

На правах рукописи

**Горбунова Татьяна Леонидовна**

**ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОТЕРЬ ТОПЛИВНО-СМАЗОЧНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ  
ТРАКТОРОВ В АПК**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Новосибирск, 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского» (ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ).

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент  
**Хабардин Василий Николаевич**

**Официальные оппоненты:** **Картошкин Александр Петрович**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Автомобили,  
тракторы и технический сервис»  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный аграрный  
университет»;

**Прокопов Сергей Петрович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ  
ВО «Омский государственный  
аграрный университет имени П.А.  
Столыпина»

**Ведущая организация:** Азово-Черноморский инженерный  
институт – филиал ФГБОУ ВО  
«Донской ГАУ в г. Зернограде»

Защита диссертации состоится 08 сентября 2022 года в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.278.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН) по адресу: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск-1, СФНЦА РАН.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью вашего учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск-1, а/я 463, СФНЦА РАН, телефон (факс): 8(383)348-12-09; e-mail: aspsibime@ngs.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в Сибирской научной сельскохозяйственной библиотеке. Автореферат и диссертация размещены на сайтах: <https://sfscs.ru> и <https://vak.minobrнауки.gov.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Назаров Н.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В структуре себестоимости продукции АПК около 50 % – это затраты на эксплуатацию машинно-тракторного парка (МТП), в структуре потерь от 5 до 10 % приходится на топливно-смазочные материалы (ТСМ). Следовательно, снижение затрат материальных средств на обеспечение работоспособного состояния техники является актуальной научно-производственной проблемой.

Эту проблему решают по различным направлениям, одно из них – снижение потерь топливно-смазочных материалов при техническом обслуживании (ТО) машин. Потери ТСМ при ТО тракторов – это расходы ТСМ, которые не предусмотрены руководством по эксплуатации этих машин, но могут возникнуть в случае отказа человеко-машинной системы. Они приводят к дополнительным расходам ТСМ на ТО, затратам труда на устранение последствий отказов, а также к потерям от простоев машин при устранении последствий отказов.

В настоящее время учёт потерь ТСМ при ТО тракторов не проводится, а их количество неизвестно. Кроме этого, в научно-технической документации отсутствуют какие-либо данные, регламентирующие потери ТСМ. В связи с этим возникает необходимость контроля потерь ТСМ, что направлено как на их снижение, так и на улучшение качества ТО. Однако до настоящего времени инженерно-технические службы хозяйств АПК не располагают соответствующими методами и техническими средствами их оперативного контроля. В связи с этим исследования по обоснованию методов и технических средств контроля потерь ТСМ при ТО машин являются актуальными, имеют научное и практическое значение для АПК.

**Степень разработанности темы:** исследования и применение методов оперативного контроля потерь проводили в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ОАО «НАТИ», ОАО «НИИАТ» и СФНЦА РАН. Однако до настоящего времени нет математического аппарата и достоверных методов оценки потерь ТСМ при ТО машин.

**Цель исследования** – сокращение потерь ТСМ за счёт применения оперативного контроля при техническом обслуживании тракторов с использованием усовершенствованных методов и технических средств.

**Задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель процесса технического обслуживания тракторов с учётом оперативного контроля потерь ТСМ.
2. Обосновать и разработать метод оперативного контроля потерь ТСМ при ТО тракторов и технические средства для его осуществления.
3. Провести производственную проверку основных результатов исследований и оценить эффективность их применения.

**Объект исследования** – процесс оперативного контроля потерь ТСМ при техническом обслуживании тракторов.

**Предмет исследования** – зависимости процесса оперативного контроля потерь ТСМ при техническом обслуживании тракторов.

**В качестве гипотезы** принято предположение о том, что снижение потерь ТСМ при ТО тракторов возможно за счёт оперативного применения усовершенствованных методов и технических средств их измерения.

**Научная новизна** заключается:

- в разработке математической модели процесса технического обслуживания тракторов с учётом потерь ТСМ;
- в совершенствовании методики контроля потерь ТСМ при ТО тракторов;
- в закономерностях оценки потерь ТСМ при ТО тракторов.

**Практическая значимость результатов исследований:** разработаны методы оперативного контроля потерь ТСМ при ТО тракторов и технические средства для их осуществления. Разработана методика контроля и оценки потерь ТСМ с применением этих методов и средств – получено 5 патентов РФ на изобретения. Методы и средства оперативного контроля апробированы в учебном процессе ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ и прошли экспериментальную проверку в АО «Сибирская Нива» Иркутского района и ФГУП «Элита» Эхирит-Булагатского района Иркутской области и могут быть рекомендованы к применению в предприятиях АПК.

**Методы исследования** – математическое моделирование, анализ и синтез, испытание, теории вероятностей и математической статистики.

**Положения, выносимые на защиту:**

- математическая модель процесса оперативного контроля потерь ТСМ;
- результаты экспериментальных исследований потерь ТСМ при техническом обслуживании тракторов;
- результаты статистических испытаний для оценки экспериментального и расчётного методов определения коэффициентов потерь ТСМ при ТО тракторов.

**Степень достоверности результатов исследований.** Достоверность полученных результатов исследований обеспечивается методологией проведения эксперимента, устойчивой воспроизводимостью результатов, использованием поверенного метрологического оборудования, обоснованностью физических представлений, корректностью подготовки и проведения эксперимента, согласованностью полученных данных с результатами других авторов.

**Апробация результатов исследований.** Основные положения и результаты доложены, обсуждены и экспонировались на:

- научно-практических конференциях с международным участием «Чтения И. П. Терских» (г. Иркутск, Иркутский ГАУ 2011 - 2015 гг.);
- международной научно-практической конференции молодых учёных, «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутск: Иркутский ГАУ, 2015 г.);
- на международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии» (г. Иркутск, Иркутский ГАУ, 2015, 2016, 2022 гг.);

– научно-практических конференциях ВСГТУ «Технологии и технические средства в АПК» (г. Улан-Удэ, 2017 - 2019 гг.)

– заседании научно-методического семинара СФНЦА РАН (п. Краснообск, 2019 и 2022 гг.).

Разработка в 2017 г. экспонировалась на Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая осень», где была удостоена серебряной медали и диплома (г. Москва, ВДНХ, 4-7 октября 2017 г.).

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 8 печатных работ, в том числе 5 статей – в изданиях, рекомендованных ВАК. Издано учебное пособие и монография, получено 5 патентов РФ на изобретения.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения; пяти глав; заключения; списков сокращений и условных обозначений, принятых терминов, литературы; а также приложений. Общий объем работы – 157 страниц машинописного текста, в том числе: 22 таблицы, 24 рисунка, 3 приложения, список литературы из 162 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** отражены актуальность темы, степень её разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробации результатов.

**В первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» представлены ТСМ и их возможные потери при ТО машин в сельском хозяйстве, приведены существующие методы и средства контроля и оценки потерь ТСМ, проанализированы НИР по совершенствованию этих методов и средств.

Исследованием проблем ТО машин в сельском хозяйстве занимались многие ведущие ученые нашей страны. Научные основы ТО машин сельскохозяйственного назначения созданы трудами В.А. Аллилуева, Г.В. Веденяпина, С.А. Иофинова, А.В. Ленского, В.М. Лившица, В.М. Михлина, А.И. Селиванова, А.П. Соломкина, К.Ю. Скибневского, И.П. Терских, С.С. Черепанова, В.И. Черноиванова и др. Значительный вклад в разработку технологии ТО внесли: В.В. Альт, Д.М. Воронин, И.П. Добролюбов, А.П. Картошкин, Г.М. Крохта, Л.И. Кушнарев, С.Л. Никитченко, А.М. Плаксин, П.В. Привалов, Е.А. Пучин, Г.В. Редреев, В.А. Семейкин, А.П. Уткин и др.

По совершенствованию технологии и средств ТО машин ведут работу ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и СФНЦА РАН, а также многие высшие учебные заведения. Вместе с тем до настоящего времени еще недостаточно изучены многие вопросы, касающиеся качества ТО с учетом новых требований ГОСТ 20793-2009 в части охраны окружающей среды (ООС), которые напрямую связаны с потерями ТСМ.

Топливо-смазочные материалы – дизельное моторное топливо, свежие моторные, трансмиссионные, гидравлические масла, а также специальные жидкости. Они обладают свойством текучести, а это физически

обуславливает возможность их пролива, что и является потерями. С другой стороны, потери ТСМ – это расходы ТСМ при ТО, которые не предусмотрены руководством по эксплуатации (РЭ) машины, но могут возникнуть в случае отказа человеко-машинной системы (ЧМС). Отказ ЧМС при ТО – это событие, вследствие которого возникают потери ТСМ в любой форме. Структура возможных потерь ТСМ представлена на рисунке 1.

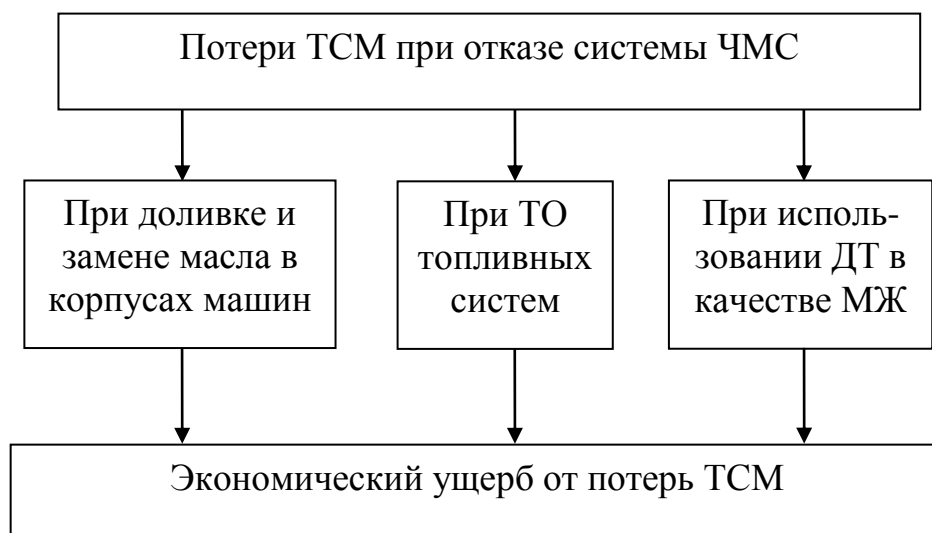


Рисунок 1 – Схема видов потерь ТСМ при ТО машин

С учётом значительного объёма восполняемых и заменяемых рабочих жидкостей (трансмиссионных и моторных масел) при ТО существенно возникает риск их потерь.

Потери ТСМ при доливке и замене масла в агрегатах тракторов обусловлены их проливом мимо горловины (заправочной воронки) или переливом масла в воронку.



Рисунок 2 – Средние потери ТСМ за цикл ТО тракторов

Потери ТСМ при ТО топливных систем возможны при заправке трактора в процессе ЕТО.

Распределение потерь ТСМ при ТО тракторов показано на рисунке 2.

Контроль потерь ТСМ осуществить технически достаточно сложно. Потери возникают, во-первых, вследствие недостаточной

надёжности устройств, во-вторых, по причине слабой приспособленности машин к ТО, в-третьих, из-за ошибок и низкой технической культуры оператора, и в-четвертых, из-за несоответствия условий труда требованиям технической безопасности.

Суммарный ущерб от потерь ТСМ  $U_{ТСМ}$  в общем виде (Рисунок 1) –

$$Y_{TSM} = Y_M + Y_{II} \longrightarrow \min \quad (1)$$

где  $Y_M$ ,  $Y_{II}$  – ущерб от потерь ТСМ вследствие отказов системы ЧМС и устранения последствий этих отказов.

Таким образом, результаты изучения НИР, анализа РЭ и наблюдений показывают, что потери ТСМ при ТО тракторов возможны по многим причинам. Они приводят к дополнительным расходам ТСМ на ТО, затратам труда, а также к потерям от простоев машин при устранении последствий отказов. Все это обуславливает необходимость проведения исследований по совершенствованию методов и технических средств контроля потерь ТСМ при ТО машин.

**Вторая глава** «Теоретическое обоснование оперативного контроля потерь топливно-смазочных материалов при техническом обслуживании машин» посвящена разработке математической модели функционирования процесса ТО с учётом потерь ТСМ при его реализации, позволяющей решать поставленные задачи.

Математическая модель может быть формализована следующим образом. На объект воздействует несколько факторов, характеризующих потери ТСМ при ТО. При этом реакция факторов характеризуется одним показателем – коэффициентом потерь ТСМ. В соответствии с рисунком 3 такой характер взаимодействия может быть описан многомерно-одномерной схемой с входными ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$ ) и выходными ( $y$ ) сигналами исследуемого объекта  $S$ . В этом случае задача моделирования состоит в построении вход-выходного отображения, задающего математическую (количественную) зависимость между двумя пространствами функций, элементами которых являются входные и выходные сигналы.

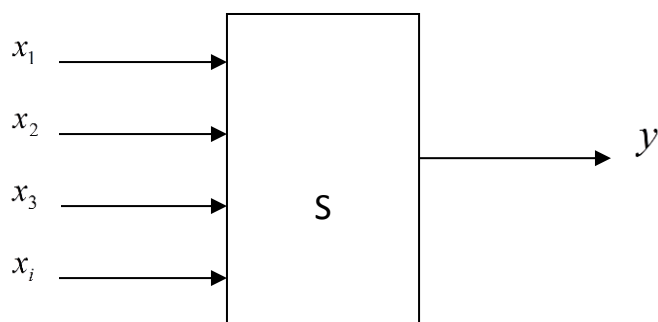


Рисунок 3 – Формализованная модель процесса контроля потерь ТСМ при ТО тракторов (обозначения в тексте)

В общем виде коэффициент потерь ТСМ может быть определён по аналогии с уровнем качества продукции –

$$K_{ij} = \frac{X_{IIj}}{X_{Дij}}, \quad (2)$$

где  $K_{ij}$  – коэффициент потерь по  $j$ -виду ТСМ при выполнении  $i$ -вида обслуживающего воздействия (операции ТО);  $X_{IIj}$ ,  $X_{Дij}$  – соответствующее измеренное и допустимое значение потерь ТСМ. Если известны  $K_{IIj}$  и  $X_{Дij}$ , то из (2) представляется возможным найти  $X_{IIj}$  –

$$X_{Иij} = K_{ij} X_{Дij}. \quad (3)$$

На втором этапе были определены удельные показатели процесса за цикл ТО с учетом их показателей по видам ТО:

$$X_{qEOj} = \frac{\bar{X}_{EOj}}{\tau_{EO}}, \quad (4) \quad X_{qT1j} = \frac{\bar{X}_{T1j}}{\tau_{T1}}, \quad (5) \quad X_{qT2j} = \frac{\bar{X}_{T2j}}{\tau_{T2}}, \quad (6) \quad X_{qT3j} = \frac{\bar{X}_{T3j}}{\tau_{T3}}, \quad (7)$$

где  $X_{qEOj}$ ,  $X_{qT1j}$ ,  $X_{qT2j}$ ,  $X_{qT3j}$  – средние удельные значения показателя по  $j$  – виду потерь ТСМ при ЕТО, ТО-1, ТО-2 и ТО-3;  $\bar{X}_{EOj}$ ,  $\bar{X}_{T1j}$ ,  $\bar{X}_{T2j}$ ,  $\bar{X}_{T3j}$  – математические ожидания показателя по  $j$ -виду потерь ТСМ при реализации этих же видов ТО;  $\tau_{EO}$ ,  $\tau_{T1}$ ,  $\tau_{T2}$ ,  $\tau_{T3}$  – наработка машины между ЕТО, периодичность ТО-1, ТО-2 и ТО-3. При известных  $X_{qEOj}$  (4),  $X_{qT1j}$  (5),  $X_{qT2j}$  (6),  $X_{qT3j}$  (7) путём простого суммирования представляется возможным получить удельные суммарные показатели за цикл ТО  $X_{qЦ}$  –

$$X_{qЦ} = \frac{\bar{X}_{EOj}}{\tau_{EO}} + \frac{\bar{X}_{T1j}}{\tau_{T1}} + \frac{\bar{X}_{T2j}}{\tau_{T2}} + \frac{\bar{X}_{T3j}}{\tau_{T3}}. \quad (8)$$

Следующий этап – математическое описание сравнительной базы для формирования математической модели, что сделано на основе теории вероятностей. Сравнительная база – это значения показателей, которые могут быть признаны допускаемые. Итак, приняв, что события, связанные с проливом ТСМ (например, потери ТСМ при ТО какого-либо вида) наиболее ближе согласуются с законом Гаусса и применяя статистический метод, из рисунка 4 можно записать

$$V_{д} = \bar{V} - 3\sigma_{\bar{V}}, \quad (9)$$

где  $\bar{V}$  и  $\sigma_{\bar{V}}$  – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины потерь ТСМ  $V$ . В результате будет найдена сравнительная база  $V_{д}$  при доверительной вероятности, равной не менее 0,99.

Принимая во внимание зависимость (9) и (4)-(7), можно записать допускаемые базовые значения удельных суммарных потерь ТСМ по всем видам ТО (на примере ЕТО):

$$X_{БqEOj} = \frac{\bar{X}_{EOj} - 3\sigma_{\bar{X}_{EOj}}}{\tau_{EO}}, \quad (10)$$

где  $X_{БqEOj}$  – допускаемое базовое значение удельного суммарного показателя по  $j$ -му виду потерь ТСМ при ЕТО;  $\bar{X}_{EOj}$ ,  $\sigma_{\bar{X}_{EOj}}$  – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение того же показателя.

Учитывая (10), по аналогии с (8) получим

$$X_{БqЦj} = \frac{\bar{X}_{EOj} - 3\sigma_{\bar{X}_{EOj}}}{\tau_{EO}} + \frac{\bar{X}_{T1j} - 3\sigma_{\bar{X}_{T1j}}}{\tau_{T1}} + \frac{\bar{X}_{T2j} - 3\sigma_{\bar{X}_{T2j}}}{\tau_{T2}} + \frac{\bar{X}_{T3j} - 3\sigma_{\bar{X}_{T3j}}}{\tau_{T3}}, \quad (11)$$

где  $X_{БqЦj}$  – допускаемое базовое значение удельного суммарного показателя по  $j$ -виду ТСМ за цикл ТО, кратный ТО-3.



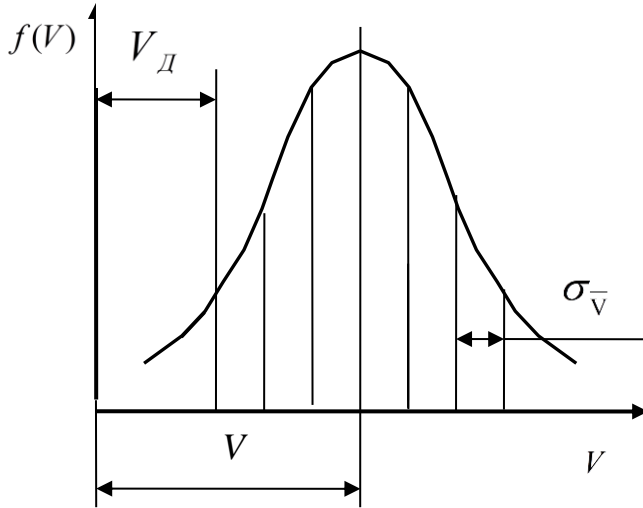


Рисунок 4 – Определение сравнительной базы для оценки потерь ТСМ:  $f(V)$ ,  $\bar{V}$ ,  $\sigma_{\bar{V}}$  – дифференциальная функция плотности распределения, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины  $V$

Тогда математическая модель процесса ТО с учётом потерь ТСМ будет иметь вид:

$$K_1 = \frac{\frac{\bar{M}_{EO}^K}{\tau_{EO}} + \frac{\bar{M}_{T1}^K}{\tau_{T1}} + \frac{\bar{M}_{T2}^K}{\tau_{T2}} + \frac{\bar{M}_{T3}^K}{\tau_{T3}}}{\frac{\bar{M}_{EO}^K - 3\sigma_{\bar{M}_{EO}^K}}{\tau_{EO}} + \frac{\bar{M}_{T1}^K - 3\sigma_{\bar{M}_{T1}^K}}{\tau_{T1}} + \frac{\bar{M}_{T2}^K - 3\sigma_{\bar{M}_{T2}^K}}{\tau_{T2}} + \frac{\bar{M}_{T3}^K - 3\sigma_{\bar{M}_{T3}^K}}{\tau_{T3}}} \quad (12)$$

при граничных условиях  $\bar{M}_{EO}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T1}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T2}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T3}^K \geq 0$ ,  $3\sigma_{\bar{M}_{EO}^K} < \bar{M}_{EO}^K$ ,  $3\sigma_{\bar{M}_{T1}^K} < \bar{M}_{T1}^K$ ,  $3\sigma_{\bar{M}_{T2}^K} < \bar{M}_{T2}^K$ ,  $3\sigma_{\bar{M}_{T3}^K} < \bar{M}_{T3}^K$ ,  $\tau_{EO} > 0$ ,  $\tau_{T1} > 0$ ,  $\tau_{T2} > 0$ ,  $\tau_{T3} > 0$ ;

где  $K_1$  – коэффициент потерь ТСМ за цикл ТО, полученный на основе определительных статистических испытаний контролируемой машины;  $\bar{M}_{EO}^K$ ,  $\bar{M}_{T1}^K$ ,  $\bar{M}_{T2}^K$ ,  $\bar{M}_{T3}^K$  – математические ожидания потерь всех видов ТСМ контролируемой машины при выполнении ЕТО, ТО-1, ТО-2 и ТО-3;  $\sigma_{\bar{M}_{EO}^K}$ ,  $\sigma_{\bar{M}_{T1}^K}$ ,  $\sigma_{\bar{M}_{T2}^K}$ ,  $\sigma_{\bar{M}_{T3}^K}$  – средние квадратические отклонения  $\bar{M}_{EO}^K$ ,  $\bar{M}_{T1}^K$ ,  $\bar{M}_{T2}^K$  и  $\bar{M}_{T3}^K$ .

Вариант математической модели на основе статистических испытаний контролируемой машины и машины с наименьшими потерями ТСМ:

$$K_2 = \frac{\frac{\bar{M}_{EO}^K}{\tau_{EO}} + \frac{\bar{M}_{T1}^K}{\tau_{T1}} + \frac{\bar{M}_{T2}^K}{\tau_{T2}} + \frac{\bar{M}_{T3}^K}{\tau_{T3}}}{\frac{\bar{M}_{EO}^A}{\tau_{EO}} + \frac{\bar{M}_{T1}^A}{\tau_{T1}} + \frac{\bar{M}_{T2}^A}{\tau_{T2}} + \frac{\bar{M}_{T3}^A}{\tau_{T3}}} \quad (13)$$

при граничных условиях  $\bar{M}_{EO}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T1}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T2}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T3}^K \geq 0$ ,  $\bar{M}_{EO}^A \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T1}^A \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T2}^A \geq 0$ ,  $\bar{M}_{T3}^A \geq 0$ ,  $\tau_{EO} > 0$ ,  $\tau_{T1} > 0$ ,  $\tau_{T2} > 0$ ,  $\tau_{T3} > 0$ ;

где  $K_2$  – коэффициент потерь ТСМ за цикл ТО, полученный при сравнении показателей контролируемой машины и ее аналога с наименьшими потерями ТСМ;  $\bar{M}_{EO}^A$ ,  $\bar{M}_{T1}^A$ ,  $\bar{M}_{T2}^A$ ,  $\bar{M}_{T3}^A$  – математические ожидания потерь всех видов ТСМ по машине-аналогу.

Вариант математической модели на основе учёта количества смазочно-заправочных операций (СЗО) контролируемой машины и машины с их наименьшим количеством:

$$K_3 = \frac{\frac{n_{EO}^K}{\tau_{EO}} + \frac{n_{T1}^K}{\tau_{T1}} + \frac{n_{T2}^K}{\tau_{T2}} + \frac{n_{T3}^K}{\tau_{T3}}}{\frac{n_{EO}^A}{\tau_{EO}} + \frac{n_{T1}^A}{\tau_{T1}} + \frac{n_{T2}^A}{\tau_{T2}} + \frac{n_{T3}^A}{\tau_{T3}}} \quad (14)$$

при граничных условиях  $n_{EO}^K \geq 0$ ,  $n_{T1}^K \geq 0$ ,  $n_{T2}^K \geq 0$ ,  $n_{T3}^K \geq 0$ ,  $n_{EO}^A \geq 0$ ,  $n_{T1}^A \geq 0$ ,  $n_{T2}^A \geq 0$ ,  $n_{T3}^A \geq 0$ ,  $\tau_{EO} > 0$ ,  $\tau_{T1} > 0$ ,  $\tau_{T2} > 0$ ,  $\tau_{T3} > 0$ ;

где  $K_3$  – коэффициент потерь ТСМ за цикл ТО, полученный при сравнении числа СЗО контролируемой машины и ее аналога;  $n_{EO}^A$ ,  $n_{T1}^A$ ,  $n_{T2}^A$ ,  $n_{T3}^A$ ;  $n_{EO}^K$ ,  $n_{T1}^K$ ,  $n_{T2}^K$ ,  $n_{T3}^K$  – число СЗО при ЕТО, ТО-1, ТО-2 и ТО-3 машины-аналога, имеющей наименьшие потери ТСМ при ТО или наименьшее число СЗО, и контролируемой машины.

При известных  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  в соответствии с уравнением (3) представляется возможным определить измеренные или контролируемые значения потерь ТСМ при ТО машин по формулам, например, за цикл ТО, кратный ТО-3:

$$M_{qц} = K_1 M_{qд}, \quad (15) \quad M_{qц} = K_2 M_{qд}, \quad (16) \quad M_{qц} = K_3 M_{qд}, \quad (17)$$

где  $M_{qц}$  – удельные суммарные потери ТСМ за цикл ТО, кг/моточ;  $M_{qд}$  – удельные суммарные допускаемые значения потерь ТСМ за цикл ТО, кг/моточ.

Теперь перейдем к задаче обоснования и разработке методов оперативного контроля потерь ТСМ и технических средств для их осуществления при ТО тракторов.

При обосновании методов полагаем, что в качестве ТСМ используют дизельное моторное топливо, свежие моторные, трансмиссионные, гидравлические масла, а также специальные жидкости. Поэтому потери ТСМ возможны при операциях, связанных с заменой и пополнением их уровней в соответствующих ёмкостях трактора. Следовательно, в качестве таких операций нужно принимать во внимание те, которые предусмотрены к выполнению при ТО тракторов в соответствии с их руководством по эксплуатации.

Техническими средствами, предлагаемыми для измерения потерь ТСМ, нами рассматривается специальный экран-фиксатор, устанавливаемый под трактором в месте предполагаемой потери жидкости, а также средство измерения массы. Помимо этого, экран-фиксатор образует пятна, измерением которых и определяются их значения. После проведения ТО производят оценку наличия пятен на экране, образовавшихся от попадания на него материалов при обслуживании. В работе представлено описание процедуры измерения потерь ТСМ.

Суммарные потери ТСМ при ТО машины  $M_\tau$  за произвольный период наработки  $\tau$ :

$$M_\tau = K_1 M_{\text{эд}} \tau, \quad (18) \quad M_\tau = K_2 M_{\text{эд}} \tau, \quad (19) \quad M_\tau = K_3 M_{\text{эд}} \tau \quad (20)$$

Полученные результаты теоретического исследования были положены в основу экспериментальных исследований.

**В третьей главе** «Методика экспериментального исследования» изложена программа экспериментального исследования и методики: экспериментальной проверки способов оперативного контроля потерь ТСМ при ТО тракторов, их сравнительных испытаний, оперативного контроля потерь ТСМ при ТО тракторов в стационарных и полевых условиях. В качестве основного технического средства контроля потерь ТСМ был принят экран-фиксатор (Рисунок 5).

В методике экспериментальной проверки способа определения количества ТСМ на экране предусмотрена проверка на его функционирование, а также проверка и уточнение условий его применения. Методика включала: условия проверки, технические средства для определения количества ТСМ, повторность измерений и объем испытаний, а также критерии функционирования объектов.



Рисунок 5 – Экран для фиксации ТСМ (установлен под трактором МТЗ-80)

Методика сравнительных испытаний включает: указание способов определения количества ТСМ на экране, условия и объем испытаний, порядок их проведения, учёта потерь ТСМ в базе данных, а также математическую обработку экспериментальных данных с целью получения статистических оценок по погрешности и трудоёмкости. Определение количества ТСМ на экране представлено в двух вариантах: по удельной массе ТСМ в пятне на экране (способ А) и по изменению массы экрана (способ Б). Повторность измерений – не менее трёх. Объем испытаний при доверительной вероятности 0,95 и относительной погрешности 0,1 – не менее 16.

В методике определения показателей потерь ТСМ при ТО тракторов в стационарных и полевых условиях и их статистической оценки изложен порядок получения экспериментальных данных и сравнительных производственных испытаний на погрешность экспериментально-расчетного и расчетного методов определения коэффициентов потерь ТСМ при

обслуживании тракторов МТЗ-80, МТЗ-1221, К-744Р и Агромаш-90ТГ. При этом в качестве сравнительной базы приняты данные по трактору МТЗ-80. Методика включает в себя: указание методов определения показателей потерь ТСМ при ТО машин, математический аппарат для их оценки, исходные данные и источники получения, объем и условия испытаний, а также порядок проведения испытаний и обработки экспериментальных данных.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью теории вероятностей и математической статистики, теории измерений и ошибок, анализа и синтеза, а также методов планирования эксперимента – с применением программ «Excel» и «Статистика».

**В четвертой главе** «Экспериментальные исследования и их результаты» представлены результаты: экспериментальной проверки и сравнительных испытаний способов определения количества ТСМ на экране, определения и статистической оценки показателей контроля потерь ТСМ при ТО тракторов в стационарных и полевых условиях.

Экспериментальная проверка способов определения количества ТСМ на экране А (по удельной массе ТСМ в пятне на экране) и Б (по изменению массы экрана) была проведена в лаборатории кафедры ЭМТП, БЖД и ПО Иркутского ГАУ. Фрагменты оценки показаны на рисунке 6.



а



б

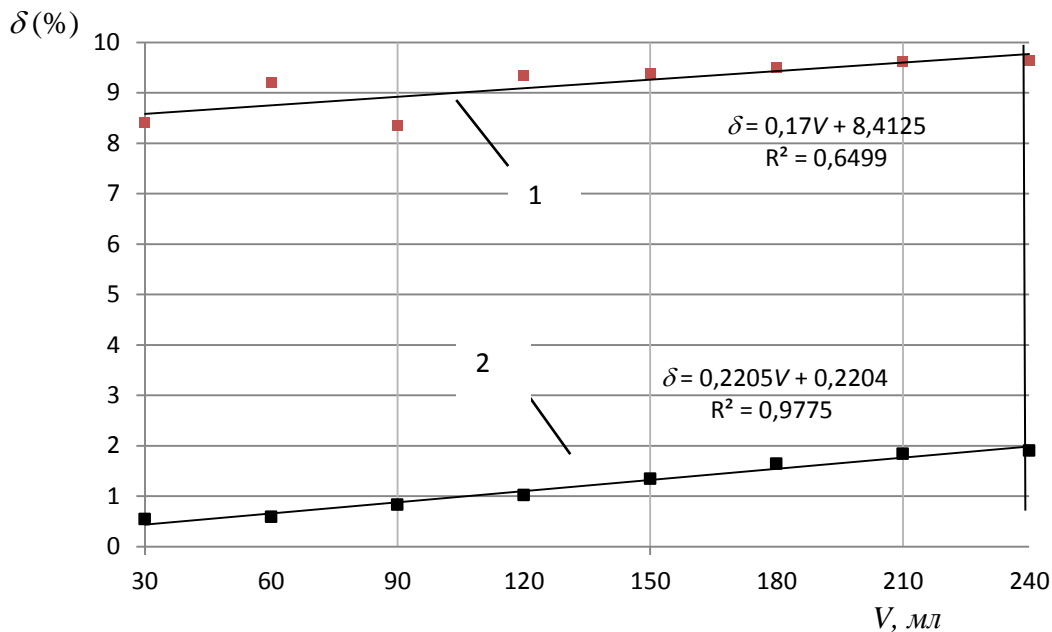
а – измерение площади пятна, б – взвешивание свернутых листов экрана на весах ВК-600

**Рисунок 6 – Фрагменты экспериментальной проверки способов определения ТСМ на экране**

При этом были получены сравнительные результаты. Способ А не отвечает требованиям по продолжительности выдержки пятна (его размеры не стабилизируются в течение 1 ч), а также по погрешности определения удельной массы материала в пятне (относительная погрешность составляет более 40 %, что больше допустимой погрешности 5 %). Кроме того, при реализации данного способа ограничена возможность измерения площади пятна измерительным прибором после его выдержки (Рисунок 6а). При этом

по герметичности экран соответствует требованию: протекание ТСМ через экран не наблюдается. Следует считать, что этот способ не отвечает предъявляемым требованиям. Вместе с тем он может быть применён на практике, если продолжительность выдержки пятна повысить, но это приведёт к увеличению трудоёмкости исследования. Способ Б отвечает предъявляемым требованиям, за исключением пункта «продолжительность выдержки пятна» при условии, что могут оставаться материалы в виде жидкости, не впитавшейся в экран. Однако этот недостаток не является существенным, поскольку материал сохраняется на экране. В результате установлено, что наиболее предпочтительным является способ Б.

Результаты сравнительных испытаний способов оценки потерь ТСМ на экране представлены на рисунке 7, где линиям 1 и 2 соответствуют способы А и Б. Сравнительные испытания способов А и Б показывают следующее. Относительная погрешность  $\delta$  определения массы ТСМ на экране по способу А не превышает 2 %, что в 5 раз меньше, чем по способу Б (Рисунок 7).

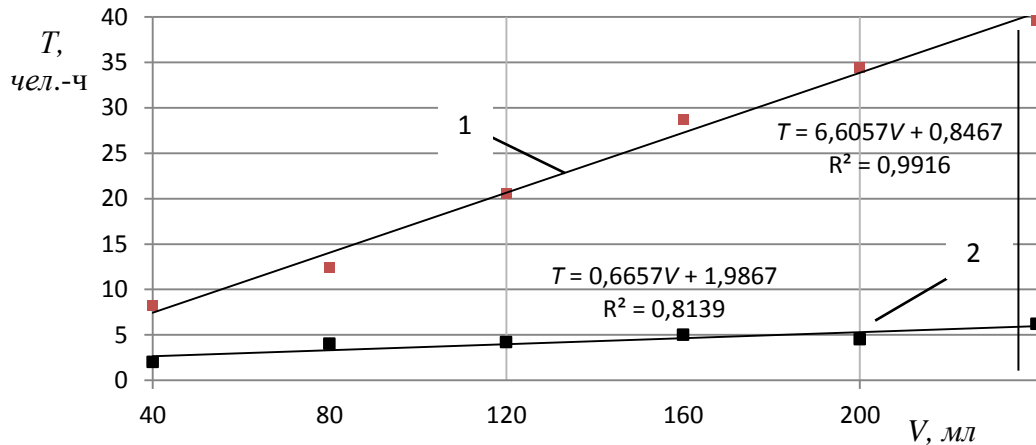


1, 2 – способы А и Б определения массы по удельной массе материала в пятне на экране и по изменению массы экрана.

Рисунок 7 – Изменение относительной погрешности  $\delta$  (%) определения массы материала на экране в зависимости от объема  $V$  капли ТСМ (точки – экспериментальные данные)

Это объясняется небольшой погрешностью весов в сравнении с существенной относительной погрешностью (более 40 %) определения удельной массы материала в пятне. Трудоёмкость реализации способа по изменению массы экрана – 0,02 чел.-ч (1,2 чел.-мин), что почти в 12 раз меньше трудоёмкости способа на основе учёта удельной массы материала в

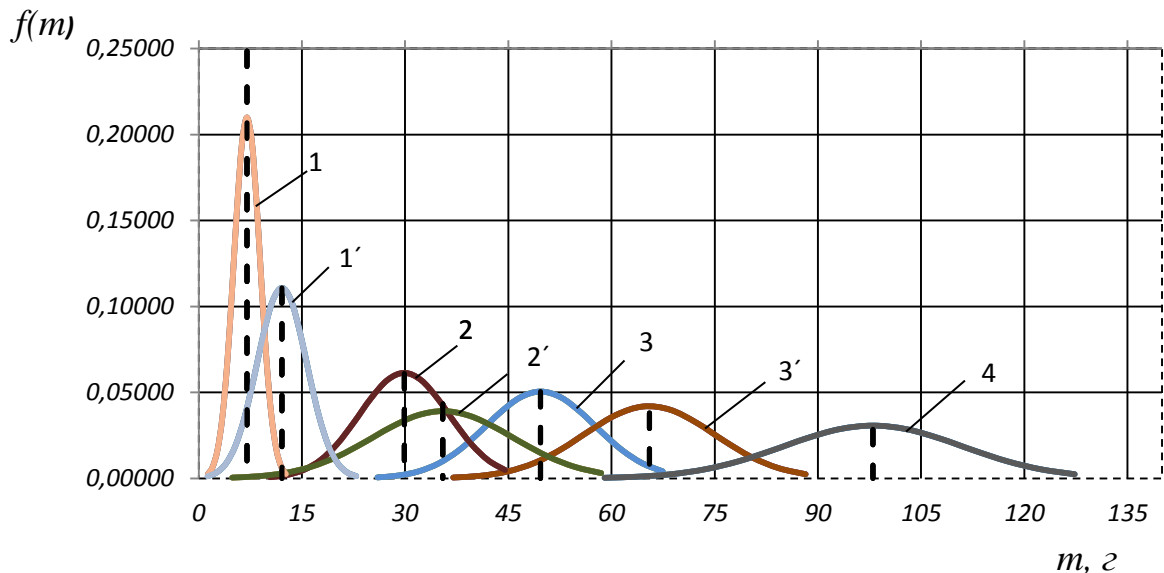
пятне (Рисунок 8). Это обусловлено большой трудоёмкостью измерения площади пятна ТСМ на экране.



1, 2 – способы определения массы по удельной массе материала в пятне на экране и по изменению массы экрана

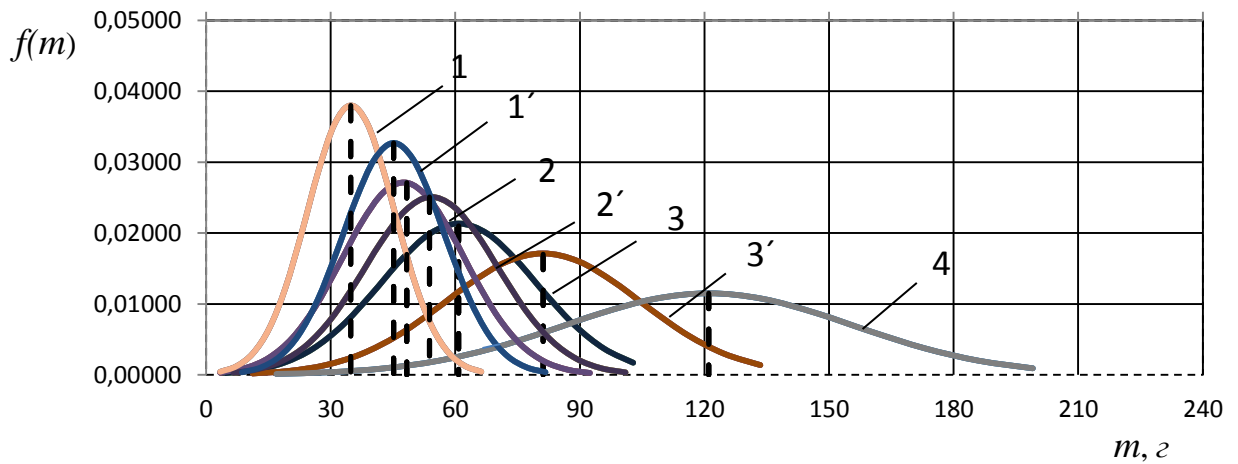
Рисунок 8 – Изменение трудоёмкости  $T$  определения массы материала на экране в зависимости от объема  $V$  капли (точки – экспериментальные данные)

Статистические испытания по определению показателей потерь ТСМ были проведены в стационарных и полевых условиях, в ходе которых на первом этапе были получены суммарные массы потерь ТСМ при ЕТО, ТО-1, ТО-2 и ТО-3 тракторов МТЗ-80, МТЗ-1221, К-744Р и Агромаш-90ТГ в стационарных и полевых условиях (Рисунки 9, 10 и 11).



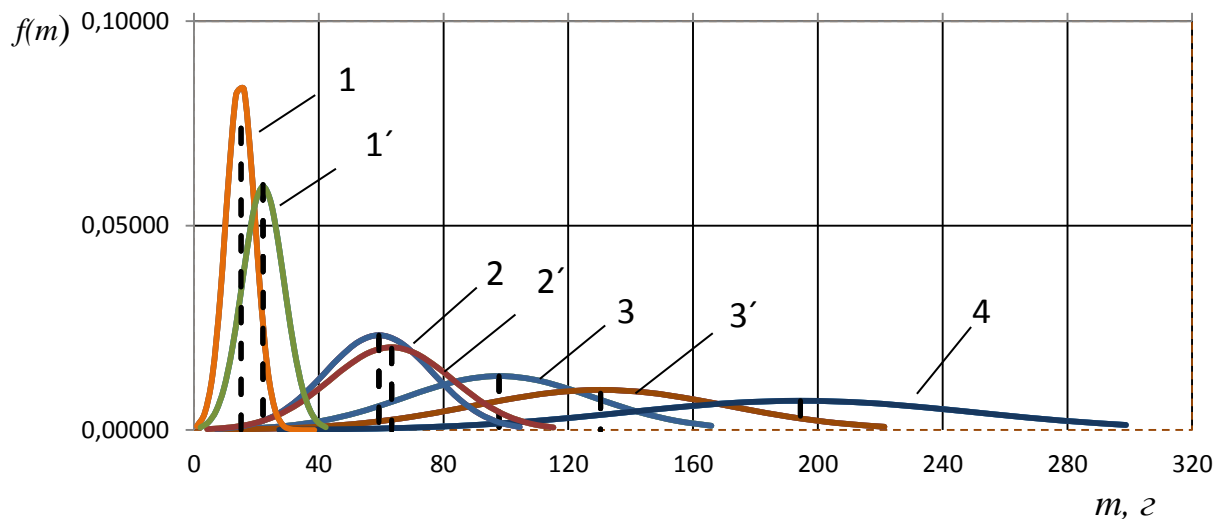
1, 1' – при ЕТО; 2, 2' - при ТО-1; 3, 3' – при ТО-2 соответственно в стационарных и полевых условиях; 4 – при ТО-3 в стационарных условиях

Рисунок 9 – Функции плотности  $f(m)$  распределения потерь  $m$  ТСМ по видам ТО трактора МТЗ-80



1, 1' – при ЕТО; 2, 2' - при ТО-1; 3, 3' – при ТО-2 соответственно в стационарных и полевых условиях; 4 – при ТО-3 в стационарных условиях

Рисунок 10 – Функции плотности  $f(m)$  распределения потерь  $m$  ТСМ по видам ТО трактора К-744Р



1, 1' – при ЕТО; 2, 2' - при ТО-1; 3, 3' – при ТО-2 соответственно в стационарных и полевых условиях; 4 – при ТО-3 в стационарных условиях

Рисунок 11 – Функции плотности  $f(m)$  распределения потерь  $m$  ТСМ по видам ТО трактора Агромаш-90ТГ

После чего определены коэффициенты  $K_2$  (13) и результаты обработки данных представлены в таблице 1. Затем по этим же маркам машин были вычислены  $K_3$  (14) и их значения сопоставлены с  $K_2$ . Полученные результаты: закон распределения по критерию Пирсона  $P(\chi^2)$  – нормальный; относительная ошибка определения  $K_2$  – не более 5 % (4,6 %) при доверительной вероятности  $\alpha$ , равной 0,95.

Отклонение  $K_3$  от  $K_2$  не превышает 8 % (7,7 %), что свидетельствует о возможной применимости расчётного метода оценки потерь ТСМ.

Таблица 1 – Результаты статистической оценки коэффициента потерь ТСМ  $K_2$

Показатели	Тракторы:		
	МТЗ-1221	К-744Р	Агромаш-90ТГ
Математическое ожидание $\bar{K}_2$	1,021	1,235	1,984
Среднее квадратическое отклонение, $S$	0,137	0,148	0,251
Относительная ошибка $\bar{\delta}_x$ , %	4,6	4,4	3,9
Закон распределения	Гаусса	Гаусса	Гаусса
Критерий согласия Пирсона, $P(\chi^2)$	4,75	4,21	1,48

В завершение по приведённым результатам статистических испытаний были вычислены суммарные потери ТСМ за цикл ТО (Таблица 2).

Таблица 2 – Результаты определения суммарных потерь ТСМ  $M_{ц}$  за цикл ТО тракторов

Тракторы	Показатели:			
	$\bar{K}_2$	$M_{qd}$ , г/моточ	$M_{qc}$ , г/моточ	$M_{ц}$ , Г
МТЗ-80	1,000	1,170	1,170	1170
МТЗ-1221	1,021	1,170	1,195	1195
К-744	1,235	1,170	1,445	1445
Агромаш-90ТГ	1,984	1,170	2,321	2321

Средние потери ТСМ при ТО – трактор МТЗ-80 – 1170 г за цикл, МТЗ-1221 – 1195 г, К-744– 1445 г, а потери по Агромаш-90ТГ – 2321г.

Расчётный годовой экономический эффект – 1 тыс. руб. на один физический трактор.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований сформированы следующие выводы:

1. Установлено, что потери ТСМ при ТО тракторов составляют от 5 до 10 % от общего количества ТСМ, используемого при ТО тракторов.

2. Разработана математическая модель процесса оперативного контроля потерь, позволяющая количественно оценить величину потерь ТСМ при ТО тракторов как по результатам статистических испытаний (экспериментально), так и на основе учёта количества СЗО (расчётный метод).

В общем виде полученная модель – это коэффициент потерь ТСМ  $K$  – отношение измеренных удельных суммарных показателей  $M_{ц}$ ,



характеризующих потери ТСМ при ТО (в кг или м<sup>3</sup> на моточас), к соответствующему базовому показателю  $M_B$ . При постоянном значении  $M_B$  зависимость  $K$  от  $M_{II}$  имеет вид:  $y = kx$ , где  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $x$  – аргумент. При этом суммарные потери ТСМ за некоторый произвольный период наработки машины  $\tau$  в функции от  $M_B$ ,  $K$  и  $\tau$  в общем виде также имеют зависимость  $y = kx$ .

3. Разработаны методы оценки потерь ТСМ с применением выбранных средств их контроля: один из них – на основе измерения потерь по удельной массе ТСМ в пятне на экране; другой – по изменению массы экрана.

4. Установлено, что средние потери ТСМ за цикл ТО тракторов (1000 моточасов) составляют: по МТЗ-80 – 1170 г; МТЗ-1221 – 1195 г; К-744Р – 1445 г; Агромаш-90ТГ – 2321 г.

5. Производственная проверка основных результатов исследований была осуществлена в условиях сельхозпредприятий АО «Сибирская Нива» и ФГУП «Элита» Иркутской области в 2015-2018 годах. Получены статистические данные для оценки величины потерь ТСМ и коэффициентов определения потерь ТСМ при ТО тракторов МТЗ-80, МТЗ-1221, К-744 и Агромаш-90ТГ.

Произведена статистическая оценка математической модели по коэффициенту, полученному на основе сравнения показателей контролируемой машины (МТЗ-1221, К-744Р, Агромаш-90ТГ) и её аналога с наименьшими потерями ТСМ при ТО (МТЗ-80). Закон распределения коэффициента потерь ТСМ по критерию Пирсона  $P(\chi^2)$  – нормальный; относительная ошибка его определения – не более 5 % (4,6 %) при доверительной вероятности  $\alpha$ .

Установлено, что относительная погрешность расчётного метода по отношению к расчетно-экспериментальному не превышает 8 % (7,7 %).

Годовой экономический эффект от применения оперативного контроля потерь ТСМ при ТО составляет в среднем около 1000 рублей на один трактор.

#### **Рекомендации производству:**

Разработанные методы и технические средства оперативного контроля потерь ТСМ при ТО тракторов могут быть использованы в предприятиях АПК и технического сервиса – при ТО тракторов в стационарных и полевых условиях.

**Перспективы дальнейшего развития темы исследования** – создание методов комплексной оценки потерь ТСМ, предусматривающей повышение точности их оценки.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

### Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК (основные)

1. Хабардин В.Н. Математическое моделирование безопасности технического обслуживания машин / В.Н. Хабардин, М.В. Чубарева, А.В. Хабардина, Т.Л. Горбунова, Н.В. Чубарева // Вестник ИрГСХА. – 2015. – Вып. 68. – С. 105–114.
2. Хабардин В.Н. Результаты определения коэффициентов весомости экологических параметров на основе экспертных оценок / В.Н. Хабардин, Т.Л. Горбунова, М.В. Чубарева // Вестник ИрГСХА. – 2016. – Вып. 75. – С. 149 – 157.
3. Хабардина А.В. Особенности развития технического обслуживания машин в современных условиях / А.В. Хабардина, М.В. Чубарева, Н.В. Чубарева, Т.Л. Горбунова, Н.В. Степанов // Вестник ИрГСХА. – 2016. – Вып. 74. – С. 137 – 147.
4. Хабардин В.Н. Экологическая оценка технического обслуживания машин в полевых условиях / В.Н. Хабардин, М.В. Чубарева, Т.Л. Горбунова // Естественные и технические науки. – 2016. – № 12. – С. 318 – 325.
5. Хабардин В.Н. Математическое описание технического обслуживания машин с учетом его надежности / В.Н. Хабардин, Т.Л. Горбунова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (87). – С. 124 – 129.

### Патенты на изобретения Российской Федерации

6. Пат. 2519287 Рос. Федерация, МПК В62D 1/00 (2006.01), В60S 5/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности технического обслуживания автотранспортных машин / Горбунова Т.Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. – № 2012157351/11; заявл. 26.12.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
7. Пат. 2545475 Рос. Федерация, МПК В60S 5/00 (2006.01), G01M 15/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности выполнения смазочно-заправочных операций при техническом обслуживании машин / Горбунова Т.Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. – № 2013157121/11; заявл. 23.12.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9.
8. Пат. 2655101 Рос. Федерация, G01M 15/02 (2006.01). Способ определения экологической безопасности технического обслуживания машин на основе учета топливно-смазочных материалов / Горбунова Т.Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского». – № 2016134472; заявл. 23.08.2016; опубл. 23.05.2018, Бюл. № 15.
9. Пат. 2659880 Рос. Федерация, G01M 15/02 (2006.01). Экран для определения экологической безопасности технического обслуживания автотранспортных машин / Горбунова Т.Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный

университет имени А.А. Ежевского». – № 2016134480; заявл. 23.08.16; опубл. 01.03.2018, Бюл. № 7.

10. Пат. 2723524 Рос. Федерация, В60S 5/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности применения смазочно-заправочных приборов при техническом обслуживании машин в полевых условиях / Горбунова Т.Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. – № 2019131797; заявл. 08.10.2019; опубл. 11.06.2020, Бюл. № 17.

### **Статьи в научных сборниках (основные)**

11. Горбунова Т.Л. Показатели оценки экологической безопасности технического обслуживания машин в полевых условиях / Т.Л. Горбунова, В.Н. Хабардин, М.В. Чубарева // Экологическая безопасность и перспективы развития аграрного производства Евразии: материалы международной научно-практ. конференции, посвящённой 60-летию аспирантуры ИрГСХА. (3-5 декабря 2013 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013. – С. 17-21.

12. Горбунова Т.Л. Анализ операций технического обслуживания тракторов на предмет их технической и экологической опасности / Т.Л. Горбунова, Н.В. Чубарева, В.Н. Хабардин // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы международной научно-практ. конференции молодых учёных, посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского (15-16 апреля 2015 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2015. – С. 195-200.

13. Горбунова Т.Л. Требования экологической безопасности к техническому обслуживанию тракторов в полевых условиях и их соблюдение в практике / Т.Л. Горбунова, В.Н. Хабардин, М.В. Чубарева // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы 4-ой международной научно-практ. конференции молодых учёных, посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского (27-29 мая 2015 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2015. – С. 134-140.

### **Учебные пособия и монография**

14. Хабардин В. Н. Экологическая оценка мобильных машин в сельском хозяйстве: практикум для вузов / В. Н. Хабардин, Т. Л. Горбунова. – Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2016. – 55 с.

15. Ресурсосбережение и экологическая безопасность при техническом обслуживании машин в сельском хозяйстве (проблемы и их решения): монография / М.В. Чубарева, А.В. Хабардина, Н.В. Чубарева, Т.Л. Горбунова; под рук. и ред. В.Н. Хабардина. – Иркутск: Изд-во ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2019. – 200 с.

Подписано в печать \_\_. \_\_.2022 г. Бумага офс.№1.Формат 60x84, 1/16.  
Усл. печ. л. 1,2. Тираж 100.Заказ № 3188  
Цена договорная

ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный  
университет им. А.А. Ежевского  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодёжный, 1/1e-mail: cit@igsha.ru