

УДК 004.75

UDC 004.75

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТРАКТОРОВ

MEASUREMENT OF FUEL CONSUMPTION DURING ENERGY ASSESSMENT OF TRACTORS

Трубицын Николай Владимирович
к.т.н., ведущий научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код 4809-6976
trubicin@yandex.ru

Trubitsyn Nikolay Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., leading researcher
RSCI SPIN-code 4809-6976
trubicin@yandex.ru

Таркивский Виталий Евгеньевич
д.т.н., и.о.директора филиала
Scopus Author ID =57221197691
tarkivskiy@yandex.ru

Tarkivsky Vitaly Evgenievich
Dr.Sci.Tech., Acting Director of the branch
Scopus Author ID =57221197691
tarkivskiy@yandex.ru

Трубицын Виктор Николаевич
научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код 7011-0027
viktor_knii@mail.ru
Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), Новокубанск, Краснодарский край, Россия

Trubitsyn Viktor Nikolaevich
scientific researcher
RSCI SPIN 7011-0027
viktor_knii@mail.ru
Novokubansk branch of F'SBSI "Rosinformagrotekh" (KubNIITiM), Novokubansk, Krasnodar region, Russia

В данной работе представлен анализ текущего состояния и перспектив развития технологий измерения расхода дизельного топлива при проведении энергетической оценки машинно-тракторных агрегатов. Исследование охватывает как российские, так и зарубежные разработки, с акцентом на инновационные цифровые технологии, применяемые в данной сфере. Особое внимание уделяется выявлению ключевых тенденций и направлений эволюции измерительных систем

This article presents an analysis of the current state and prospects for the development of technologies for measuring diesel fuel consumption during the energy assessment of machine and tractor units. The research covers both Russian and foreign developments, with an emphasis on innovative digital technologies used in this field. Special attention is paid to identifying key trends and directions of measurement systems evolution

Ключевые слова: РАСХОД ТОПЛИВА, ТРАКТОРНЫЙ АГРЕГАТ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, РАСХОДОМЕР, МАССА, ОБЪЕМ, ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВА

Keywords: FUEL CONSUMPTION, TRACTOR UNIT, ENERGY ASSESSMENT, FLOW METER, MASS, VOLUME, FUEL DENSITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-049>

Постановка проблемы

Энергетическая оценка сельскохозяйственных тракторов представляет собой всесторонний комплексный анализ энергозатрат, возникающих в процессе эксплуатации тракторов при выполнении различных технологических операций в сельскохозяйственном производстве.

<http://ej.kubagro.ru/2026/06/pdf/49.pdf>

Цель оценки — всестороннее изучение энергетической эффективности, и экономико-технической целесообразности использования тракторного агрегата на различных видах работ. В ходе анализа детально исследуются следующие параметры: степень утилизации мощности двигателя и удельный расход энергии на единицу работы. Также определяются оптимальные эксплуатационные режимы работы моторной установки. В конечном итоге, это помогает выявить пути повышения производительности, снижения затрат, а также определить степень соответствия тракторного агрегата современным требованиям эффективного сельского хозяйства.

Во время испытаний измеряют основные параметры, которые важны для оценки рентабельности и производительности техники:

- * Часовой расход топлива, который представляет собой количественный показатель, характеризующий количество топлива, потребляемого машинно-тракторным агрегатом (МТА) в течение одного часа. Этот параметр служит индикатором энергоэффективности МТА.

- * Удельные энергозатраты, показывающие сколько энергии тратится на единицу работы. Например, мегаджоули на гектар (МДж/га) или киловатт-часы на гектар (кВт·ч/га). Показатель помогает выявить, насколько рационально используются ресурсы.

- * Тяговое сопротивление — представляющее силу (кН), необходимую для перемещения, агрегатируемого с трактором навесного, полунавесного или прицепного оборудования. Данный показатель определяется совокупностью параметров почвы, тяговой характеристики трактора и конструктивными особенностями агрегатируемой техники.

- * Мощность на привод рабочих органов — особенно важна для машин, которые подключаются к валу отбора мощности (ВОМ) или гидросистеме трактора.

- * Скорость и производительность агрегата.

В рамках данного исследования был проведен комплексный анализ методов и технических средств, предназначенных для измерения расхода топлива при проведении энергетической оценки МТА. Особое внимание было уделено методологическим аспектам, связанным с калибровкой и валидацией измерительных приборов, а также с учетом факторов, влияющих на точность и надежность получаемых данных.

Цель исследования – оценка текущего состояния и уровня развития технических средств для измерения расхода топлива при проведении энергетической оценки тракторной техники, а также анализ влияния цифровых технологий на конструкцию и функциональные возможности указанных измерительных устройств.

Методика исследований – в работе применяются общенаучные методы, такие как системный анализ и синтез, а также компаративный и библиометрический анализ. Для исследования использованы данные официальных сайтов российских и зарубежных производителей измерительной техники и приборов, порталов федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, аналитических обзоров и научных публикаций.

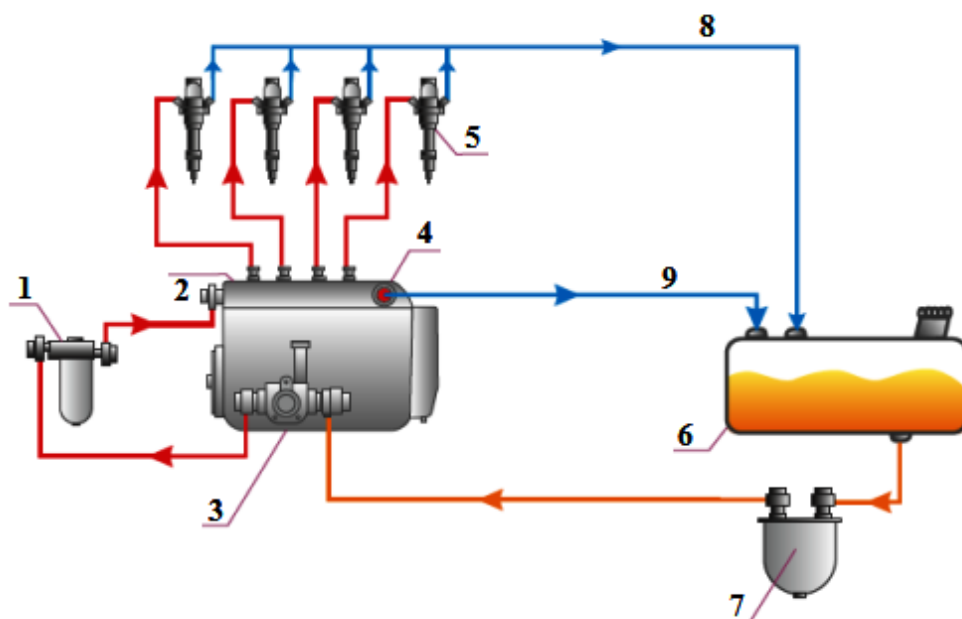
Результаты исследований и обсуждение

Определение расхода является одним из основных элементов совокупной оценки эффективности работы сельскохозяйственной техники. Наиболее объективная оценка данного показателя достигается посредством применения методов прямых измерений, которые обеспечивают высокую точность расчета энергозатрат на единицу площади или единицу урожая. Это позволяет проводить сравнительный анализ энергоэффективности не только отдельных машинно-тракторных агрегатов, но и сельскохозяйственных технологий в целом.

В соответствии с ГОСТ 34631—2019, при проведении испытаний подлежат измерению и фиксации следующие параметры [1]: масса или

объем топлива, израсходованного за период измерения; временной интервал измерения, фиксируемый в секундах; пройденное МТА расстояние, измеренное в метрах, при выполнении конкретной операции. Экспериментальные процедуры осуществляются на каждом режиме функционирования агрегата не менее чем в четырёхкратной повторности, с продолжительностью каждого измерения – не менее 20 секунд. Для повышения точности измерений применяется расходомер топлива, интегрированный в топливную систему двигателя. При этом, процесс подключения прибора не должен приводить к изменению давления перед топливоподкачивающим насосом свыше 10 кПа, что гарантирует стабильность и надёжность результатов испытаний.

На рисунке 1 показан пример широко распространенной классической схемы системы питания топливом дизельного двигателя, состоящей из топливного бака, фильтра грубой очистки (ФГО), топливоподкачивающего насоса низкого давления (ТННД), топливного насоса высокого давления (ТНВД) и форсунок. Традиционно ТННД подает в ТНВД больше топлива, чем требуется на любом из режимов работы двигателя. Избыток топлива из ТНВД и форсунок возвращается в топливный бак [2].



1 – фильтр тонкой очистки (далее ФТО), 2 – топливный насос высокого давления (далее ТНВД), 3 – Топливный насос низкого давления (далее ТННД), 4 – перепускной клапан, 5 – форсунки, 6 – топливный бак, 7 – фильтр грубой очистки (далее ФГО), 8 – излишки топлива (обратка) с форсунок, 9 – излишки топлива (обратка) с ТНВД

Рисунок 1 - Типовая схема топливной системы

Массовый расходомер обычно применяют для измерения расхода топлива при стендовых испытаниях. В полевых условиях используют расходомеры, которые определяют объем потребленного топлива. Счетчики для измерения объёмного расхода имеют два варианта исполнения: однокамерное и двухкамерное.

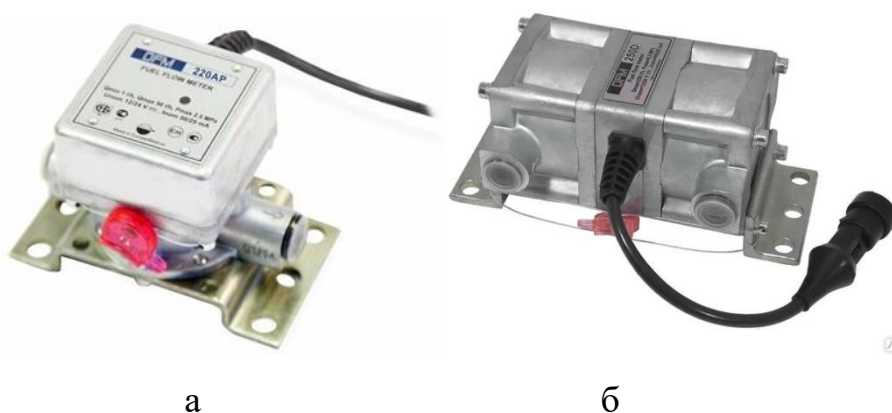
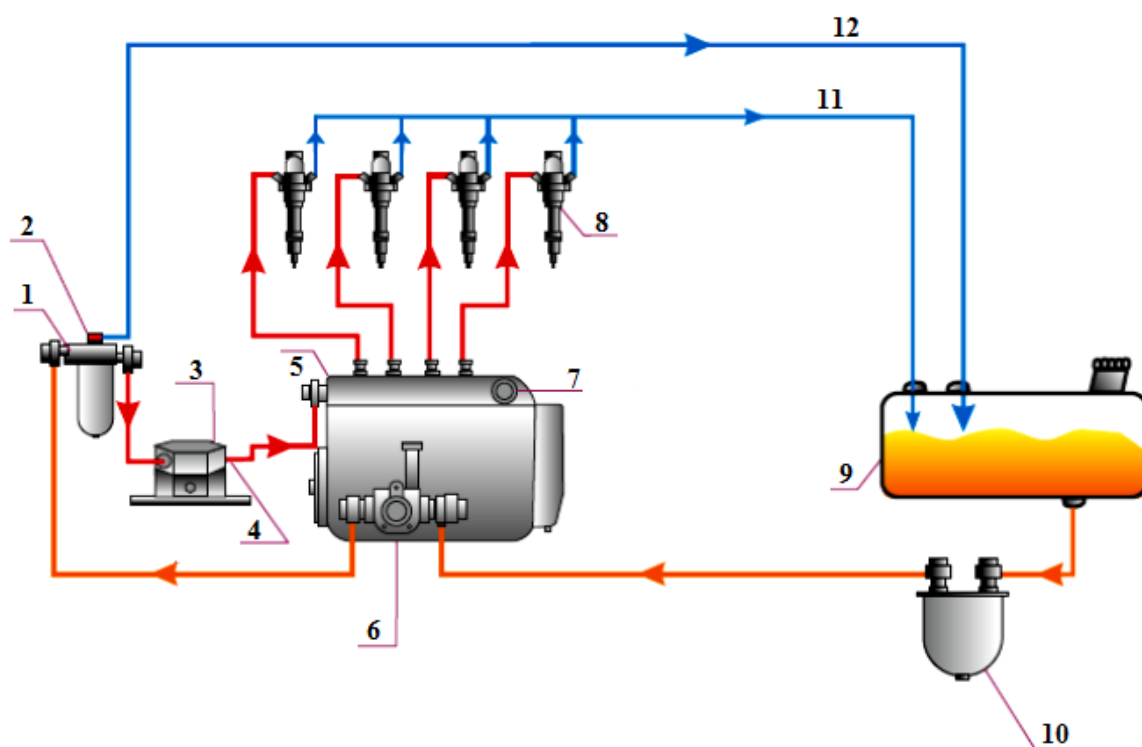


Рисунок 2 – Расходомеры, а – однокамерный, б - двухкамерный

Пример установки однокамерного счетчика расхода топлива по схеме «на давление» показан на рисунке 3. Для монтажа используют участок топливопровода, расположенный между фильтром тонкой очистки (ФТО) и входом ТНВД. Обратную линию двигателя нужно перестроить так, чтобы топливо циркулировало без участия ТНВД. Для этого топливопровод с выхода ТНВД («обратку») переносят на вход в ФТО, а сам выход ТНВД закрывают пробкой. Чтобы система работала корректно, на входе ФТО устанавливают перепускной клапан. Он поддерживает постоянное давление 1-1,5 атм. на участке от ФТО до входа ТНВД. Обычно используют штатный клапан, который уже установлен на двигателе. Чтобы система работала корректно, на входе ФТО устанавливают перепускной клапан. Он поддерживает постоянное давление 1-1,5 атм. на участке от ФТО до входа ТНВД. Обычно используют штатный клапан, который уже установлен на двигателе.

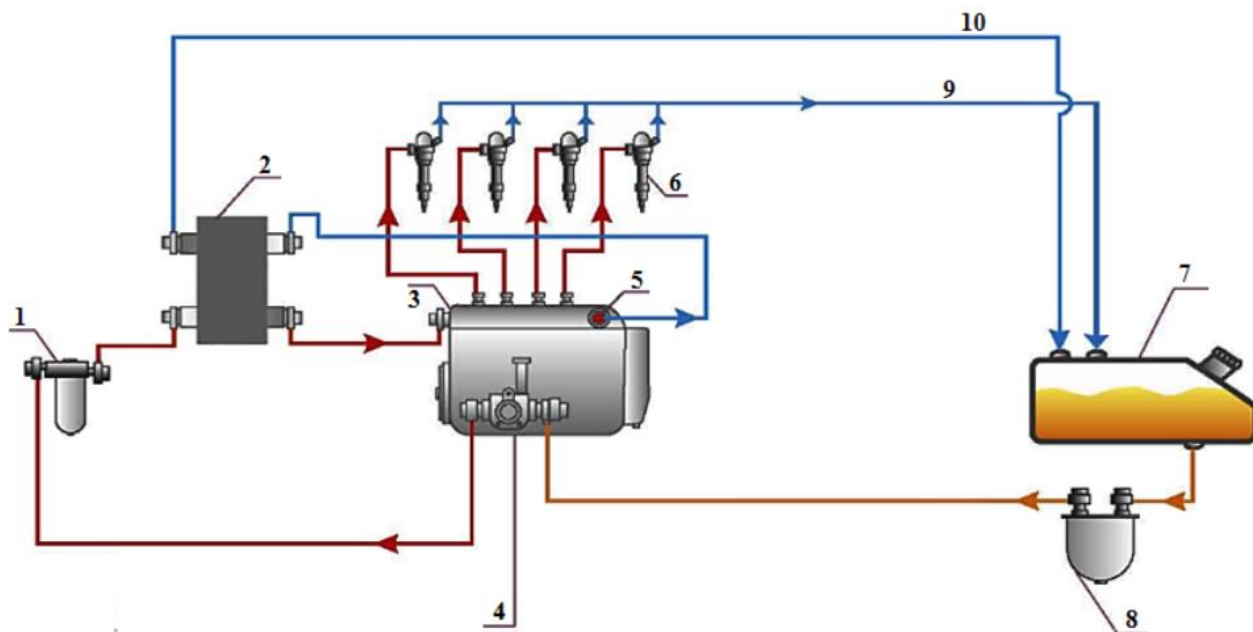


1 – ФТО, 2 – перепускной клапан, 3 – счетчик Direct, 4 – обратный клапан (опция), 5 – ТНВД, 6 – ТННД, 7 – пробка, 8 – форсунки, 9 – топливный бак, 10 – ФГО, 11 – излишки топлива (обратка) с форсунок, 12 – излишки топлива (обратка) с ФТО

Рисунок 3 - Установка однокамерного счетчика по схеме «на давление»

Двухкамерный счетчик измеряет разницу между подачей топлива и его сливом. Это дифференциальное измерение. При этом схема циркуляции

топлива в системе остается неизменной (рисунок 4). Камера подачи топлива счетчика устанавливается в разрыв топливной магистрали между ФТО и ТНВД, а обратная камера — в разрыв обратной магистрали. Расход топлива определяется как разница между измеренными потоками в этих камерах.



1 – ФТО, 2 – счетчик eurosens Delta, 3 – ТНВД, 4 – ТННД, 5 – перепускной клапан, 6 – форсунки, 7 – топливный бак, 8 – ФГО, 9 – излишки топлива (обратка) с форсунок, 10 – излишки топлива (обратка) с ТНВД

Рисунок 4 – Пример установки двухкамерного счетчика с подающей камерой на давление

Преимущества «дифференциальной» схемы измерения расхода топлива заключаются в том, что она не требует модификации существующей топливной системы.

Однако данная схема обладает рядом недостатков, включая более высокую стоимость реализации и увеличенную погрешность измерения расхода топлива.

Проблемы метрологии и пути их решения. В первых моделях расходомеров с «дифференциальной» схемой электроника вычисляла только

разницу между количеством импульсов от датчиков в камерах прямой подачи и слива топлива. При использовании таких расходомеров обнаружился серьезный методологический недостаток процесса измерения объема проходящего через него топлива. Выяснилось, что температура топлива значительно меняется из-за разницы температур в топливном баке и канале слива из ТНВД и форсунок. Этот эффект оказывал существенное влияние на точность и надежность измерений. Поэтому потребовались тщательный анализ и разработка корректирующих методик [3, 4, 7].

Было предложено несколько путей решения этой проблемы:

- при эксплуатации однокамерных расходомеров был установлен датчик температуры непосредственно перед расходомером. Это позволяло проводить корректировку измеренного объема топлива с учетом температурного коэффициента, что существенно повышало точность и надежность данных о расходе;

- в ходе эксплуатации двухкамерных расходомеров, было предложено использовать температурные датчики в обоих измерительных каналах для коррекции измеренного объема топлива. При использовании «дифференциальной» схемы расходомера, где выходные сигналы пропорциональны разнице между «прямым» и «обратным» потоками, измерение температуры не предоставляет возможности для точного определения реального расхода топлива. В связи с этим предложено внедрение одного температурного датчика и пластинчатого теплообменника для нивелирования температурных градиентов в измерительных каналах, что позволит повысить точность измерений [5].

Практическое применение. В рамках комплексных лабораторно-полевых исследований, проведенных на полях валидационного полигона КубНИИТиМ, направленных на проверку методик измерения расхода топлива, были задействованы расходомеры, оснащенные температурными датчиками и теплообменником. Полученные результаты продемонстриро-

вали высокую эффективность данной измерительной схемы, подтвердив ее работоспособность и надежность в реальных условиях эксплуатации.

Однако необходимо отметить, что добавление дополнительных элементов в измерительную систему существенно усложняет процесс инсталляции оборудования и влечет за собой увеличение количества коммуникационных кабелей. Данный аспект требует тщательного рассмотрения с точки зрения оптимизации логистических цепочек и минимизации потенциальных точек отказа в системе [7].

Таким образом, несмотря на техническую эффективность предложенного метода, его практическая реализация сопряжена с рядом конструктивных и эксплуатационных вызовов, требующих детального анализа и возможных модификаций для достижения оптимальной конфигурации измерительной системы. С прогрессом в области микроэлектроники возникла возможность интеграции в единый корпус измерительных камер расходомера, сенсоров температуры и микроконтроллера, что существенно повысило функциональность и надежность данных приборов. Примером таких расходомеров могут служить устройства, производимые инновационным предприятием Мехатроника (рисунок 5).



а – однокамерный Eurosens Direct, *б*- двухкамерный Eurosens Delta
Рисунок 5 – Расходомеры со встроенными датчиками температуры и микроконтроллерами

Данные счетчики топлива, разработанные для точного мониторинга объема нефтепродуктов, демонстрируют высокую адаптивность к климатическим условиям умеренного и холодного регионов. Их универсальность позволяет устанавливать оборудование, как на стационарных, так и на мобильных объектах, что способствует оптимизации учета расхода топлива, автоматизации управленческих процессов и контролю технологических параметров в различных отраслях сельского хозяйства.

Наличие микроконтроллера с энергонезависимой памятью в составе устройства обеспечивает возможность гибкой настройки расходомера. Инженер-испытатель, используя информационный интерфейс и подключаясь к датчику через свой компьютер, может получать доступ к ряду критически важных параметров:

- счетчик расхода топлива двигателем;
- мгновенный расход топлива двигателем;
- мгновенный расход в магистрали подачи;
- мгновенный расход в магистрали обратного слива топлива;
- счетчик расхода топлива в режиме "холостой ход";
- счетчик расхода топлива в режиме "номинальный";
- счетчик расхода топлива в режиме "перегрузка";
- и др.

Перечисленные параметры можно вывести на экран монитора (рисунок 6)

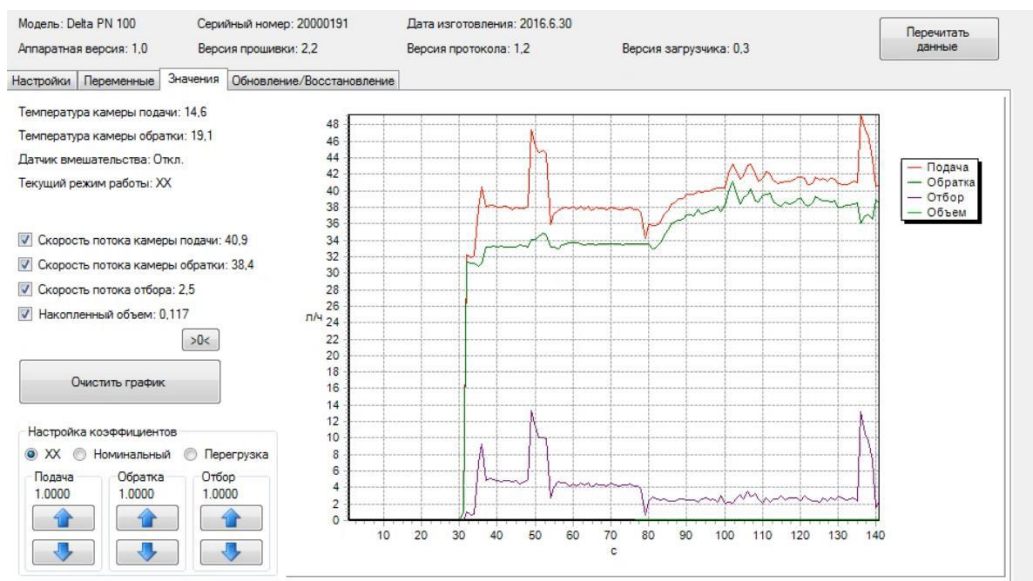


Рисунок 6 – Вывод на экран расхода «подачи», «обратки»
и разницы между ними

Современные достижения в сфере беспроводных коммуникационных технологий открывают новые горизонты для интеграции радиочастотных модулей в конструкцию расходомеров. Данная инновация существенно оптимизирует процесс инсталляции, устраняя необходимость прокладки кабелей для передачи данных. В зависимости от конфигурации беспроводной сети, существует перспектива создания распределенных измерительных систем, объединяющих датчики в единую сеть для централизованного мониторинга и анализа полученных данных.

Выводы

Анализ эволюции методов измерения расхода топлива при проведении энергетической оценки тракторов свидетельствует о значительном прогрессе в данной области. В частности, внедрение "интеллектуальных датчиков" расхода дизельного топлива, разработанных на базе современных микроконтроллеров, существенно повышает точность и оперативность проведения измерений. Эти датчики, интегрирующие сложные алгоритмы обработки данных и обладающие высокой степенью автоматизации, обеспечивают высокую надежность и достоверность получаемых результатов,

что является критически важным для повышения эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники. Включение в состав таких датчиков беспроводных модулей для передачи данных значительно упрощает и ускоряет процесс подготовки техники к проведению энергооценки.

Интеллектуальные датчики, оснащенные микроконтроллером, температурными сенсорами и энергонезависимой памятью, способны учитывать температурный коэффициент расширения топлива и его плотность при проведении измерений. Данная функциональность обеспечивает высокую точность определения массы израсходованного топлива, что соответствует требованиям ГОСТ 34631—2019.

Использованные источники

1. ГОСТ 34631-2019. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартинформ, 2020. – 8 С.
2. Датчики расхода топлива - URL: <https://eurosenstelematics.com/home-page/categories/kontrol-rashoda-topliva/eurosens-delta> (дата обращения 11.05.2026)
3. Трубицын Н.В. Измерительная информационная система для полевых испытаний сельскохозяйственной техники / Н.В. Трубицын, В.Е. Таркинский, Е.Е. Подольская // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 8. – С. 18-20.
4. Трубицын Н.В. Современные принципы измерения расхода топлива и первичные преобразователи для испытаний сельскохозяйственной техники / Н.В. Трубицын, В.Е. Таркинский // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 6. – С. 42-44.
5. Шмелев С.А. Обоснование интервалов определения регуляторных характеристик двигателей тракторов при определении энергетической оценки методом определения расхода топлива / С.А. Шмелев, Д.С. Буклагин // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 12. – С. 6-9.
6. Щитов С.В. Практическое применение методов оптимизации энергетических затрат при использовании средств механизации в АПК : Учебное пособие // С.В. Щитов, З.В. Кривуца, Е.Е. Кузнецов, Е.С. Поликутина ; Дальневосточ. Гос. Аграр. Ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2022. – 79 [1] с.
7. Таркинский В.Е. Программное обеспечение для тяговых испытаний тракторов и энергетической оценки сельскохозяйственной техники / В.Е. Таркинский, Н.В. Трубицын / «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК»: материалы XIII Международной научно-практической конференции интернет-конференции. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – С. 368–372.

References

1. GOST 34631-2019. Tehnika sel'skhozjajstvennaja. Metody jenergeticheskoy ocen-ki. – М.: Standartinform, 2020. – 8 S.
2. Datchiki rashoda topliva - URL: <https://eurosenstelematics.com/home-page/categories/kontrol-rashoda-topliva/eurosens-delta> (data obrashhenija 11.05.2026)

3. Trubicyn N.V. Izmeritel'naja informacionnaja sistema dlja polevyh ispytaniy sel'skoho-zhajstvennoj tehniki / N.V. Trubicyn, V.E. Tarkivskij, E.E. Podol'skaja // Teh-nika i obo-rudovanie dlja sela. – 2023. – № 8. – S. 18-20.

4. Trubicyn N.V. Sovremennye principy izmerenija rashoda topliva i pervichnye preobrazovateli dlja ispytaniy sel'skoho-zhajstvennoj tehniki / N.V. Trubicyn, V.E. Tarkivskij // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2013. – № 6. – S. 42-44.

5. Shmelev S.A. Obosnovanie intervalov opredelenija reguljatornyh harakteristik dvigatelej traktorov pri opredelenii jenergeticheskoy ocenki metodom opredelenija ras-hoda topliva / S.A. Shmelev, D.S. Buklagin // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2014. – № 12. – S. 6-9.

6. Shhitov S.V. Prakticheskoe primenenie metodov optimizacii jenergeticheskikh za-trat pri ispol'zovanii sredstv mehanizacii v APK : Uchebnoe posobie // S.V. Shhitov, Z.V. Krivuca, E.E. Kuznecov, E.S. Polikutina ; Dal'nevostoch. Gos. Agrar. Un-t. – Blago-veshensk : Dal'nevostochnyj GAU, 2022. – 79 [1] s.

7. Tarkivskij V.E. Programmnoe obespechenie dlja tjagovyh ispytaniy traktorov i jener-geticheskoy ocenki sel'skoho-zhajstvennoj tehniki / V.E. Tarkivskij, N.V. Trubicyn / «Nauchno-informacionnoe obespechenie innovacionnogo razvitija APK»: materialy XIII Mezhdunarod-noj nauchno-prakticheskoy konferencii internet-konferencii. – M.: FGBNU «Rosinforma-groteh», 2021. – S. 368–372.