

На правах рукописи

Шмелев Сергей Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ИСПЫТАНИЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
ПРИМЕНЕНИЕМ РАСХОДОМЕРОВ ТОПЛИВА**

05.20.01 – технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (ФГБНУ «Росинформагротех»)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Буклагин Дмитрий Саввич

Официальные оппоненты: **Скороходов Анатолий Николаевич**
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А.Тимирязева», декан факультета «Процессы и машины в агробизнесе»;

Махмутов Мансур Магфурович
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный заочный университет», профессор кафедры механики и технических систем.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИМ)

Защита состоится «___» марта 2015 года в 9 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 006.037.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЭСХ и на сайте <http://viesh.ru>.

Автореферат разослан «___» января 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Алексей Иосифович
Некрасов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время затраты на дизельное топливо для выполнения различных работ в сельскохозяйственном производстве составляют 12-16% от их себестоимости. Поэтому значительное внимание уделяется энерго- и ресурсосберегающим технике и технологиям. В этой связи возрастает роль и значение энергетической оценки машин, позволяющей определить помимо баланса мощности тракторного агрегата, расход топлива на единицу обрабатываемой площади или на единицу продукции. В настоящее время в системе испытаний сельскохозяйственной техники нет общепринятых универсальных средств измерений и испытательного оборудования для проведения энергетической оценки и определения расхода топлива за определённый период времени. Применение расходомеров топлива, а также современных измерительных систем для определения энергетических параметров не связывают со стабильностью регуляторных характеристик двигателей. В то же время именно стабильность регуляторных характеристик непосредственно влияет на точность определения энергетических показателей. Поэтому разработка методики проведения энергетической оценки на основе применения расходомеров топлива которые обеспечивают допустимую относительную погрешность измерения энергетических показателей (по ГОСТ Р 52777-2007) и универсальность применения является актуальной задачей. Выбор и применение расходомеров топлива (без применения тензометрического оборудования) для энергетической оценки позволяет снизить экономические затраты и трудозатраты по настройке и наладке тензометрического и другого оборудования для определения энергетических показателей.

В работе дана оценка экономической эффективности применения данного метода, проведено сравнение точности тензометрического метода с методом измерения энергетических показателей с использованием расходомеров дизельного топлива и обоснование интервала определения регуляторных характеристик для получения необходимой точности.

Цель исследования. Совершенствование методов и разработка требований к проведению энергетической оценки применением расходомеров дизельного топлива и определенных регуляторных характеристик с заданной точностью.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели исследования предусмотрено решение следующих основных задач:

1. Исследовать и экспериментально сравнить методы проведения энергетической оценки на основе применения ГОСТ Р 52777-2007 и метод определения энергетических показателей по расходу топлива;

2. На основании теоретических и экспериментальных исследований теоретически и практически обосновать возможность использования расходомеров дизельного топлива и заранее определенных регуляторных характеристик для проведения энергетической оценки;

3. Теоретически и практически обосновать необходимость учета механических потерь и буксования при проведении энергетической оценки методом измерений расхода топлива;

4. Обосновать оптимальную периодичность определения регуляторных характеристик энергетических средств для обеспечения необходимой точности измерений энергетических показателей по расходомеру дизельного топлива;

5. Разработать методику проведения энергетической оценки на основе применения расходомеров дизельного топлива и заранее определенных регуляторных характеристик;

6. Определить экономическую эффективность от внедрения методики определения энергетических показателей по расходомеру топлива.

Объект исследования. Методы проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники.

Предмет исследования. Обоснование требований к интервалу между определениями регуляторной характеристики, сравнение точности измерений энергетических показателей машины методом тензометрирования с методом измерений использующим расходомеры дизельного топлива и заранее определенные регуляторные характеристики.

Методы исследований. Теоретические исследования предусматривали использование теории вероятности, методы математического моделирования. Методической основой исследования являются основные положения метрологии и методы математического моделирования. Экспериментальные исследования проведены с применением современных приборов и оборудования, стандартных методов обработки информации.

Научная новизна заключается:

- в разработке методики, позволяющей проводить энергетическую оценку сельскохозяйственной техники на основании измерений расхода топлива и заранее определенных регуляторных характеристик энергетических средств;

- в обосновании математической модели оценки погрешности измерений энергетических показателей машинотракторного агрегата, учитывающей КПД трансмиссии и буксование движителей;

- впервые обоснована периодичность определений регуляторных характеристик энергетических средств, при энергетической оценке сельскохозяйственных машин методом измерений расхода топлива;

- в разработке высокоточного расходомера дизельного топлива для проведения энергетической оценки на основе его применения.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке методически-нормативных материалов и средства измерений для проведения энергетической оценки на основе измерений расхода топлива, позволяющих значительно снизить экономические и трудовые затраты, а также повысить точность измерений энергетических показателей методом измерений расхода топлива.

Реализация результатов исследования. Разработан проект стандарта организации (АИСТ) позволяющий проведение энергетической оценки сельскохозяйственной техники измерением расхода топлива.

Апробация работы. Основные положения исследования процесса проведения энергетической оценки на основе измерения расхода топлива обсуждались на: Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной

продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (г.Тамбов, 20-21 сентября 2011 г.), 5-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии, системы и приборы в АПК «Агроинфо-2012» (г.Новосибирск, 10-11 октября 2012 г.), 8-ой Международной научно-практической конференции «Инновационные разработки для АПК» (г. Зерноград, 28-29 марта 2013 г.), Международной научно-практической конференции «Система технологий и машин для инновационного развития АПК России», (г. Москва, 17-18 сентября 2013 г.), 7-ой Международной научно-практической конференции «Научно-инновационное обеспечение инновационного развития АПК», (пос. Правдинский, Московская область, 19-20 мая 2014 г.).

Публикации. Основные положения и научные результаты диссертационной работы опубликованы в 13 работах, общим объёмом 3,5 п.л. (2,2 п.л. является индивидуальным вкладом аспиранта), в том числе 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК и патент на полезную модель №145575.

На защиту выносятся:

- обоснование актуальности применения методов определения энергетических показателей измерением расхода топлива;
- обоснование межповерочного интервала энергетических средств, обеспечивающего допустимую погрешность измерений энергетических показателей при проведении энергетической оценки методом измерений расхода топлива;
- аналитическая зависимость точности определения мощности от измерений буксования и механических потерь;
- методика проведения энергетической оценки методом измерений расхода топлива;
- результаты определения экономической эффективности проведения энергетической оценки с использованием новой методики и средств измерений.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация включает введение, пять глав, общие выводы, список используемых источников информации из 137 наименований, в том числе 1 на иностранном языке и приложения на 3 страницах. Объем диссертации – 160 страниц машинописного текста, в том числе 157 страниц основного текста, поясняется 38 таблицами и 22 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, дана общая характеристика проблемы, изложены цель и задачи исследования, научная и практическая значимость результатов исследований и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе изложены предпосылки проблемы проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники и пути ее решения совершенствованием методов измерений энергетических показателей и повышения точности средств измерений.

Изложены результаты анализа ранее выполненных исследований по вопросам совершенствования методов и средств измерений, применяемых при энергетической оценке. Значительный вклад в развитие теории энергетической

оценки внесли такие ученые, как Дубровский А.А., Буклагин Д.С. и другие.

Вопросам теории, совершенствования методики и применяемых при энергетической оценки тензометрических средств измерений посвящены работы Высоцкого А.А., Васильева А.В., Лучинского Н.Н., Федотова В.В., Любимова Б.А., Мелия А.Я., Мертехина И.И., Полканова И.П., Свечникова Г.Н., Урусова М.С., Чудутова В.А. и многих других.

Вопросы энергетической эффективности МТА были рассмотрены в работах А.Н. Скороходова.

Разработка и внедрение средств, улучшающих тягово-сцепные свойства МТА и исследование функционирования колесных МТА, рассмотрено в работах Махмудова М.М.

В настоящее время энергетическая оценка сельскохозяйственных машин в Российской Федерации проводится по ГОСТ Р 52777-2007, в данном стандарте изложены значения погрешностей некоторых измеряемых показателей, характеризующих режим работы машины (таблица 1).

Таблица 1 – Допустимые погрешности измерений показателей энергетической оценки сельскохозяйственной техники

Наименование показателя	Обозначение	Погрешность измерений относительная или абсолютная
Время измерения	t	$\pm 0,2$ с
Длина пути, пройденная сельскохозяйственной машиной	S	$\pm 1,0$ %
Частота вращения	n	$\pm 1,0$ %
Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины	R	$\pm 2,5$ %
Количество израсходованного топлива за время эксперимента	m _T	$\pm 1,5$ %
Крутящий момент	M	$\pm 2,5$ %
Давление рабочей жидкости	P	$\pm 2,0$ %
Расход рабочей жидкости	Q	$\pm 2,0$ %

В соответствии с теорией сложения погрешностей при нескольких измерениях погрешность рассчитывается по формуле:

$$\delta x = \pm(\delta y + \delta z + \dots + \delta n), \quad (1)$$

где δx – погрешность величины, измеряемой косвенным методом;

$\delta y, \delta z, \delta n$ – погрешность величин, измеряемых методом прямых многократных измерений.

Таким образом, используя формулу 1 и данные таблицы 1 рассчитаем, допустимые погрешности показателей, характеризующих режим и показателей энергетической оценки:

$$\delta v = \pm(\delta t + \delta S) = \pm(1 + 1) = 2\%; \quad (2)$$

$$\delta G = \pm(\delta t + \delta m_T) = \pm(1 + 1,5) = \pm 2,5\%; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \delta N_M &= \pm(\delta R + \delta t + \delta S + \delta n + \delta M + \delta p + \delta Q) = \\ &= \pm(2,5 + 1 + 1 + 1 + 2,5 + 2 + 2) = \pm 12\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив в формулы соответствующие погрешности для прицепной машины, прицепной с приводом от ВОМ и прицепной с гидроприводом, получим погрешности измерения потребляемых мощностей:

1. Для стационарной машины с приводом от ВОМ – 3,5 %;
2. Для прицепной машины – 4,5 %;
3. Для прицепной машины с приводом от ВОМ – 8 %;
4. Для прицепной машины с гидроприводом – 8,5%.
5. Для прицепной машины с приводом от ВОМ и гидроприводом – 12%.

Имея допустимые погрешности определения потребляемой мощности (то есть конечного показателя энергетической оценки), можно оценить любую методику их определения.

Так же в разделе рассмотрены средства измерений, применяемые для определения регуляторных характеристик энергетических средств и при проведении энергетической оценки. Особое внимание уделено применяемым расходомерам топлива, применяемым в системе испытаний сельскохозяйственной техники и имеющимся на рынке Российской Федерации.

Исходя из информации, представленной в разделе наиболее точным и приспособленным расходомером для применения при энергетической оценке является ИП-260, так как он имеет два датчика как для подающей, так и для обратной топливных магистралей, точность измерений его датчиков составляет 1% и единственным его недостатком, как и у всех расходомеров, имеющих два датчика расхода топлива, является его отсутствие в госреестре средств измерений. В то же время данный недостаток может быть устранен калибровкой данного расходомера и сличением его технической характеристики с указанной в его технической документации (рисунок 1).



Рисунок 1 - Общий вид счётчика-расходомера топлива ИП-260

На основании анализа нормативной документации и средств измерений поставлена цель и определены задачи исследования.

Во второй главе исследованы теоретические аспекты воздействия факторов времени и наработки на точность измерений мощности по регуляторной характеристике энергетических средств, теоретически обоснован их межпове-

рочный интервал, разработано средство измерений расхода топлива, позволяющее повысить точность измерений, доказана необходимость измерений и учета мощности, затрачиваемой на буксование и механические потери при определении энергетических показателей по расходу топлива.

Анализ теоретических данных определения регуляторных характеристик выявил существенную зависимость изменения регуляторной характеристики, как от временных факторов, так и от факторов износа (наработки).

Результаты испытаний новых двигателей Д-442-24, Д-4405, РМ-8010 тракторов ВТ-150Д, ВТ-175Д, ДТ-75Р проведённых на Северо-Кавказской МИС выявил изменение эффективной мощности двигателей в пределах 2% при наработке в 1000 м.-час. В связи с этим 1000 м.-час было принято за первичный межповерочный интервал.

В соответствии с информацией, предоставленной Владимирской МИС по методике РМГ 74-2004, были рассчитаны межповерочные интервалы для тракторов с истекшим сроком эксплуатации, для поддержания точности измерений мощности, соответствующей ГОСТ Р – 52777-2007.

Результаты расчетов и теоретических обоснований межповерочных интервалов энергетических средств при проведении энергетической оценки методом измерений расхода топлива для удобства представления были сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Доверительные межповерочный интервалы ЭС

Энергетическое средство	Наработка межповерочного интервала, м.-час	Продолжительность межповерочного интервала, месяц
С неистекшим нормативным сроком службы	1000	12
С истекшим нормативным сроком службы*	400	3
*Примечание. Для стационарных машин с приводом от ВОМ или ДВС необходимо использовать межповерочный интервал в 2 месяца или 200 м.-час.		

Другой способ снизить погрешность определения энергетических показателей при проведении оценки методом измерений расхода топлива – это снизить погрешность применяемого при этом средства измерений, то есть расходомера топлива. Исходя из этого, был разработан многопоточный расходомер дизельного топлива, на который было получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель.

Устройство, представленное на рисунке 2 и 3 содержит топливный бак (1), фильтр грубой очистки (2), насос низкого давления (3), фильтр тонкой очистки (4), два основных датчика расхода топлива (5;16), два датчика с малым диапазоном расхода топлива (10;18), два электромагнитных клапана (9;17), три тройника (11;15;19), топливный насос высокого давления (12), дренажный клапан (13), форсунки (14), информационный контроллер (6), электронно-вычислительное устройство (7), управляющий контроллер (8), два датчика температуры (20;21), дисплей (22).

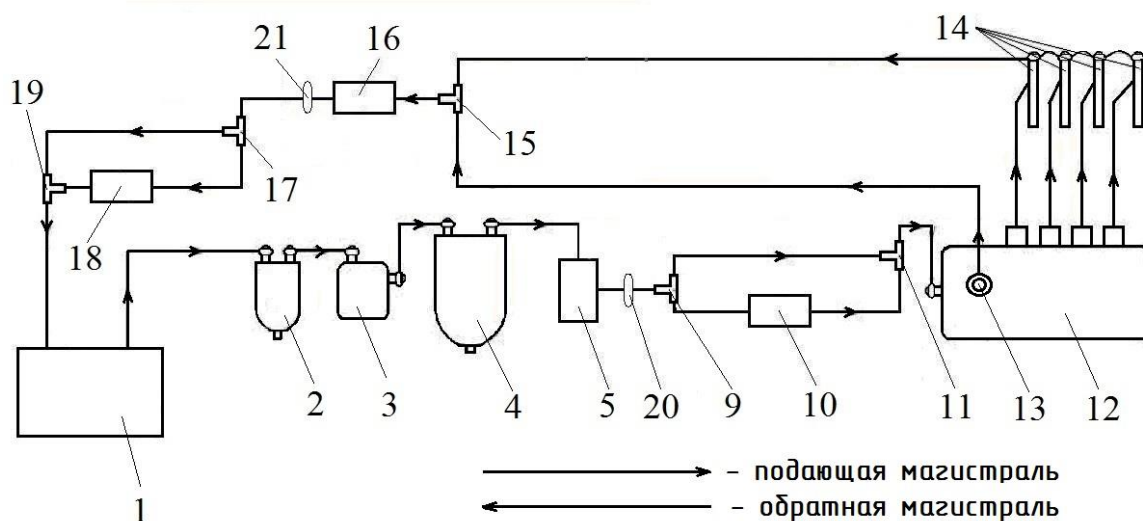


Рисунок 2 - Схема топливной системы, с многопоточным расходомером дизельного топлива

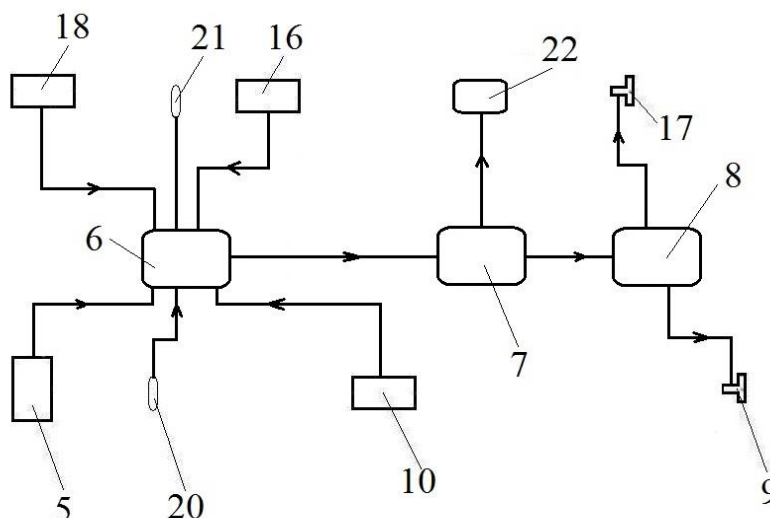


Рисунок 3 - Электрическая схема многопоточного расходомера дизельного топлива

Топливо из бака 1 попадает в фильтр грубой очистки 2, затем в насос низкого давления 3, откуда попадает в фильтр тонкой очистки 4, из которого топливо попадает в датчик расхода топлива 5, который передает сигнал об измеренном расходе топлива на информационный контроллер 6. Обработав сигнал, контроллер 6 передает информацию на электронно-вычислительное устройство 7. В зависимости от показаний датчика расхода топлива 5 вычислительное устройство 7 передает сигнал управляющему контроллеру 8 на переключение электромагнитного клапана 9. Если расход топлива укладывается в диапазон измерения датчика расхода топлива 10 с малым диапазоном, то электромагнитный клапан 9 открывается в сторону датчика расхода топлива 10, а если расход топлива выше, то клапан 9 открывается напрямую и через тройник 11 топливо попадает в топливный насос высокого давления (ТНВД) 12. При работе двигателя лишнее топливо с дренажного клапана ТНВД 13 и форсунки 14 попадает в тройник 15, через который следует в датчик расхода топлива 16, с которого пе-

редается сигнал об измеренном расходе топлива на информационный контроллер 6. Обработав сигнал, контроллер 6 передает информацию на электронно-вычислительное устройство 7. В зависимости от показаний датчика расхода топлива 16 управляющий контроллер 8 переключает электромагнитный клапан 17. Если расход топлива укладывается в диапазон измерения датчика расхода топлива 18, то клапан открывается в сторону датчика 18, а если расход топлива выше, то клапан 17 открывается напрямую, направляя топливо в бак 1 через тройник 19.

При расходе топлива по показаниям датчика 5 в диапазоне измерения датчика 10, с него снимаются показания. При расходе топлива, превышающем диапазон датчика 10, используются данные, полученные от датчика 5. Аналогичным образом передаются показания датчиков 16 и 18. Электронно-вычислительное устройство 7 рассчитывает весовой расход топлива M , кг, по формуле:

$$M = V_{\Pi} \cdot \rho_{20} - V_{\text{Об}} \cdot \rho_{21}, \quad (5)$$

где V_{Π} и $V_{\text{Об}}$ – объемные расходы в подающей и обратной магистралях, л;
 ρ_{20} и ρ_{21} – плотность топлива, рассчитываемая по показаниям датчиков 20 и 21 в соответствии с ГОСТ 3900-85, кг/л.

Вычислительное устройство 7 имеет встроенный секундомер, по показаниям которого определяется часовой расход топлива. Данные о расходе топлива, его температуре и времени измерений выводятся на дисплей 22.

Многопоточный расходомер дизельного топлива может быть использован в дизельных топливных системах, для точного измерения расхода дизельного топлива. Расходомер содержит четыре датчика расхода топлива, имеющих различную точность и диапазон измерений, соединённые с электронно-вычислительным устройством через информационный контроллер. Электронно-вычислительное устройство направляет поток топлива управляющим контроллером, для поддержания наибольшей точности и соответствующего диапазона измерений. Полезная модель содержит два температурных датчика, показания которых передаются на электронно-вычислительное устройство.

Кроме уже представленных вариантов снижения погрешности определения энергетических показателей методом измерений расхода топлива, существует также возможность совершенствования методики их измерений. При проведении энергетической оценки по ГОСТ Р 52777-2007 не учитывается мощность на буксование и мощность на механические потери. С целью определения погрешности, Δ вносимой методикой, не учитывающей механические потери и буксование, при определении мощности, потребляемой прицепными сельскохозяйственными машинами методом измерений расхода топлива, была выведена формула 6.

$$\Delta = \left| 1 - \frac{X - 1}{\eta_{\text{ТД}} \cdot \left(X \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) - 1 \right)} \right| \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $\eta_{ТД}$ – КПД трансмиссии энергетического средства;

δ – буксование движителей МТА;

X - коэффициент соотношения мощности МТА к мощности ЭС.

Подставив в формулу 6 различные значения КПД трансмиссий и соотношения потребляемых мощностей ЭС и МТА, при максимально допустимых значениях буксования движителей (5% для гусеничных ЭС и 15% для колесных ЭС) получим погрешности измерений тяговой мощности, представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Погрешность измерений тяговой мощности ЭС при допустимом уровне механических потерь и максимально допустимом уровне буксования движителей

КПД ЭС ($\eta_{ТД}$)	Коэффициент соотношения мощности МТА к мощности ЭС									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гусеничные энергетические средства (буксование равно 5%)										
0,86	100	29,20	25,71	24,59	24,03	23,70	23,48	23,33	23,21	23,12
0,87	100	27,71	24,26	23,15	22,61	22,28	22,06	21,91	21,79	21,70
0,88	100	26,26	22,85	21,75	21,21	20,89	20,68	20,52	20,41	20,32
Колесные энергетические средства (буксование равно 15%)										
0,90	100	66,11	50,04	45,35	43,11	41,80	40,94	40,34	39,89	39,54
0,91	100	64,20	48,31	43,68	41,47	40,17	39,32	38,72	38,28	37,93
0,92	100	62,34	46,63	42,05	39,86	38,58	37,74	37,15	36,71	36,36
КПД ЭС ($\eta_{ТД}$)	Коэффициент соотношения мощности МТА к мощности ЭС									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Гусеничные энергетические средства (буксование равно 5%)										
0,86	23,05	22,99	22,94	22,90	22,86	22,83	22,80	22,78	22,76	22,74
0,87	21,63	21,57	21,53	21,48	21,45	21,42	21,39	21,37	21,35	21,33
0,88	20,25	20,19	20,14	20,10	20,07	20,04	20,01	19,90	19,97	19,95
Колесные энергетические средства (буксование равно 15%)										
0,90	39,26	39,03	38,84	38,68	38,55	38,43	38,33	38,23	38,15	38,08
0,91	37,66	37,43	37,25	37,09	36,95	36,84	36,74	36,65	36,57	36,49
0,92	36,09	35,87	35,69	35,53	35,40	35,28	35,18	35,09	35,01	34,94

Изобразим зависимость погрешности измерений потребляемой мощности от коэффициента соотношения мощности МТА к мощности ЭС при допустимом уровне буксования. Зависимость погрешности от коэффициента соотношения мощности МТА к мощности ЭС представлена на рисунке 4.

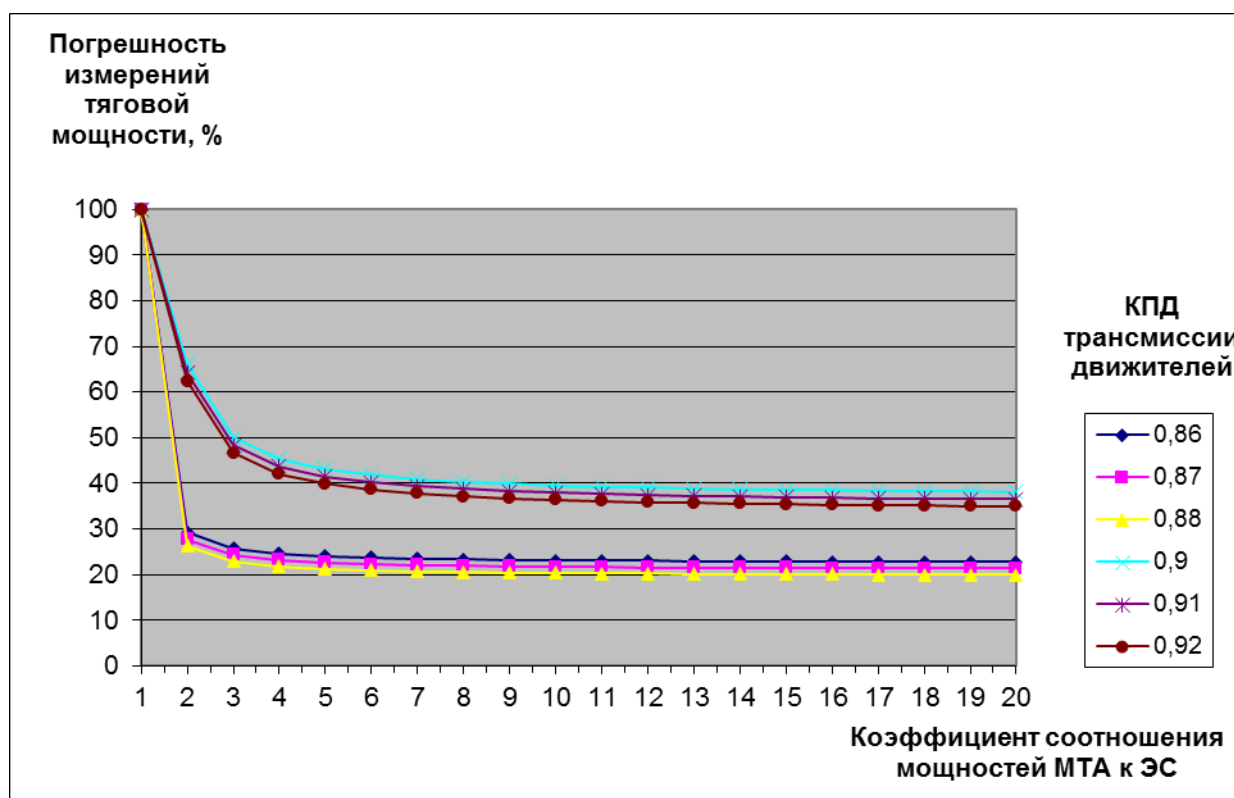


Рисунок 4 - Зависимость погрешности от коэффициента соотношения мощностей МТА к мощности ЭС

Как видно из рисунка 4, при увеличении соотношения мощности МТА к мощности ЭС погрешность измерений потребляемой мощности уменьшается, при этом режим работы МТА приближается к номинальной загрузке двигателя. Так как номинальная загрузка двигателя является наиболее энергоэффективным режимом при работе МТА, то оценку погрешностей необходимо проводить по данным этого режима. Из рисунка 4 видно, что после соотношения мощностей МТА и ЭС равного 10 наблюдается незначительное снижение погрешностей измерений тяговой мощности, в этой связи расчет погрешностей будет проводиться по данным этого соотношения. Таким образом, КПД трансмиссии и буксование движителей несут в среднем 21,71% погрешности измерений тяговой мощности при работе с ЭС имеющие гусеничные движители и 37,94% погрешности при работе с ЭС имеющие колесные движители.

Исходя из информации представленной выше, установлена необходимость учета механических потерь и буксования при определении мощности, потребляемой агрегатируемых с ЭС машин методом измерений расхода топлива.

В третьей главе приведена методика экспериментального исследования, описывается объект исследования и применяемые средства измерений и испытательное оборудование.

Задачами экспериментальных исследований являлись: выявление возможности проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники на основе измерений расхода топлива; сравнение точности методов проведения энергетической оценки на основе измерений расхода топлива первый - по ГОСТ Р 52777-2007, второй – при расчете согласно теории баланса мощности машинотракторного агрегата.

Подготовка к эксперименту заключалась в анализе имеющихся методов определения энергетических показателей измерением расхода топлива, определении объекта исследования, создании форм представления результатов, выборе контрольно-измерительного оборудования.

При проведении экспериментального исследования применялись средства измерений и испытательное оборудование, определяющие условия проведения исследования, показателей, характеризующих режим работы агрегата и показателей энергетической оценки, указанные в таблице 4.

Таблица 4 - Средства измерений, применяемые при экспериментальном исследовании

Измеряемый параметр	Средство измерений	Погрешность
Условия проведения экспериментального исследования		
Атмосферное давление, Па	Барометр-анероид БАММ-1	±0,1 кПа
Относительная влажность, %	Термогигрометр ИВА-6А	±2%
Температура окружающей среды, С°	Термогигрометр ИВА-6А	±0,5°С
Температура дизельного топлива, %	Термометр многоканальный ТМ 5231	±0,25%
Параметры и средства измерения для прицепной техники		
Действительный путь, пройденный МТА, м	Рулетка Р 10 УЗК	±1 мм
Путь пройденный колесом ЭС, м	Информационно-измерительная система ИП-238	±1%, ±1 импульс
Время опыта, с	Секундомер СОС	КТ 2
Расход топлива, л/ч (кг/ч)	Расходомер топлива ИП-260	±1%
Усилие на крюке, тс	Информационно-измерительная система ИП-238	±1%, ±1 импульс
Параметры и средства измерения для техники с приводом от ВОМ		
Время опыта, с	Секундомер СОС	КТ 2
Расход топлива, л/ч (кг/ч)	Расходомер топлива ИП-260	±1%
Крутящий момент, Н/м	Тензометрический ВОМ	0,57%
Частота вращения, с ⁻¹	Герконовый датчик	±1 об/мин
* Для проведения эксперимента по сравнению методик для прицепных машин с приводом от ВОМ измеряют всю совокупность показателей как прицепных, так и машин с приводом от ВОМ.		

Экспериментальные исследования проводились на территории ФГБУ «Владимирская МИС», обеспеченной средствами измерений и измерительным оборудованием.

На заключительном этапе проводилась статистическая обработка результатов исследований при помощи программного обеспечения Microsoft Excel 2003.

В четвертой главе описаны результаты предварительного этапа экспериментального исследования по определению регуляторной характеристики ЭС, результаты экспериментальных исследований, их анализ, изложена методика проведения энергетической оценки методом измерений расхода топлива.

В соответствии с главой 2 регуляторная характеристика ЭС была определена дважды с интервалом в 3 месяца, на предварительном этапе экспериментального исследования, регуляторная характеристика ЭС представлена на рисунке 5.

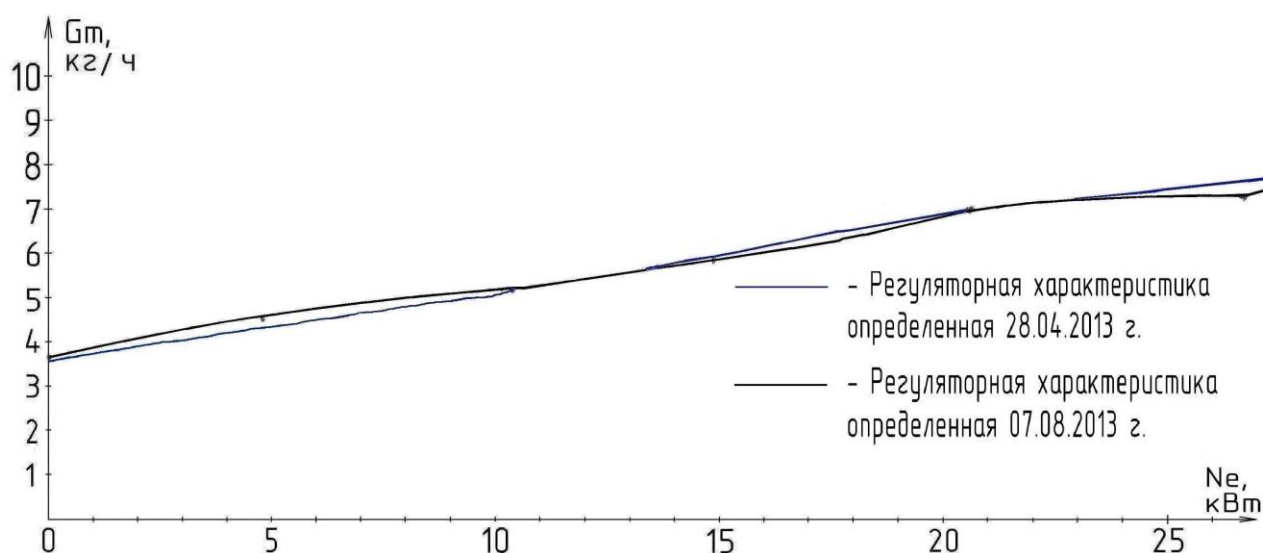


Рисунок 5 – Регуляторная характеристика энергетического средства

Анализ регуляторной характеристики подтвердил изменение во времени энергетических показателей ЭС, что подтверждает необходимость определения регуляторной характеристики и тарирования расходомера в интервале времени, рассчитанном в главе 2.

Условия проведения экспериментальных исследований были определены согласно ГОСТ 20915-2011 и соответствовали допустимым условиям при проведении испытаний по определению регуляторных характеристик согласно ГОСТ 18509-88.

Экспериментальное исследование заключалось в определении точности измерений мощности, потребляемой агрегатируемыми с ЭС машинами методом измерений расхода топлива, относительно измерений тензометрическим методом. Оно проводилось при нагрузках на крюке ЭС и нагрузках на ВОМ, при режимах с минимальной потребляемой мощностью (так как на данных режимах измерения имеют наибольшую относительную погрешность) и с применением различного тензометрического оборудования (S-образное тяговое звено и круглое тяговое звено).

Результаты определения погрешности потребляемой мощности методом

измерений расхода топлива по сравнению с методом тензометрирования, показали высокую точность определения мощности методом измерений расхода топлива. Лишь при проведении экспериментального исследования по определению потребляемой мощности машины с приводом от ВОМ значение погрешности превысило минимально допустимое на 0,64% и составило 4,14%. Это объясняется тем, что измеряемая мощность была ниже 6кВт и при этом абсолютная погрешность измерений составила 0,23 кВт. При этом необходимо обратить внимание на то, что нет таких сельскохозяйственных машин, которые работали бы на режиме потребления столь малой мощности.

Также, проведенное экспериментальное исследование подтвердило необходимость учитывать в расчете потребляемой мощности механические потери. Данные по сравнению точности определения потребляемой мощности с учетом механических потерь и без него представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Данные по сравнению точности определения потребляемой мощности

Наименование экспериментального исследования	Потребляемая мощность по данным тензометрирования, кВт	Метод с учетом механических потерь		Метод без учета механических потерь	
		Потребляемая мощность, кВт	Погрешность измерений, %	Потребляемая мощность, кВт	Погрешность измерений, %
Нагружаемый прицепленным трактором на 6 передаче	17,23	17,28	0,29	18,79	9,05
Нагружаемый прицепленным трактором на 9 передаче	10,81	11,13	2,96	12,10	11,93
Нагружаемый имитатором нагрузки на ВОМ	5,56	5,79	4,14	6,16	10,79
Нагружаемый прицепной машиной с приводом от ВОМ	15,77	16,59	5,20	17,90	13,51

Из таблицы 5 видно, что механические потери трансмиссии двигателей МТЗ-82 при КПД трансмиссии 0,92 (8% механических потерь), несут в себе до 8,7% относительной погрешности измерений тяговой мощности, что соответствует теории, изложенной в главе 2. Так же экспериментальное исследование с применением имитатора нагружения ИТ-503 установило, что КПД трансмиссии ВОМ трактора МТЗ-82 равный 0,94 (6% механических потерь), несет в себе относительную погрешность измерений 6,65% потребляемой мощности.

Таким образом, экспериментальное исследование подтвердило возможность применения метода измерений расхода топлива для проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники с погрешностями измерений мощности соответствующей ГОСТ Р 52777-2007, а также подтвердила необходимость учета и измерений механических потерь трансмиссии.

Разработана методика проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники на основе измерений расхода топлива с использованием теоретически рассчитанного межповерочного интервала энергетического средства и формул расчета мощностей, затрачиваемых на механические потери и буксование движителей ЭС, необходимость учета которых подтверждена экспериментально и теоретически.

В пятой главе приведен расчет экономической эффективности предлагаемых мероприятий по совершенствованию методики проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники. Средний годовой экономический эффект от внедрения методики проведения энергетической оценки измерением расхода топлива составил 26602,76 руб/год, без срока окупаемости, так как все средства измерений и испытательное оборудование уже имеются на МИС.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании исследований отечественного рынка расходомеров дизельного топлива при энергетической оценке сельхозмашин с приводом от двигателя внутреннего сгорания наиболее целесообразно применение счетчика-расходомера дизельного топлива ИП-260.

2. При статистической оценке регуляторных характеристик тракторов МТЗ-82 установлен доверительный межповерочный интервал энергетических средств, превысивший нормативный срок эксплуатации, который составил 400 м.-час и (или) 3 месяца для передвижной сельхозтехники и 200 м.-час и (или) 2 месяца для стационарной сельхозтехники.

3. Получена математическая модель оценки погрешности измерений энергетических показателей машинотракторного агрегата, учитывающая КПД трансмиссии и буксование движителей.

4. Теоретическим расчетом установлено, что КПД трансмиссии и буксование движителей составляет в среднем 21,71% погрешности измерений тяговой мощности при работе с энергетическими средствами, имеющими гусеничные движители и 37,94% погрешности при работе с энергетическими средствами, имеющими колесные движители, при максимально допустимом уровне буксования и режиме загрузки двигателя МТА близкого номинальному.

5. Проведенный анализ существующих методик энергетической оценки показал необходимость учета и измерений коэффициента буксования и механических потерь трансмиссии при определении энергетических показателей методом измерений расхода топлива.

6. В результате экспериментальных исследований установлено:

- КПД трансмиссии движителей МТЗ-82, равный 0,92 (8% механических потерь), составляет 8,7% относительной погрешности измерений тяговой мощности при передвижении агрегата на бетонном покрытии (0% буксования);

- КПД трансмиссии ВОМ трактора МТЗ-82, равный 0,94 (6% механических потерь), составляет 6,65% относительной погрешности измерений потребляемой мощности при использовании имитатора нагружения ИТ-503.

7. Разработана усовершенствованная методика определения энергетических показателей на основе использования расходомеров топлива, обеспечивающая допустимую погрешность измерений, не превышающая требуемых по ГОСТ Р 52777-2007 значений.

8. Внедрение разработанной методики проведения энергетической оценки на основе измерений расхода топлива обеспечивает годовой экономический эффект 26602,76 руб (в расчете на среднегодовой план испытаний машин по данным Владимирской МИС).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Шмелев С.А. Приборы для измерения расхода топлива [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С., Казанский Д.В. //Сельский механизатор. –2012. – №6. – С.36-38. (0,30/0,19 п.л.).

2. Шмелев С.А. Методы и приборы для измерения расхода топлива при испытаниях сельскохозяйственной техники [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 12. – С.15-17. (0,31/0,20 п.л.).

3. Шмелев С.А. Анализ методов определения расхода топлива при испытаниях сельскохозяйственной техники [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Труды ГОСНИТИ. –2013. – Том 111. – С.56-57. (0,21/0,14 п.л.).

4. Шмелев С.А. Методические аспекты энергетической оценки сельскохозяйственной техники [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 10. – С.24-28. (0,61/0,39 п.л.).

5. Шмелев С.А. Экспериментальные исследования и сравнение методик проведения энергетической оценки сельскохозяйственной техники [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 1. – С.30-33. (0,37/0,24 п.л.).

6. Шмелев С.А. Теоретическое обоснование необходимости учета механических потерь и буксования при определении расходуемой прицепными машинами мощности методом измерения расхода топлива [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 11. – С.22-24. (0,34/0,22 п.л.).

Публикации в других изданиях

7. Шмелев С.А. Анализ технического уровня расходомеров дизельного топлива [текст] / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – №2(7). – с.64-65. (0,16/0,11 п.л.).

8. Шмелев С.А. Анализ методов оценки энергетических показателей сельскохозяйственных агрегатов на основе измерения расхода топлива / Буклагин Д.С., Шмелев С.А. // Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» 20-21 сентября 2011 года. г.Тамбов, ВНИИТиН, 2011 - с.192-194. (0,17/0,05 п.л.).

9. Шмелев С.А. Современные расходомеры топлива и их применение при энергетической оценке / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. Ч.1: материалы 5-ой международной научно-практической конференции «Агроинфо-2012» - Новосибирск, 2012. - с.233-235. (0,11/0,06 п.л.).

10. Шмелев С.А. Формирование и использование информационных ресурсов в системе испытаний сельскохозяйственной техники / Шмелев С.А., Казанский Д.В. // Задачи МИС Минсельхоза России в технической и технологической модернизации сельскохозяйственного производства: материалы международной научно-практической конференции – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 204 с. (0,08/0,05 п.л.).

11. Шмелев С.А. Методологические подходы к энергетической оценке сельскохозяйственной техники / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Сборник научных трудов 8-ой Международной научно-практической конференции «Инновационные разработки для АПК» 28-29 марта 2013 года. г. Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2013. - с.105-109. (0,32/0,20 п.л.).

12. Шмелев С.А. Энергооценка сельскохозяйственных агрегатов на основе расходомеров топлива/ Шмелев С.А., Буклагин Д.С. // Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина «Система технологий и машин для инновационного развития АПК России» 17-18 сентября 2013 года. г. Москва, ВИМ, 2013. – с. 139-143. (0,21/0,14 п.л.).

13. Многопоточный расходомер дизельного топлива [текст] **пат.145575 Рос. Федерация: МПК G01F 3/00 (2006.01)** / С.А. Шмелев; заявитель и патентообладатель С.А. Шмелев - №2014118848/28; заявл. 12.05.2014; опубл. 20.09.2014. Бюл. 26. - 2 с. (0,23 п.л.).

Подписано в печать _____ Формат 60×84/16. Гарнитура Таймс.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № _____.

Отпечатано в издательском центре ФГБНУ «Росинформагротех».

Адрес: 141261, Московская область, пос. Правдинский, ул. Лесная, 60. Тел. 993-44-04.