

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТНЫХ И ТОПЛИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ CUMMINS ISBE 6.7 300 В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. Ф. Курнос

В настоящее время повышение эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения достигается за счет применения ресурсосберегающих технологий использования техники, цифровизации производственной и технической эксплуатации машин, совершенствования методов оценки их технического состояния, а также использования альтернативных видов топлива. Известно, что эффективность эксплуатации машин в большей степени зависит от эффективности работы их двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в то же время оценка мощностных и топливных показателей работы ДВС в условиях эксплуатации не проводится. Целью исследования является совершенствование способа определения мощностных и топливных показателей работы дизельного ДВС за счет обеспечения номинальной его загрузки силами сопротивления тормозных механизмов при движении автомобиля. Экспериментальные исследования проводили на грузовом автомобиле КАМАЗ-65115 с установленным на нем ДВС Cummins ISBe 6.7 300. Регистрировали реакции правой опоры ДВС и правой опоры коробки перемены передач, частоту вращения коленчатого вала и мгновенный расход топлива. По результатам измерений определяли крутящий момент и эффективную мощность ДВС, часовой и удельный расход топлива. В результате установлено, что при номинальной частоте вращения коленчатого вала величина крутящего момента ДВС составила 841 Нм, а эффективной мощности – 219,6 кВт, что соответствует паспортным характеристикам испытываемого ДВС. Часовой расход топлива при номинальной частоте вращения КВ достиг значения 55,7 кг/ч, а удельный расход топлива – 254 г/кВт·ч. Таким образом, предложенный метод позволяет определять мощностные и топливные параметры ДВС непосредственно в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: реакции опор, эффективный крутящий момент, эффективная мощность, часовой расход топлива, удельный расход топлива.

Повышение объема производства сельскохозяйственной продукции невозможно без комплексного технического оснащения агропромышленного комплекса. В настоящее время эффективность использования транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения достигается за счет ряда решений: внедрение и совершенствование ресурсосберегающих технологий использования техники, внедрение систем точного земледелия и дистанционного мониторинга сельскохозяйственных машин, совершенствование системы технического сервиса, в том числе за счет применения цифровых решений, совершенствование методов диагностирования и своевременного устранения неисправностей транспортно-технологических машин, а также за счет использования альтернативных видов топлива.

Применение ресурсосберегающих технологий и новых образцов техники для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом почвенно-климатических условий позволяет скомплектовать рациональный состав машинно-тракторного парка [1]. Использование машин с цифровым управлением, а также применение современного программного обеспечения для разработки, анализа и прогнозирования хода реализации выбранной технологии позволяют достичь максимальной эффективности работы машин при возделывании сельскохозяйственных культур [2, 3].

Внедрение цифровых технологий и систем управления машинно-тракторным парком повысило точность выполнения технологических операций, обеспечило должную информативность производственной эксплуатации машин,



необходимую для своевременного принятия решений [4]. Предложенные мероприятия улучшили технико-экономическую эффективность использования машинно-тракторного парка за счет оптимизации затрат на используемые ресурсы, повышения производительности труда и снижения энергоемкости процессов и стоимости инвестиций на единицу произведенной продукции [5].

Совершенствование системы технического сервиса дилерских и сельскохозяйственных предприятий на основе внедрения цифровых средств бортового и дистанционного диагностирования, цифровизации процессов расхода запасных частей и материалов, а также внедрения роботизированных систем, использования аддитивных систем и цифровых двойников в технологическом процессе технического обслуживания и ремонта существенно повышает эффективность технической эксплуатации машин [6, 7, 8].

Сокращения эксплуатационных затрат возможно достичь за счет перехода на альтернативные виды топлива [9, 10]. Необходимость установки дополнительного оборудования в систему питания топливом двигателей и повышенные затраты на производство альтернативных видов топлива существенно увеличивают срок окупаемости предлагаемых решений. Поэтому использование газомоторного топлива и перевод работы двигателя в газодизельный режим работы является наиболее перспективным [11]. Данный метод получил наибольшее распространение, а его развитие ограничивается только инфраструктурными сложностями транспортировки и заправки газа.

Несмотря на комплексное развитие производственной и технической эксплуатации транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения, существенно повышающих эффективность использования машин, обеспеченность предприятий аграрного сектора основными видами техники остается низкой, что оказывает основное влияние на повышение годовой наработки [12]. Интенсивное использование машин приводит к повышению числа отказов [13], более 35% которых приходится на двигатель внутреннего сгорания. Поэтому своевременная диагностика машин в условиях эксплуатации актуальна и практически значима.

Оценка технического состояния современных ДВС осуществляется на основе диагности-

ческих параметров, измеренных встроенной системой диагностирования. Получаемый объем диагностических данных частую не позволяет однозначно установить причину отказа. Для повышения эффективности диагностирования предлагаются авторские методики [15, 16], которые оценивают техническое состояние отдельных систем и механизмов. Анализ литературных источников позволил установить, что комплексная оценка технического состояния двигателя, основанная на определении энергетических показателей, не проводится.

Известно, что эффективность эксплуатации машин в большей степени зависит от эффективности работы ДВС, которая оценивается либо расчетным путем по величине цикловой подачи топлива [17], либо определяется динамическим способом [18]. Ряд недостатков указанных способов не позволил им найти широкое применение. Тормозной метод в условиях эксплуатации не используется вследствие высокой трудоемкости и необходимости приобретения дорогостоящих тормозных стендов, а существующие предложения по совершенствованию тормозного метода проработаны на уровне идеи [19].

Известен способ определения эффективной мощности ДВС по величине реакций опор двигателя при работе в режиме свободного разгона [20]. Данный способ позволяет определить эффективную мощность ДВС, но предлагаемый метод загрузки ДВС не обеспечивает достижение номинального значения. Загрузку двигателя до номинальной эффективной мощности в условиях эксплуатации можно осуществить силами сопротивления тормозных механизмов непосредственно при движении машины. Оценка номинальной эффективной мощности ДВС в условиях производственной эксплуатации позволит оперативно установить его работоспособность и повысить эффективность использования транспортно-технологических машин в целом.

Целью исследования является совершенствование способа определения мощностных и топливных показателей работы дизельного ДВС за счет обеспечения номинальной его загрузки силами сопротивления тормозных механизмов при движении автомобиля.

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили на грузовом автомобиле КАМАЗ-65115

с рядным шестицилиндровым двигателем Cummins ISBe 6.7 300, номинальной мощностью 300 л. с. (220 кВт). На момент проведения экспериментальных исследований пробег с начала эксплуатации автомобиля составлял 254 480 км.

На автомобиль установлена девятиступенчатая механическая коробка перемены передач (КПП) ZF 9S1315. В правую опору ДВС и правую опору КПП были установлены тензометрические датчики К-Р-16А (рис. 1) таким образом, чтобы силы, передаваемые от ДВС и КПП на раму автомобиля, полностью воспринимались тензометрическими датчиками.

Сигналы от тензометрических датчиков поступали в преобразователи сигнала КСК1 (рис. 2), где усиливались до величины 0...10 В. Далее сигналы поступали в блок автомобильной диагностики АМД-4Д, где преобразовывались в цифровой вид. Частоту вращения коленчатого вала, мгновенный расход топлива и текущее положение педали акселератора регистри-

ровали при помощи мультимарочного сканера Scanmatik 2 Pro, подключившись к встроенной системе диагностирования. Для последующей синхронизации данных, получаемых блоком автомобильной диагностики и мультимарочным сканером, в контакт сигнального провода педали акселератора устанавливали щуп-иглу Диамаг 2, подключенную к блоку автомобильной диагностики АМД-4Д. Регистрация и последующая обработка данных происходила на персональном компьютере.

Порядок проведения экспериментов. Устанавливали элементы измерительного комплекса на автомобиль, включали блок автомобильной диагностики АМД-4Д, мультимарочный сканер Scanmatik 2 Pro и компьютер. Пускали и прогревали двигатель до температуры охлаждающей жидкости 80 °С. Сверяли показания штатного тахометра с показаниями частоты вращения КВ, установленной мультимарочным сканером Scanmatik 2 Pro в диапазоне от минимальной до максимальной частоты вращения КВ с ша-

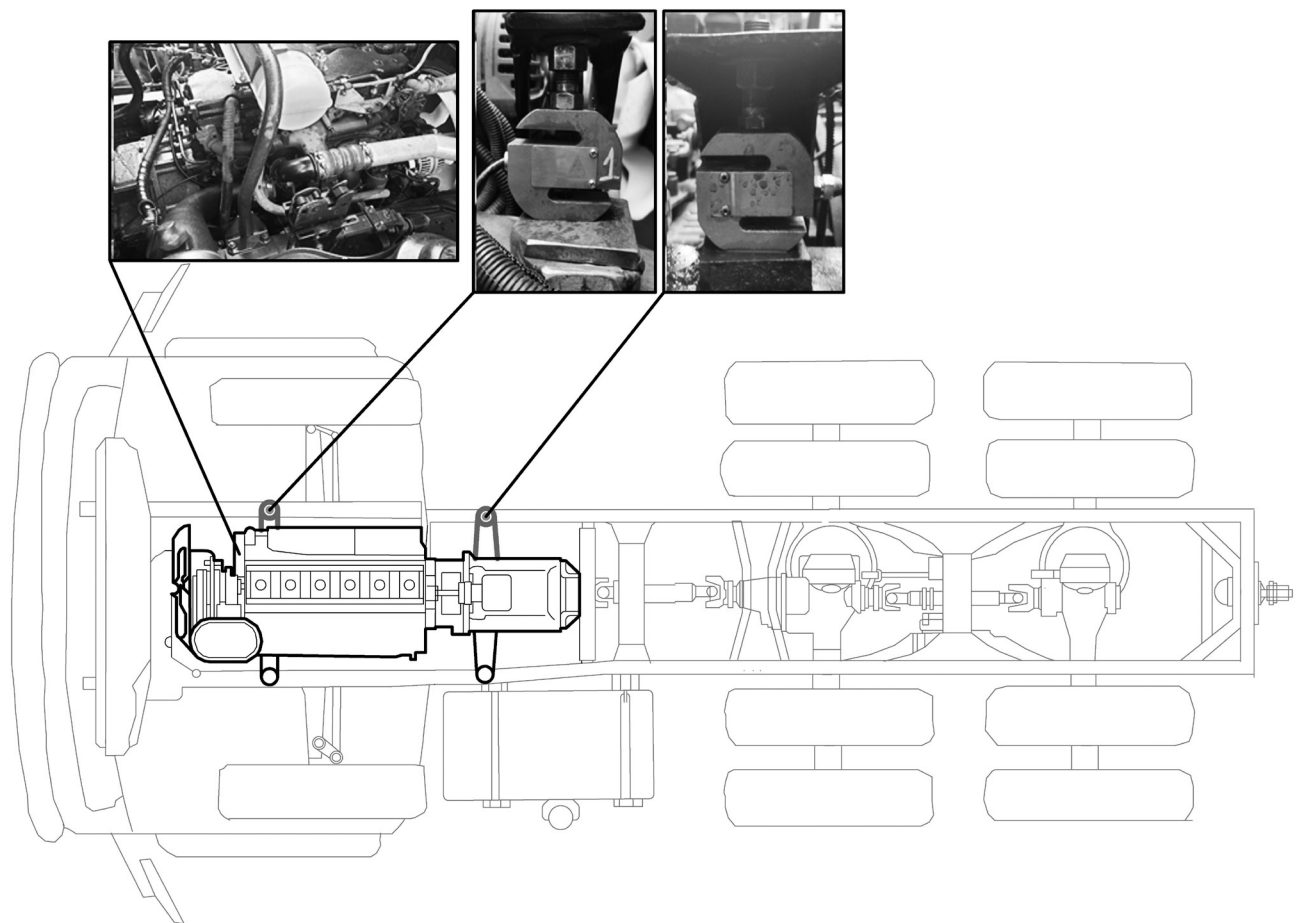


Рис. 1. Схема установки тензометрических датчиков



гом измерения 100 мин^{-1} . Начинали движение, включали вторую передачу, устанавливали максимальную подачу топлива в двигатель. Силой нажатия на педаль рабочей тормозной системы (РТС) регулировали величину сил сопротивления вращению колес и, соответственно, загрузку двигателя до момента достижения частоты вращения коленчатого вала 2200 мин^{-1} при максимальной подаче топлива. Затем от-

пускали педаль РТС, устанавливали максимальную частоту вращения КВ при движении автомобиля на второй передаче и пятикратно повторяли измерения при загрузке двигателя указанным способом.

Результаты исследований

Результаты измерений величины реакции на опорах представлены на рисунке 3.

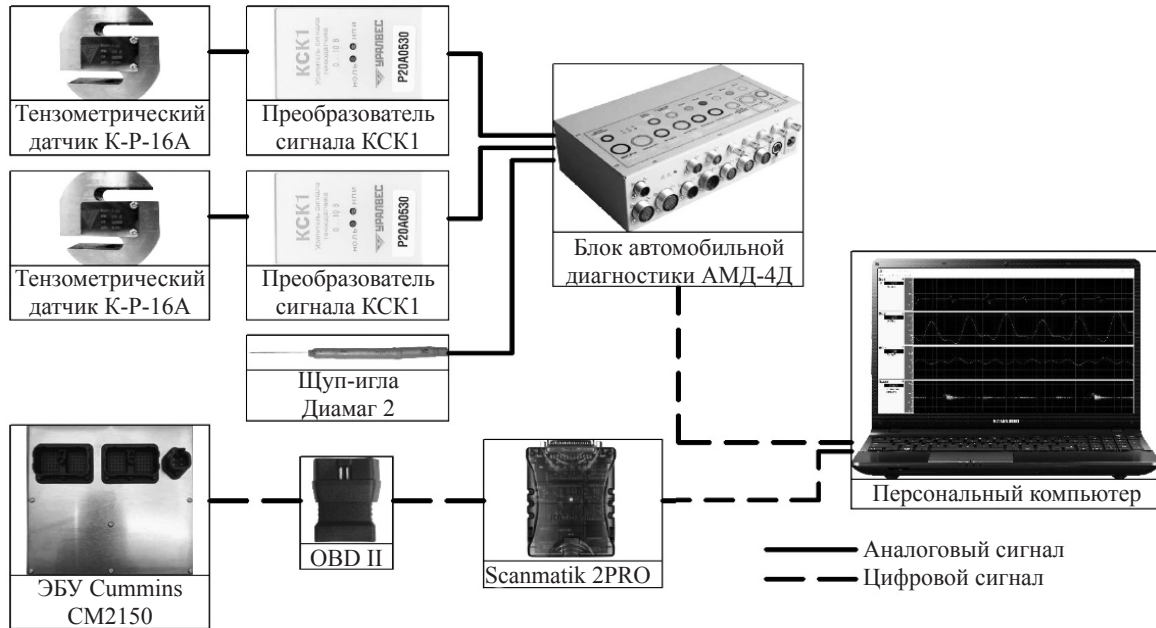
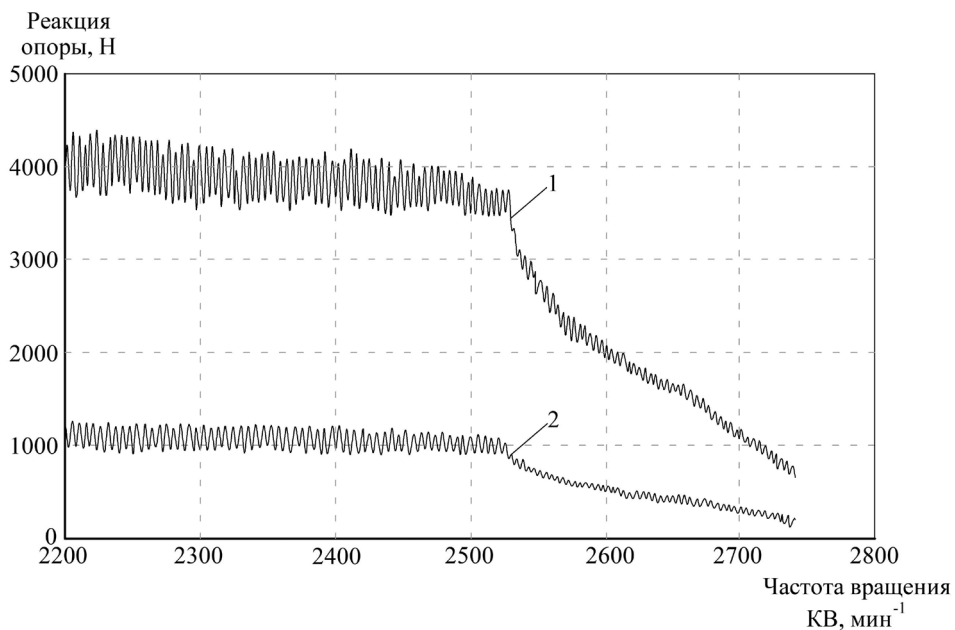


Рис. 2. Структура измерительного комплекса



1 – реакция правой опоры КПП; 2 – реакция правой опоры ДВС

Рис. 3. Величина реакций опор при загрузке двигателя силами тормозных механизмов

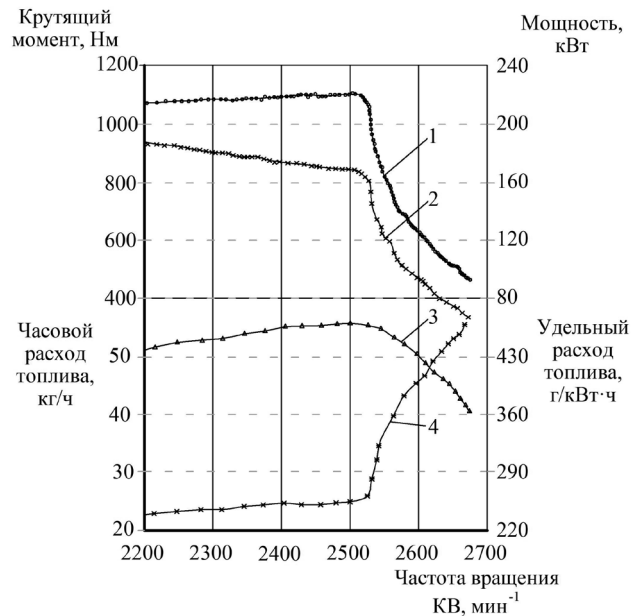
Анализ данных графиков показывает, что при равномерном движении автомобиля КАМАЗ-65115 на второй передаче и установленной частоте вращения КВ 2740 мин⁻¹ реакции опоры КПП составляют 730 Н, опоры ДВС – 160 Н. При плавном нажатии на педаль РТС реакции опоры КПП и опоры ДВС увеличиваются и достигают значений 3624 Н и 939 Н соответственно при частоте вращения коленчатого вала 2529 мин⁻¹. При номинальной частоте вращения коленчатого вала 2500 мин⁻¹ реакции опоры КПП и опоры ДВС составляют 3850 Н и 1000 Н соответственно.

При последующей загрузке ДВС до величины, соответствующей частоте вращения КВ 2200 мин⁻¹ и полной подаче топлива, реакции опоры КПП и реакции опоры ДВС достигают значений 4020 Н и 1112 Н соответственно.

Изменение эффективного крутящего момента и эффективной мощности при загрузке двигателя силами сопротивления тормозных механизмов представлено на рисунке 4.

Анализ графиков (рис. 5) показывает, что эффективный крутящий момент ДВС изменяется с 220,5 Нм до 799,5 Нм при уменьшении частоты вращения КВ с 2740 мин⁻¹ до 2527 мин⁻¹. Эффективная мощность ДВС изменяется с 63,2 кВт до 211,6 кВт при аналогичном изменении частоты вращения КВ. При номинальной частоте вращения коленчатого вала 2500 мин⁻¹ эффективный крутящий момент ДВС достигает величины 841 Нм, а эффективная мощность –

219,6 кВт. При последующей загрузке ДВС до величины, соответствующей частоте вращения КВ 2200 мин⁻¹ при полной подаче топлива, эффективный крутящий момент увеличивается до 930 Нм, эффективная мощность снижается до 214,3 кВт.



1 – эффективная мощность; 2 – эффективный крутящий момент; 3 – часовой расход топлива; 4 – удельный расход топлива

Рис. 5. Скоростная характеристика ДВС Cummins ISBe 6.7 300

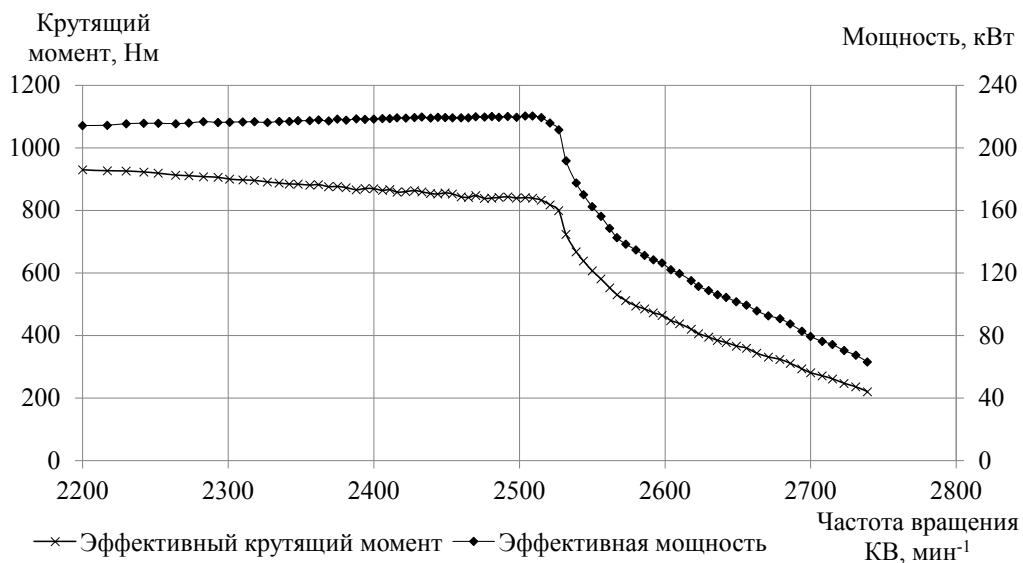


Рис. 4. Изменение эффективного крутящего момента и эффективной мощности при загрузке двигателя силами сопротивления тормозных механизмов



Используя полученные данные, а также измеренные значения часового расхода топлива, была построена скоростная характеристика двигателя (рис. 5) в диапазоне частоты вращения КВ 2200...2675 мин⁻¹.

На основании данных рис. 6 можно сделать вывод, что часовой расход топлива изменяется от 40,5 кг/ч при частоте вращения КВ 2675 мин⁻¹ до 55,8 кг/ч при номинальной частоте вращения КВ. Удельный расход топлива достигает значения 468,5 г/кВт·ч при частоте вращения КВ 2675 мин⁻¹ и резко снижается до 254 г/кВт·ч при номинальной частоте вращения КВ. При дальнейшей загрузке ДВС, соответствующей частоте вращения КВ 2200 мин⁻¹ при полной подаче топлива, часовой расход топлива снизился до 51,2 кг/ч, а удельный – до 238,7 г/кВт·ч.

Выводы

Существующие методы повышения эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения нашли широкое распространение. В то же время оценка мощностных и топливных показателей работы ДВС в условиях эксплуатации проводится расчетными методами по величине цикловой подаче топлива, а эффективная мощность и эффективный крутящий момент в условиях эксплуатации не определяются. Проведенные испытания двигателя Cummins ISBe 6.7 300 при загрузке силами сопротивления тормозных механизмов во время движения автомобиля позволили установить, что номинальная мощность ДВС составила 219,6 кВт, что соответствует паспортным данным. Крутящий момент при номинальной частоте вращения КВ достиг значения 841 Нм, часовой расход топлива – 55,7 кг/ч, а удельный расход топлива – 254 г/кВт·ч. Предложенный способ оценки мощностных и топливных показателей ДВС позволяет создать условия максимальной загрузки двигателя без использования дополнительных загрузочных устройств, что облегчает его использование в условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Комплектация тракторного парка для ресурсосберегающих технологий / Л. И. Высоккина, Г. Г. Шматко, С. А. Овсянников [и др.]. // Сельский механизатор. – 2023. – № 4. – С. 4–5. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-4-4-5.

2. Development of Resource Conservation Technologies and Complexes of Machines for Cultivation of Vegetable Crops / U. Yusubova, M. Bayramov, V. Babayev [et al.] // Bulletin of Science and Practice. – 2024. – Vol. 10. – №. 2. – P. 65–72. – DOI 10.33619/2414-2948/99/08.

3. Technological and technical improvement of crop cultivation processes / G. G. Maslov, N. A. Rinas, E. M. Yudina [et al.] // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. – 2020. – Vol. 11. – №. 8. – P. 118. – DOI 10.14456/ITJEMAST.2020.148.

4. Цифровые технологии и системы управления сельскохозяйственным производством : аналитический обзор / Д. С. Буклагин, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.]. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 88 с.

5. Эффективность применения элементов координатного земледелия при производстве озимой пшеницы / Н. П. Мишуров, Д. А. Петухов, С. А. Свиридова [и др.]. // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 8(302). – С. 44–48. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-8-44-48.

6. Иовлев, Г. А. Технический сервис в сельском хозяйстве и процесс цифровизации / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина, В. С. Зорков // Аграрное образование и наука. – 2019. – № 2. – С. 7.

7. Цифровизация в сфере технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники : аналитический обзор / И. Г. Голубев, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.]. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 80 с.

8. Перспективные направления цифровизации в сфере технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / И. Г. Голубев, В. В. Быков, М. И. Голубев [и др.]. // Технический сервис машин. – 2023. – Т. 61. – № 4(153). – С. 18–25. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-4-18-25.

9. Совершенствование процессов распыливания и смесеобразования при работе дизеля на смесевых биотопливах / В. А. Марков, А. С. Кулешов, В. А. Неверов [и др.]. // Двигателестроение. – 2021. – № 1(283). – С. 3–12.

10. Расчет экономического эффекта перевода техники на альтернативные виды топлива с использованием информационных технологий / М. А. Степаненко, С. Г. Шматко, Г. Г. Шматко [и др.]. // Сельский механизатор. – 2022. – № 4. – С. 4–5.

11. Пилипенко, А. В. Развитие методов энергосбережения в российском сельскохозяйственном производстве / А. В. Пилипенко // *Естественные и технические науки*. – 2020. – № 12(150). – С. 248–254. – DOI 10.25633/ETN.2020.12.15.

12. Ибрагимов, А. Г. Обеспеченность сельскохозяйственной техникой сельскохозяйственного производства России / А. Г. Ибрагимов, В. Г. Борулько, И. П. Прохоров // *Аграрная наука*. – 2022. – № 3. – С. 66–69. – DOI 10.32634/0869-8155-2022-357-3-66-69.

13. Долгушин, А. А. Статистический анализ отказов тракторов «Кировец» в условиях Новосибирской области / А. А. Долгушин, Р. В. Чернухин, Т. И. Кидло // *Технический сервис машин*. – 2021. – № 4(145). – С. 103–109. – DOI 10.22314/2618-8287-2021-59-4-103-109.

14. Ерохин, М. Н. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники / М. Н. Ерохин, А. С. Дорохов, Ю. В. Катаев // *Агроинженерия*. – 2021. – № 2(102). – С. 45–50. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50.

15. Диагностирование двигателя по количественному и качественному показателю прорыва картерных газов / Н. А. Баганов, В. А. Алексеев, Д. А. Сидельников [и др.]. // *Технический сервис машин*. – 2023. – № 1(150). – С. 13–20. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-13-20.

16. Битюков, М. В. Исследование баланса энергий при изменении технического состояния топливного насоса машин сельскохозяйственного назначения при использовании тестового диагностирования / М. В. Битюков, А. В. Гриценко // *АПК России*. – 2024. – Т. 31. – № 2. – С. 185–195. – DOI 10.55934/2587-8824-2024-31-2-185-195.

17. Баширов, Р. М. Сравнительный анализ методик определения механического КПД автотракторных дизелей / Р. М. Баширов, Ф. Р. Сафин // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 2(50). – С. 95–102. – DOI 10.31563/1684-7628-2019-50-2-95-103.

18. Новиков, А. В. Определение мощности дизельного двигателя динамическим методом в производственных условиях / А. В. Новиков, Д. А. Жданко, Т. А. Непарко // *Агропанорама*. – 2019. – № 1(131). – С. 30–33.

19. Теловов, Н. К. Стенд для испытания двигателей внутреннего сгорания / Н. К. Теловов, Х. А. Абдулмажидов // *Агропродовольственная экономика*. – 2020. – № 5. – С. 20–28.

20. Патент РФ № 2669224 С2. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания / Ю. А. Гуськов, А. Ф. Курносов. – Бюл. № 22.

Курносов Антон Федорович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ.

E-mail: anton_kurnosov@mail.ru.

* * *