	1400	1530	1440	1550	1360	1510	1510	1460	12
13	Расстояние от колена до педалей тормоза (мм)	540	555	550	550	530	480	525	540	520	13
14	Расстояние от колена до педали газа (максимальное, мм)	485	535	510	560	500	470	515	490	520	14

15	Сектор обзора 1 (максимальная)	630	600	580	680	600	590	680	660	500	15
16	Сектор обзора 2 (максимальная)	1000	900	1200	900	700	800	1100	900	1000	16
17	Сектор обзора 3 (максимальная)	1000	900	1200	900	700	800	1100	900	1000	17
18	Температура в кабине при работающем кондиционере (°C)	25,5	25,5	33	26	32	26,5	25,5	25,5	24	18
19	Влажность воздуха в кабине (%)	60	67	30	47	69	50	44	75	43	75
20	Скорость воздуха (м/с)	0,2	1,3	0,9	1	2	1	0,9	0,8	1	20
21	Концентрация окиси углерода(мг/м3)максимальная	11	9	10	11	15	8	7	6	13	21
22	Концентрация пыли в кабине в зависимости от двуокиси кремния (мг/м3) до до 2 %	8	12	7	6	8	9	5	9	2	22
23	Шум в кабине при выполнении технологической операции, дБ	74	72,5	77	72	72	76	71	71	79	23
24	Локальная вибрация в зависимости от частоты (Гц/дБ) 8 Гц	90	109	98	110	80	70	110	74	90	24

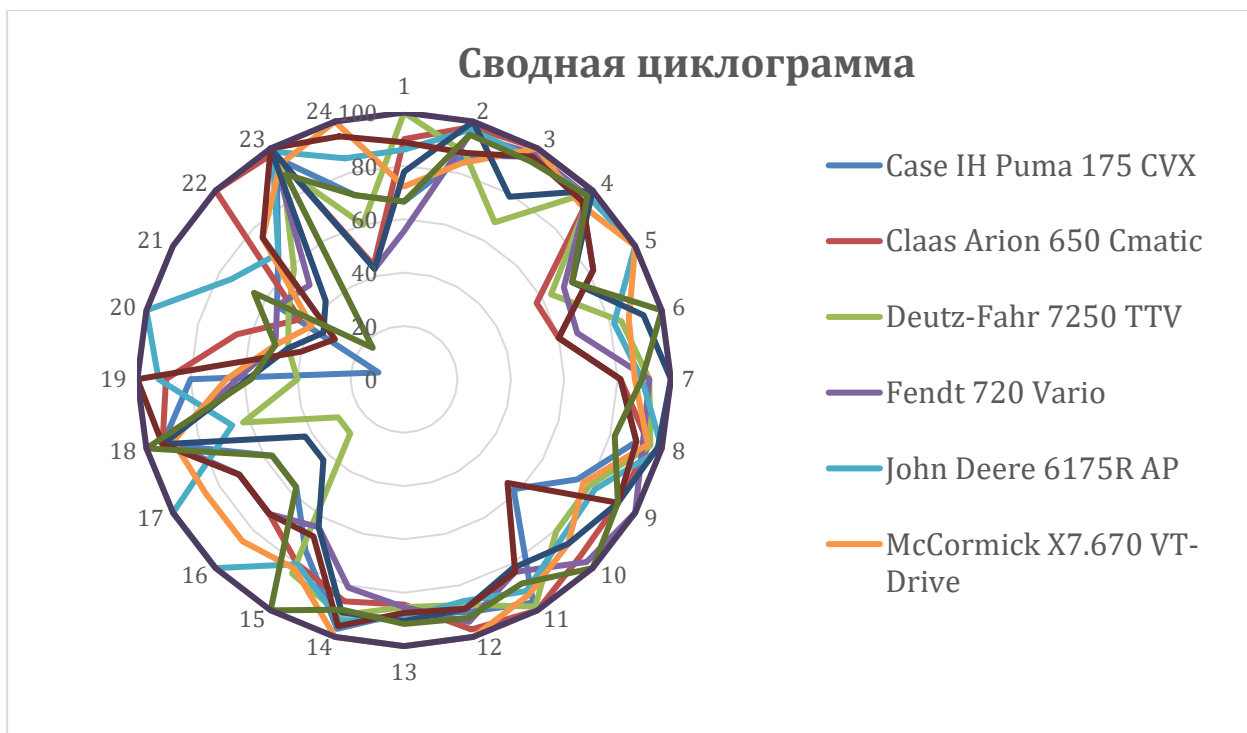


Рисунок 4 – Сводная циклограмма безопасности кабин исследуемых тракторов

Замкнутый контур циклограммы, наибольший по площади, принятый за 100%, отражает значения эталонного трактора. Чем ближе значения исследуемого трактора к эталонному, тем они безопаснее.

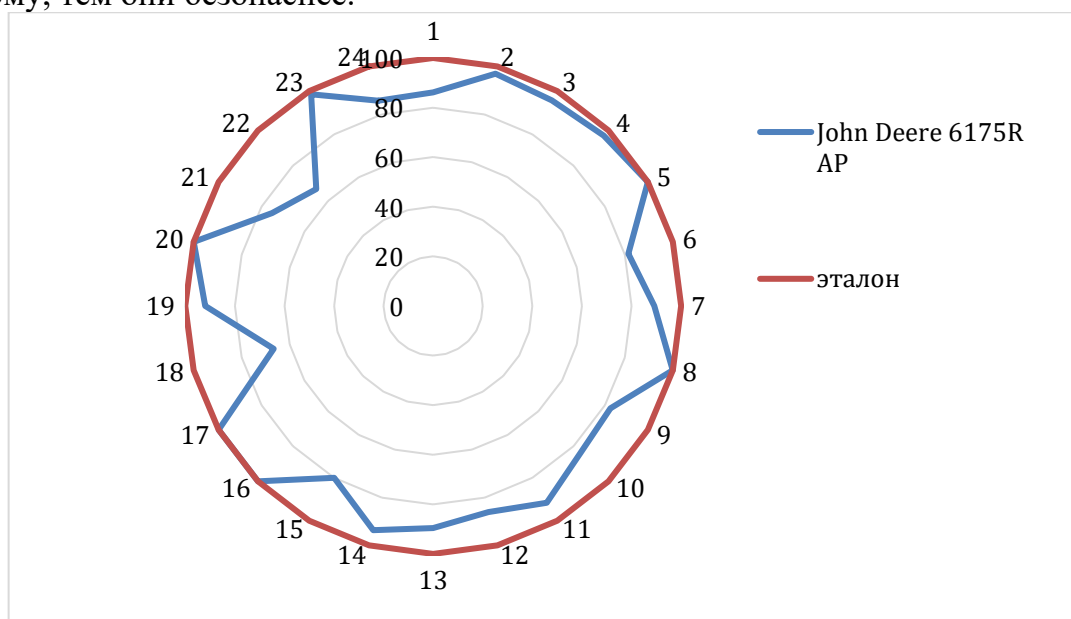


Рисунок 5 – Сравнительная циклограмма трактора John Deere 6175R AP и эталона

В результате данной оценки показателей безопасности зарубежных тракторов наилучшие результаты относятся к трактору John Deere 6175R AP.

Полученные данные из расчетов комплексного показателя безопасности кабин сельскохозяйственных универсально-пропашных тракторов представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Значения комплексных показателей безопасности универсально-пропашных тракторов

Марка трактора	Ранг по показателю безопасности	Значение показателя безопасности
MTЗ 80	4	3
MTЗ 82.1	7	2,01
Агромаш 85ТК	3	3,26
Т-25	6	2,59
Агромаш ВТЗ 2032	1	3,38
Kubota B2441	5	2,94
Kubota MU5502	2	3,36

Согласно разработанной методике, определены показатели безопасности относительно единичных показателей безопасности универсально-пропашных тракторов, установленные в соответствии с ГОСТ.

Так же проанализировали показатели каждого из тракторов относительно эталонных величин.

За эталонные величины были приняты лучшие значения показателей исследуемых нами тракторов.

Итоги данного сравнения отражены на сводной циклограмме (рисунок 6).

Также, как и в первой циклограмме, замкнутый контур циклограммы, наибольший по площади, принятый за 100%, отражает значения эталонного трактора. Чем ближе значения исследуемого трактора к эталонному, тем они безопаснее.

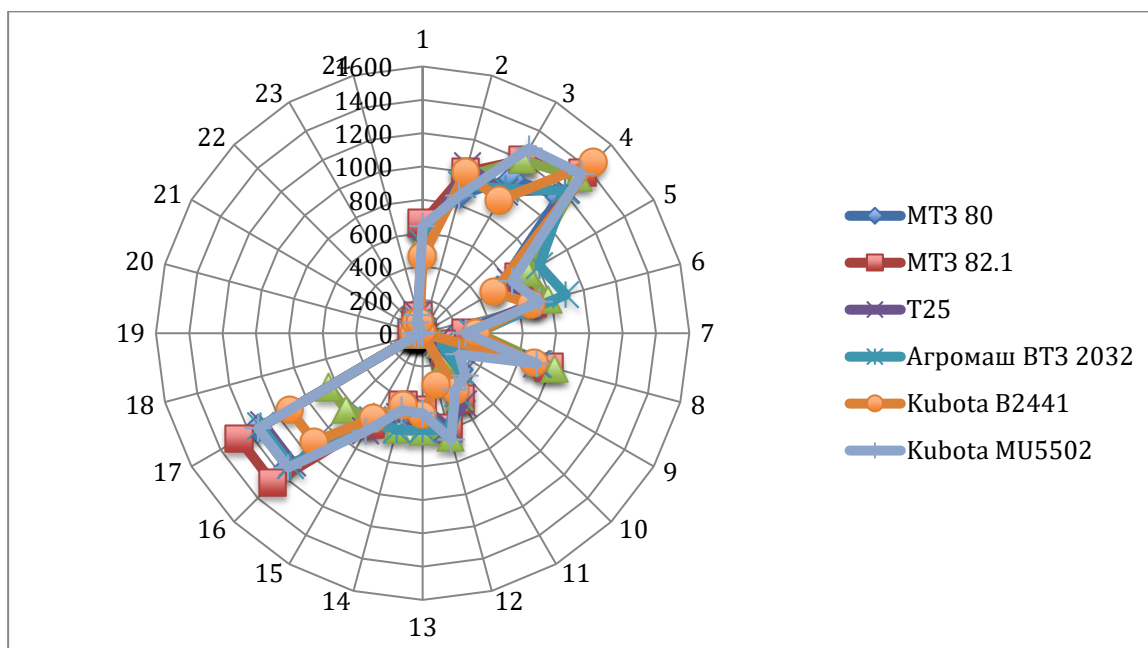


Рисунок 6 – Сводная циклограмма безопасности кабин исследуемых универсально-пропашных тракторов

В результате данной оценки показателей безопасности можно заметить, что параметры безопасности универсально-пропашных тракторов схожи. Но можно выделить трактор Kubota MU5502, как трактор с наилучшими результатами по показателю безопасность.

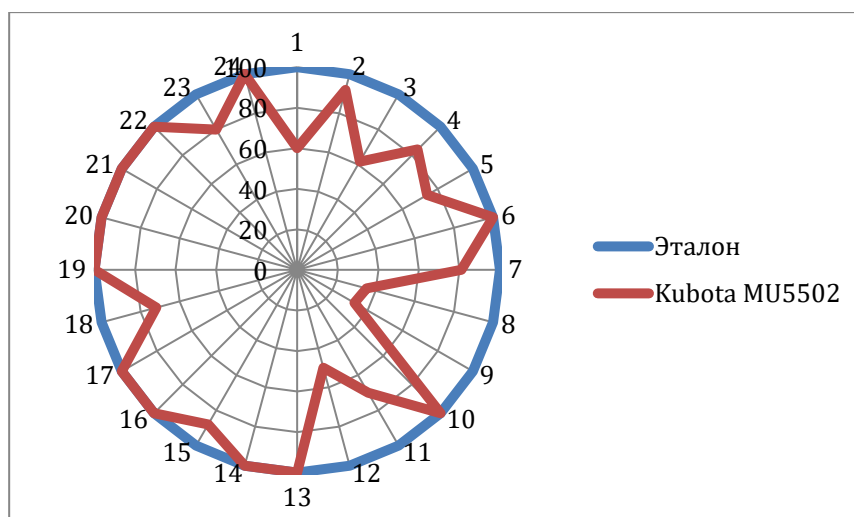
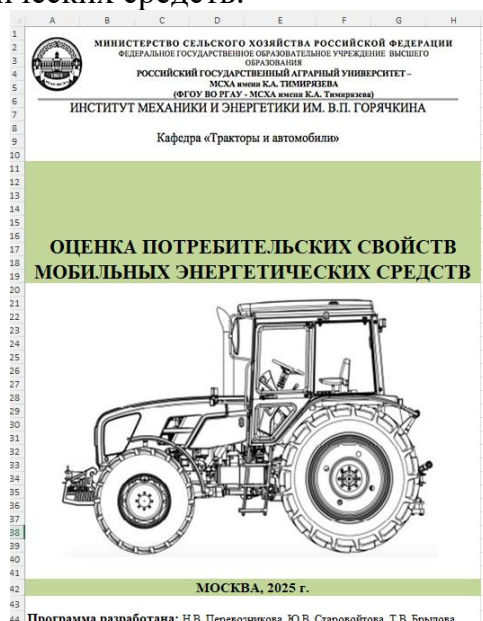


Рисунок 7 – Сравнительная диаграмма трактора Kubota MU5502 с эталонным трактором в процентах

Сравнивая отдельные показатели всех рассмотренных универсально-пропашных тракторов с эталонным трактором в процентах, можно заметить, что трактор Kubota MU5502 выделяется по результатам, что представлено на рисунке 4.

В пятой главе представлено программное обеспечение, которое позволяет автоматизировать процесс расчета оценки потребительских свойств мобильных энергетических средств.



Программа разработана: Н.В. Первозачникова, Ю.В. Старовойтова, Т.В. Брызлова

R38						
Сравнительная таблица						
	Y _т	A _т	W _п	Б	Па	C _п
Разрабатываемый трактор	0,66	0,7332443	1,00	0,917132	0,76	1
Трактор-аналог						

Значения показателей		
Y _т	0,66	1,00
A _т	0,733244306	0,792764706
W _п	1,00	0,99
Б	0,917132046	1,469868855
Па	0,76	0,785
C _п	1	0,994790457
Разрабатываемый трактор Трактор-аналог		



Проведено тестирование и верификация разработанного программного обеспечения, что подтвердило его надежность и точность.

Разработанное программное обеспечение было успешно применено для оценки различных моделей тракторов. Это позволило получить объективные и точные результаты, которые могут быть использованы для сравнения и выбора наиболее подходящих моделей.

В таблице 5 представлены значения, которые были получены в результате проведения расчетов для оценки потребительских свойств тракторов.

Таблица 5 - Результаты расчета потребительских свойств МЭС

	MT3 82.1	John Deere 6175R AP	Valtra T214 Direct	Case IH Puma 175 CVX	Claas Arion 650 Cmatic	MT3 80	Kubota MU 5502.	Deutz-Fahr 7250 TTV	Fendt 720 Vario	John Deere 6175R AP	McCormick X7.670 VT-Drive	Агромаш 8.5 ТК	Kubota B2441
<i>Ym</i>	0,66	0,51	0,18	0,15	0,60	0,65	0,64	0,51	0,60	0,51	0,15	0,60	0,64
<i>Am</i>	0,73	0,54	0,55	0,53	0,75	0,73	0,79	0,54	0,64	0,54	0,53	0,64	0,79
<i>Wn</i>	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
<i>Б</i>	0,91	0,84	0,81	0,83	0,83	0,90	0,46	0,84	0,83	0,84	0,83	0,83	0,46
<i>Па</i>	0,76	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,78	0,78	0,76	0,78	0,77	0,76	0,78
<i>Cn</i>	1	0,73	1	1	1	1	1	1	1	0,73	1	1	0,99

Для наглядности табличные значения представим в виде циклограммы (рис. 8)

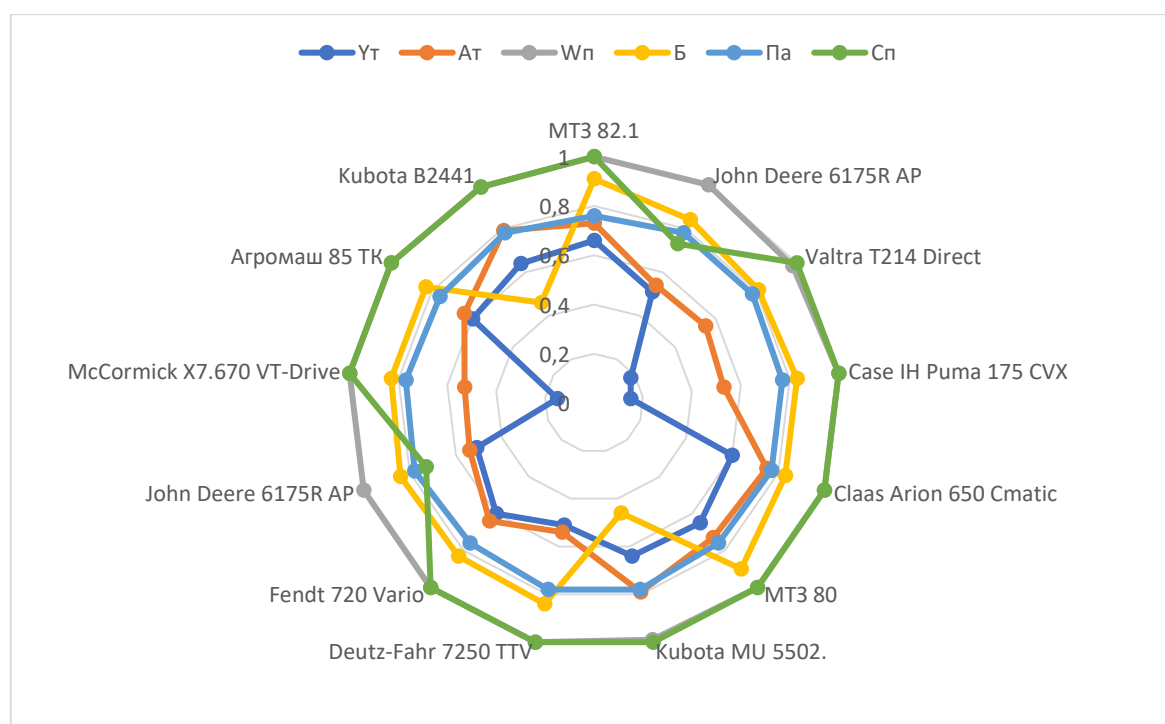


Рисунок 8 – Сводная циклограмма оценки потребительских свойств тракторов

В результате разработанной методики возможно сравнить и проанализировать оцениваемые трактора по параметрам технологических свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящего исследования была осуществлена комплексная оценка технологического уровня сельскохозяйственных тракторов, охватывающая аспекты безопасности, степени автоматизации и прочие ключевые параметры. Основные результаты и выводы исследования формулируются следующим образом:

1. Разработана методика, позволяющая проводить оценку безопасности кабин сельскохозяйственных тракторов в контексте условий труда. Методика включает анализ таких факторов, как размеры и конструктивные особенности кабин, эргономика доступа и размещения, удобство использования управляющих элементов, видимость, характеристики микроклимата, уровень запыленности и загрязненности воздуха, а также шумовые и вибрационные нагрузки. Введенные коэффициенты весомости отдельных показателей безопасности обеспечивают более точную оценку их воздействия на общий уровень безопасности.
2. Усовершенствована методика для оценки степени автоматизации тракторов, учитывающая автоматизацию двигателя, трансмиссии, систем подключения переднего моста, гидросистемы навески, систем управления трактором, наличие гибридных силовых установок и электромоторов в колесах. Данная методика позволяет определить интегральный показатель автоматизации и осуществлять сравнение различных моделей тракторов.
3. В исследовании предложен комплексный подход, включающий анализ множества факторов, таких как технологическая универсальность, агротехнические характеристики, производительность, безопасность и уровень автоматизации. Это способствует более всесторонней и объективной оценке технологического уровня тракторов.
4. В работе применяется метод экспертных оценок для определения коэффициентов весомости показателей безопасности и автоматизации, что позволяет учитывать мнение специалистов и повышать точность и объективность оценок.
5. Проведен анализ и сравнительный обзор различных моделей тракторов на основе их технологических характеристик. Определение коэффициентов весомости для отдельных показателей дало возможность более точно оценить их влияние на общий уровень безопасности и автоматизации.
6. По результатам произведенных расчетов, наибольшее значение комплексного показателя безопасности кабин тракторов $B = 4,02$ имеет трактор модели Valtra T214 Direct и трактор Агромаш ВТЗ 2032 имеет значение показателя $B = 3,38$.
7. Был проведен анализ параметров исследуемых тракторов относительно эталонных величин, в результате, которого лучшие показатели имеют кабины тракторов John Deere 6175R AP и Kubota MU5502.
8. Результаты исследования могут быть использованы в процессе разработки новых моделей тракторов, совершенствования их конструкции и эксплуатационных характеристик, а также для оценки и сравнения различных моделей на рынке.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Старовойтова, Ю. В. Создание инструментария для оценки безопасности кабин тракторов в сельском хозяйстве, ориентированного на условия труда / Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 9(339). – С. 2-4. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-9-2-4.

2. Старовойтова, Ю. В. Определение комплексного показателя безопасности / Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 7(337). – С. 5-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-7-5-7.

В сборниках научных трудов и материалах конференций

3. Старовойтова, Ю. В. Влияние микроклимата в кабине трактора на выполнение технологических операций / Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича : Сборник статей, Москва, 03–05 июня 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 500-504.
4. Старовойтова, Ю. В. Анализ уровня обзорности в кабинах современных тракторов / Ю. В. Старовойтова // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робото-технических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 109-112.
5. Старовойтова, Ю. В. Влияние микроклимата в кабине трактора на выполнение технологических операций / Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25–26 января 2023 года. Том 2. – Москва: ООО «Сам полиграфист», 2023. – С. 407-412.
6. Старовойтова, Ю. В. Влияние безопасности условий труда тракториста на технологические свойства мобильных энергетических средств / Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25–26 января 2022 года. Том Часть 2. – Москва: ООО «Сам полиграфист», 2022. – С. 97-102.
7. Перевозчикова, Н. В. Улучшение условий труда тракториста путём снижения уровня шума в кабине трактора / Н. В. Перевозчикова, Ю. В. Старовойтова, А. С. Кашакова // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. Том ВЫПУСК 293 Часть III. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 137-141.
8. Кашакова, А. С. Улучшение условий труда тракториста путем снижения вибрации в кабине трактора / А. С. Кашакова, Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова // Чтения академика В.Н. Болтинского : Сборник статей семинара, Москва, 20–21 января 2021 года. Том Часть 2. – Москва: ООО «Сам полиграфист», 2021. – С. 142-146.

Патенты

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025680580 Российская Федерация. Оценка потребительских свойств мобильных энергетических средств : заявл. 23.07.2025 : опубл. 07.08.2025 / Ю. В. Старовойтова, Н. В. Перевозчикова, Т. В. Брылова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева». – EDN DIUNIQ.