

На правах рукописи

МЕДВЕДЕВ ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С ГАЗОДИЗЕЛЬНОЙ
СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2015

Работа выполнена на кафедре эксплуатации машин и оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Казанский ГАУ)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Халиуллин Фарит Ханафиевич.

Официальные оппоненты: Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»

Бибенин Евгений Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры Товароведение и менеджмент качества ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет»

Ведущее предприятие: ФГБОУ ВПО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита состоится «24» сентября 2015 г. в 14 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ДМ 220.003.04 при ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина», ФГБОУ ВПО Казанский ГАУ по адресу: 420011, г. Казань, ул. Р. Гареева, 62, ауд. 213.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ и на сайте http://www.bsau.ru/science/dissertation_council/d4/

Автореферат разослан «___» _____ 2015 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Мударисов
Салават Гумерович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Все основные технологические процессы сельскохозяйственного производства базируются на применении машинно-тракторного агрегата (МТА). Основной задачей сельского хозяйства является получение высококачественной продукции при сопоставимых с зарубежными производителями значениях ее себестоимости. Производство сельскохозяйственной продукции включает в себя ряд технологических процессов: обработка почвы, посев, применение средств защиты, уборка урожая и транспортировка продукции. Основная доля затрат при этих процессах приходится на потребляемое МТА топливо (25...30%), поэтому снижение доли этой составляющей переводом энергетических установок на более дешевые альтернативные виды топлива является перспективной задачей.

Отличительными особенностями технологических операций, выполняемых МТА, является неустановившийся характер нагрузки на валу двигателя и, как следствие, ухудшение эффективных показателей: на 15...20% потери мощности и на 20...25% увеличение расхода топлива. Применение новых или модернизация существующих конструктивных схем систем и механизмов двигателя, имеющих согласованные с условиями эксплуатации параметры, позволит улучшить показатели эффективности использования МТА.

Технологические процессы почвообработки оцениваются агротехническими, энергетическими и экономическими показателями, и при этом нужно учитывать эффективность сельскохозяйственных машин и энергетических средств. В имеющихся средствах механизации сельскохозяйственного производства необходимо повышение эффективности их использования. В связи с этим работа, направленная на повышение эффективности использования МТА является актуальной. Государственный регистрационный номер темы научных исследований во ВНИИЦентре 01201562248.

Степень разработанности. В имеющихся трудах ученых недостаточно полно исследованы влияние условий функционирования МТА с энергетической установкой с газодизельным циклом на ее показатели использования. В связи с этим, создание математических моделей, описывающих изменения эффективных показателей энергетической установки трактора МТЗ-82 на газомоторном топливе (мощность, часовой расход топлива, часовой расход газа и удельный расход топлива) в составе МТА при работе в неустановившихся режимах является востребованной задачей.

Цель работы. Повышение эффективности использования трактора МТЗ-82 в составе почвообрабатывающего агрегата за счет перевода его энергетической установки на функционирование по газодизельному циклу.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие задачи исследований:

1. Провести анализ влияния неустановившегося характера нагрузки на показатели использования МТА и определить возможные пути их улучшения.
2. Разработать математическую модель изменения эффективных показателей энергетической установки МТА при работе на газомоторном топливе для неустановившегося характера внешней нагрузки в условиях функционирования.

3. Создать экспериментальную установку для определения динамических характеристик двигателя с дизельной и газодизельной системой подачи топлива, с возможностью имитации нагрузки, создаваемой сельскохозяйственным агрегатом.
4. Исследовать работу МТА на базе трактора МТЗ-82 с дизельной и газодизельной системами подачи топлива при поверхностной обработке почвы.
5. Провести технико-экономическую оценку эффективных показателей МТА.

Объект исследования. Трактор МТЗ-82 с газодизельной системой подачи топлива в агрегате с культиватором КПС-4.

Предмет исследования. Эффективные показатели дизеля Д-243 с газодизельной системой подачи топлива в условиях неустановившейся нагрузки при поверхностной обработке почвы.

Методы и методика исследования. При исследовании условий функционирования МТА на базе трактора МТЗ-82 были использованы методы математического анализа и основные законы математического моделирования динамических систем, обеспечивающих аналитическое описание эффективного использования МТА при выполнении технологических процессов обработки почвы с газодизельной системой подачи топлива, методики лабораторных и полевых исследований энергетических установок МТА и методы математической статистики для обработки полученных результатов.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту.

1. Аналитические зависимости влияния параметров неустановившегося характера нагрузки на изменения эффективных показателей энергетической установки МТА.
2. Экспериментальная установка для исследования эффективных показателей дизеля, работающего с дизельной и газодизельной системой подачи топлива, позволяющая имитировать как стационарные, так и неустановившиеся режимы работы, с заданными параметрами.
3. Закономерности изменения эффективных показателей энергетической установки на базе трактора МТЗ-82 при работе в неустановившихся режимах при газодизельной системе подачи топлива в полевых условиях.

Приоритет технических решений подтверждена 1 патентом РФ на полезную модель (№ 66526) и 1 свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2014662128).

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Получена новая математическая модель, позволяющая определить влияние степени согласованности динамических параметров энергетической установки с характером неустановившейся нагрузки на эффективные показатели МТА в условиях эксплуатации с газодизельным энергосредством.
2. Создана экспериментальная установка для исследования двигателей с возможностью воспроизведения тестовых нагрузок для определения их динамических характеристик в виде коэффициентов дифференциальных уравнений и испытаний для оценки изменения эффективных показателей для характерных для технологических операций МТА нагрузок.
3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют практическую значимость для конструкторских и эксплуатирующих организаций при создании, конвертации и перевода в газодизельный режим дизеля.

4. Результаты исследований являются обоснованием для перевода дизеля тракторов МТЗ-82 на газодизельный режим при использовании их в технологических операциях (именно из-за высокой неравномерности тягового сопротивления машин).

5. Полученные результаты исследования внедрены в ООО Агрофирма «Колос», ООО «Центр диагностики двигателей внутреннего сгорания», а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ» и ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА».

Публикации.

Основное содержание научной работы опубликовано: в 12 статьях, в том числе 3 – из перечня ведущих периодических изданий, определенных ВАК Министерства образования и науки РФ, а также получен 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ЧГСХА (Чебоксары 2001); в вестнике Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горякина (Москва 2007); научный потенциал - аграрному производству: материалы всероссийской научно-практической конференции посвященной 450-летию вхождения Удмуртии в состав России (Ижевск 2008); современные технические вопросы агропромышленного комплекса: материалы всероссийской научно-практической конференции (Казань 2008); на международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию института механизации и технического сервиса казанского государственного аграрного университета, “Инженерная наука - агропромышленному комплексу” (Казань 2010); в журнале «Механизация и электрификация сельского хозяйства» (Москва 2010); на научно-практической конференции, посвященной 90-летию КГАУ” (Казань 2012); в вестнике Казанского государственного аграрного университета (Казань 2014); European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences (Vienna, Austria 2014); International Conference «Global Science and Innovation» (USA, Chicago 2014); Science and Education (Germany 2014); 10th International scientific conference «European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches» (Germany 2014);

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Материал изложен на 139 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу, 69 иллюстраций. Список литературы состоит из 124 наименований, из них 8 на иностранных языках.

Степень достоверности результатов. Достоверность подтверждена теоретическими и экспериментальными исследованиями в лабораторных и производственных условиях, а также актами стендовых и полевых испытаний МТА в составе трактора МТЗ –82 и культиватора КПС – 4.

Вклад автора в проведенное исследование. Разработана методика лабораторных исследований для определения динамических характеристик энергетической установки МТА. Получены математические выражения, описывающие влияния характера неустановившейся нагрузки на эффективные

показатели МТА и позволяющие оценить несогласованность систем и механизмов двигателя к реальным условиям эксплуатации. Изготовлена опытная лабораторная установка и опытный образец МТА для проведения полевых испытаний.

На защиту выносятся следующие основные положения.

1. Теоретические закономерности изменения эффективных показателей энергетической установки МТА (частоты вращения коленчатого вала, крутящего момента, часового и удельного расхода топлива, часового расхода газа) при неустановившихся режимах работы.

2. Аналитические зависимости повышения эффективности МТА в полевых условиях с газодизельной системой подачи топлива.

3. Результаты лабораторных и полевых исследований параметров энергетической установки МТА с дизельной и газодизельной системой подачи топлива.

4. Экономическое обоснование эффективности работы МТА с газодизельной системой подачи топлива.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, ее научная новизна и практическая значимость, приведена цель исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрен анализ условий исследования тракторного парка РТ. Из которого следует, что трактора класса 1,4 типа МТЗ-80/82 остаются одними из основных тракторов в сельском хозяйстве даже в свете перехода к ресурсосберегающим технологиям.

Рассмотрены вопросы характера нагрузки машинно-тракторных агрегатов и других мобильных машин при выполнении ими технологических операций и определены закономерности влияния нагрузки на эффективные показатели энергетических установок.

Изучению влияния неустановившегося характера нагрузки на показатели энергетических установок различного назначения посвящены работы Болтинского В.Н., Крутова В.И., Ждановского Н.С., Патрахальцева Н.Н., Багирова Д.Д., Гришина Г.Д., Иткина Б.А., Морозова Б.И., Останенко Г.И., Леонова И.В., Багирова Д.Н., Николаенко А.В., Юлдашева А.К., Галеева Г.Г., Зимагулова А.Х., Гусячкина А.М., Халиуллина Ф.Х., Гумирова М.М., Шафигуллина Ф.Х. и других ученых. За рубежом исследованием этих вопросов занимались профессора А. Янте, Лангер, Бюссинг и другие. Вопросы, посвященные процессам происходящих в элементах системы топливоподачи различной конструкции, изучаются в работах Баширова Р.М., Габитова И.И., Габдрафикова Ф.З., Галиуллина Р.Р., Неговора А.В. и других. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата рассматриваются в работах Иофинова С.А., Киртбая Ю.К., Хафизова К.А., Галиева И.Г., и других.

Классификация путей повышения эффективности МТА при выполнении технологических процессов на этапах проектирования и эксплуатации представлена на рисунке 1.

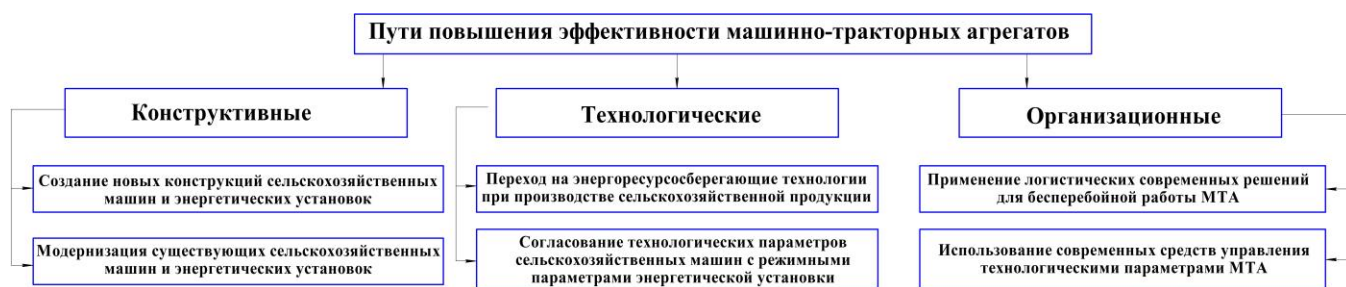


Рисунок 1 - Пути повышения эффективности МТА

Одним из привлекательных направлений повышения эффективности использования МТА в условиях эксплуатации при выполнении сельскохозяйственных операций является модернизация существующих энергетических установок при одновременном переходе на энерго- и ресурсосберегающие технологии. Учитывая принятые нормативно-технические документы правительства РФ, в последнее время, как у производителей, так и у эксплуатационников становится экономически выгодным перевод энергетических установок на газомоторное топливо. При этом необходимо отметить, что использование в двигателях в качестве топлива только газа возможно при кардинальном изменении его конструкции и исключает из потенциальных потребителей данного вида топлива имеющийся многомиллионный парк автомобильной и тракторной техники с дизельными двигателями. С этой точки зрения представляет интерес перевод энергетических установок на газодизельный цикл, накопленный «КАМАЗ», «МАЗ», «ПАЗ», «МТЗ», «БелАЗ», «Hyundai», «Iveco», «Scania», «MAN», «Volvo», «Isuzu».

Опыт эксплуатации газодизельных энергетических установок показал следующие их преимущества: экономия до 60...70% жидкого топлива за счет замещения его газом, снижение выброса сажи в 2...3 раза и твердых частиц в 1,5...2 раза, снижение уровня шума на 3...4 дБ(А), увеличение срока службы моторного масла в 1,5 раза, снижение износа цилиндро - поршневой группы в 1,5 раза.

Газодизельные технологии 3-го и 4-го поколения электронно-механической и электронной системой управления запальной дозой обеспечивают стабильную работу при любых режимах работы, имеют возможность переоборудования любых дизельных двигателей, включая COMMON RAIL EВРО-4,5.

Во второй главе «Математическое описание работы машинно-тракторного агрегата в условиях эксплуатации» разработана математическая модель влияния степени согласованности динамических характеристик энергетической установки с характером неустановившейся нагрузки на эффективные показатели дизеля МТА, работающего на газодизельном режиме.

Определено, что динамические характеристики рабочих процессов дизеля МТА описываются линейными дифференциальными уравнениями:

по корректорной ветви регуляторной характеристики обычно используются дифференциальные уравнения первого порядка: $T_{1i} \frac{d\Delta l_i}{dt} + \Delta l_i = K_{1i} \Delta M_c$, (1)

для регуляторной ветви второго: $T_{2i} \frac{d^2 \Delta l_i}{dt^2} + T_{1i} \frac{d\Delta l_i}{dt} + \Delta l_i = K_{2i} \Delta M_c$, (2)

где T_{1i}, T_{2i} - коэффициенты дифференциальных уравнений, определяемых по экспериментальным данным по тестовым нагрузкам; K_{1i} - коэффициент усиления i -го параметра по моменту; ΔM_c - приращение момента сопротивления на валу двигателя; Δl_i - приращение i -го параметра при изменении нагрузки на валу двигателя.

Реакция показателя на единичное возмущение имеет вид:

$$\Delta l_i(t) = \frac{h}{k^2} \left[1 - e^{-nt} \left(\cos \sqrt{k^2 - n^2} \cdot t + \frac{n}{\sqrt{k^2 - n^2}} \sin \sqrt{k^2 - n^2} \cdot t \right) \right], \quad (3)$$

где $2n = \frac{T_{1i}}{T_{2i}}$; $k^2 = \frac{1}{T_{2i}}$ - коэффициенты уравнений; $h(t)$ - в общем случае произвольная функция.

Для определения реакции показателя Δl_i при воздействии возмущения произвольной формы $h(t)$ с нулевыми начальными условиями воспользуемся интегралом Дюамеля:

$$\Delta l_i = h(0) \cdot \Delta l_i(t) + \sum \Delta h \cdot \Delta l_i(t-\tau) = h(0) \cdot \Delta l_i(t) + \sum \Delta \tau \cdot \dot{h}(\tau) \cdot \Delta l_i(t-\tau). \quad (4)$$

Используя принцип суперпозиции, можно проанализировать поведение двигателя и его систем при любых видах нагрузки. Если примем допущение, что в динамических режимах изменения показателей двигателя должны протекать по квазидинамическим или эталонным характеристикам, то уравнение для них имеет вид:

$$L_{икв} = K_{in} \cdot n, \quad (5)$$

$$L_{икв0} + \Delta L_{икв} = K_{in} \cdot n_0 + K_{in} \cdot \Delta n, \quad (6)$$

где K_{in} - коэффициент усиления i -го показателя по частоте вращения.

Изменения i -го показателя двигателя по квазидинамической характеристике определяется выражением:

$$\Delta L_{икв} = K_{in} \cdot \Delta n. \quad (7)$$

Представим крутящий момент двигателя как функцию двух переменных, а именно частоты вращения коленчатого вала n и цикловой подачи топлива $g_{ц}$ (рисунок 2):

$$M_{кр} = K_{M.n} \cdot n + K_{M.g_{ц}} \cdot g_{ц}, \quad (8)$$

где $K_{M.n}$ - коэффициент усиления крутящего момента по частоте вращения коленчатого вала, $\left[\frac{H \cdot M}{\text{мин}^{-1}} \right]$; $K_{M.g_{ц}}$ - коэффициент усиления крутящего момента по цикловой подаче топлива, $\left[\frac{H \cdot M}{\text{г/цикл}} \right]$.

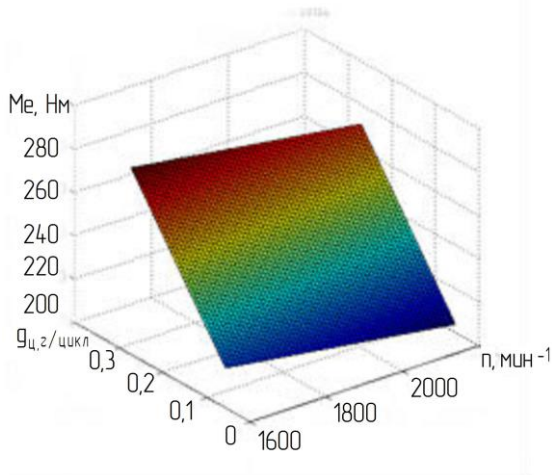
В неустановившихся режимах работы:

$$M_{кр.дин} = M_{кр0} + K_{M.n} \cdot \Delta n + K_{M.g_{ц}} \cdot \Delta g_{ц}, \quad (9)$$

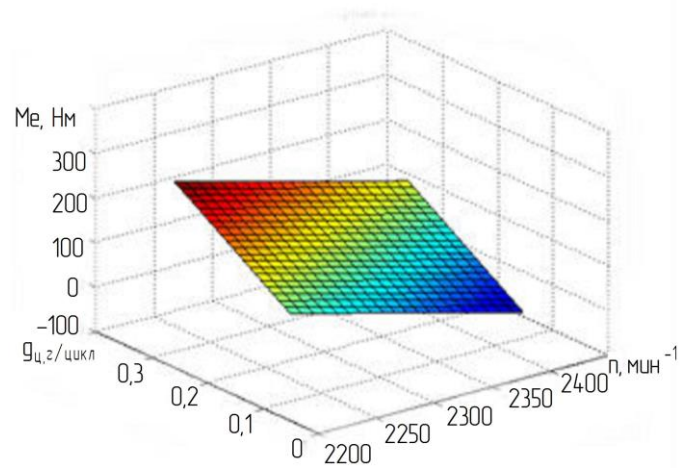
где $M_{кр0}$ - крутящий момент двигателя в установившемся режиме в начальный момент времени, $[H \cdot M]$.

Динамические потери крутящего момента двигателя определяются по формуле:

$$\Delta M_{кр} = M_{кр.дин} - M_{кр.кв} = (K_{M.n} - K_{M.ст.n}) \cdot \Delta n + K_{M.g_{ц}} \cdot \Delta g_{ц}. \quad (10)$$



корректорная ветвь



регуляторная ветвь

Рисунок 2 - Регуляторная характеристика двигателя Д-243

Для определения эффективной мощности N_e , часового расхода топлива $G_{\text{час}}$ и удельного расхода топлива g_e воспользуемся положениями классической теории двигателей.

Потери мощности из-за несогласованности динамических характеристик энергетической установки к реальным условиям эксплуатации определяются выражением:

$$DN_e = N_{e,\text{дин}} - N_{e,\text{кв}} = K_{N_e} \cdot n (M_{\text{кр.дин}} - M_{\text{кр.кв}}), \quad (11)$$

где $K_{N_e} = \frac{1}{60} \cdot 10^{-3}$ - коэффициент пропорциональности для эффективной мощности двигателя.

Для часового расхода топлива отклонения в неустановившихся режимах работы определяются формулой:

$$DG_{\text{час}} = G_{\text{час.дин}} - G_{\text{час.кв}} = K_{G_{\text{час}}} \cdot n \cdot (g_{\text{ц.дин}} - g_{\text{ц.кв}}), \quad (12)$$

где $K_{G_{\text{час}}} = 0,03$ - коэффициент пропорциональности для часового расхода топлива.

Динамические потери удельного эффективного расхода топлива определяются:

$$Dg_e = K_{g_e} \left(\frac{G_{\text{час.дин}}}{N_{e,\text{дин}}} - \frac{G_{\text{час.кв}}}{N_{e,\text{кв}}} \right), \quad (13)$$

где $K_{g_e} = 10^3$ - коэффициент пропорциональности для удельного эффективного расхода топлива.

Система уравнений (7 – 13) представляет математическую модель изменения эффективных показателей энергетической установки МТА, работающего с неустановившимися нагрузками по корректорной ветви регуляторной характеристики. Определение коэффициентов дифференциальных уравнений производится в пределах линейного участка исследуемого показателя по нагрузочной характеристике.

Изменения эффективных показателей дизельного двигателя при работе на газодизельном топливе при мгновенном сбросе и мгновенном набросе нагрузки аналитически описываются уравнениями:

$$G_{\Gamma}^n = B_0 \left[G_{\Gamma 0} \pm K_{1,3} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,3}}}) \right] \cdot \left[n_0 \mp K_{1,1} \Delta M \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right], \quad (14)$$

$$G_{\Gamma}^n = B_1 \left[g_{\text{ио}} \pm K_{1,2} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,2}}}) \right] \cdot \left[n_0 \mp K_{1,1} \Delta M \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right], \quad (15)$$

$$N_e^n = B_2 \left[M_{\text{ео}} \pm \left(\Delta M_c \mp J \frac{B}{T_{1,1}} e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right] \cdot \left[n_0 \mp K_{1,1} \Delta M \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right], \quad (16)$$

$$g_e^n = \frac{B_1 \left[g_{\text{ио}} \pm K_{1,2} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,2}}}) \right]}{B_2 \left[M_0 \pm \left(\Delta M_c \mp J \frac{B}{T_{1,1}} e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right]}. \quad (17)$$

В эталонных режимах исследуемые показатели описываются уравнениями:

$$G_{\Gamma}^{\text{кд}} = G_{\Gamma 0} \pm P_{G_{\Gamma}} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}), \quad (18)$$

$$G_{\Gamma}^{\text{кд}} = G_{\Gamma 0} \pm P_{G_{\Gamma}} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}), \quad (19)$$

$$N_e^{\text{кд}} = N_{\text{ео}} \pm P_{N_e} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}), \quad (20)$$

$$g_e^{\text{кд}} = g_{\text{ео}} \pm P_{g_e} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}). \quad (21)$$

Текущие динамические потери определяются по формулам:

$$D_{G_{\Gamma}} = \left[G_{\Gamma 0} \pm P_{G_{\Gamma}} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}) \right] - B_0 \left[G_{\Gamma 0} \pm K_{1,3} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,3}}}) \right] \cdot \left[n_0 \mp K_{1,1} \Delta M \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right], \quad (22)$$

$$D_{G_{\Gamma}} = \left[G_{\Gamma 0} \pm P_{G_{\Gamma}} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}) \right] - B_1 \left[g_{\text{ио}} \pm K_{1,2} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,2}}}) \right] \cdot \left[n_0 \mp K_{1,1} \Delta M \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right], \quad (23)$$

$$D_{N_e} = \left[N_{\text{ео}} \pm P_{N_e} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}) \right] - B_2 \left[M_{\text{ео}} \pm \left(\Delta M_c \mp J \frac{B}{T_{1,1}} e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right] \cdot \left[n_0 \mp K_{1,1} \Delta M \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right], \quad (24)$$

$$D_{g_e} = \left[g_{\text{ео}} \pm P_{g_e} K_{1,1} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,1}}}) \right] - \frac{B_1 \left[g_{\text{ио}} \pm K_{1,2} \Delta M (1 - e^{-\frac{t}{T_{1,2}}}) \right]}{B_2 \left[M_0 \pm \left(\Delta M_c \mp J \frac{B}{T_{1,1}} e^{-\frac{t}{T_{1,1}}} \right) \right]}. \quad (25)$$

Решение полученных уравнений осуществляется с помощью специально разработанного приложения в программе LabVIEW и программного продукта “Программа определения эксплуатационных показателей двигателей мобильных машин при эксплуатационных условиях с учетом их динамических характеристик”.

В третьей главе “Программа и методика экспериментальных исследований” излагается общая методика лабораторных и производственных исследований с дизельной и газодизельной системой подачи топлива. Согласно предложенной программе исследования влияния неустановившейся нагрузки на

эксплуатационные показатели содержат два этапа – теоретический и экспериментальный (рисунок 3).

Экспериментальная установка включает в себя: двигатель Д-243 (Д-243Г); загрузочное устройство на базе индуктивного тормоза «Хофман»; датчиков для определения измеряемых величин; блок сбора и обработки данных на базе АЦП и ЭВМ (рисунок 4).

Данная установка позволяет производить измерения, сбор и обработку поступающих на нее данных, таких как:

- крутящий момент двигателя;
- частота вращения коленчатого вала двигателя;
- расход топлива;
- расход газа.



Рисунок 3 – Программа экспериментальных исследований двигателей МТА

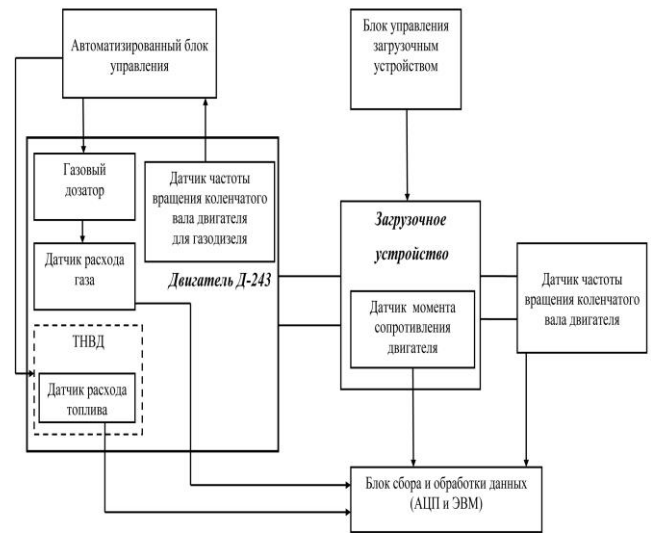


Рисунок 4 – Структурная схема автоматизированного комплекса

Сигналы, поступающие с датчиков, усиливаются усилителями и поступают в АЦП. Для сбора и обработки данных использовалась программа, написанная в LabVIEW 6.0.

На рисунке 5,6 представлены общий вид экспериментальной установки и общий вид МТА в составе трактора МТЗ-82 и культиватора КПС-4. Производственные испытания были проведены в ООО Агрофирма «Колос» Пестречинского района РТ. Испытания проводились в соответствии с программой исследований. При проведении испытаний производились измерения и запись следующих параметров: усилие на крюке, положение хода рейки дозатора топливного насоса, частоту вращения коленчатого вала двигателя, расход газа, частоты вращения ведущего колеса трактора и копирующего колеса трактора.

Также описана методика планирования эксперимента, обработки и оценки точности полученных результатов.

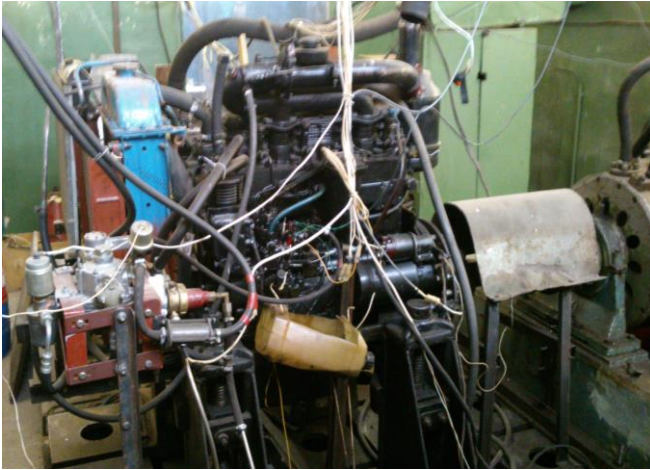


Рисунок 5-Общий вид экспериментальной установки



Рисунок 6 – Общий вид МТА в составе трактора МТЗ-82 и культиватора КПС-4

В четвертой главе “Результаты экспериментальных исследований и их анализ” приведены результаты лабораторных исследований и производственных испытаний.

По результатам лабораторных исследований были определены коэффициенты дифференциальных уравнений (таблица 1) для проведения теоретических и экспериментальных исследований.

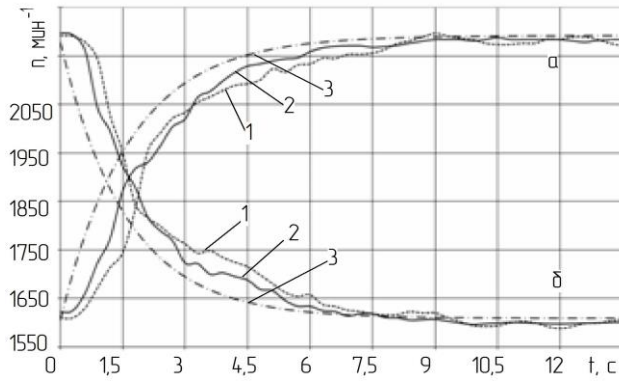
Таблица 1 – Значения коэффициентов дифференциальных уравнений (Т)

Двигатель	Значение Т для данного параметра, с		
	Частота вращения коленчатого вала	Цикловая подача топлива	Расход газа
наброс нагрузки			
Д-243Г	2,58	2,36	2,14
Д-243	2,64	2,48	-
сброс нагрузки			
Д-243Г	2,67	2,42	2,15
Д-243	2,79	2,53	-

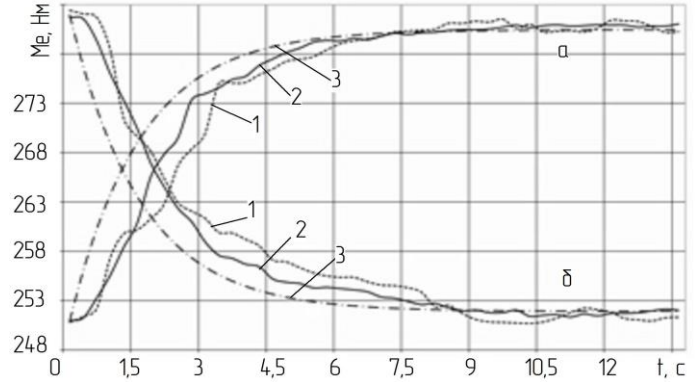
Результаты изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя Ω и его крутящего момента $M_{кр}$ при набросе и сбросе нагрузки приведены на рисунках 7 и 8. Как показывают опыты и вычисления, значения этих коэффициентов отличаются для частоты вращения и цикловой подачи топлива на 8,5...9,3%, и 10,5...11,9% для расхода газа, что объясняется рассогласованностью систем топливоподачи двигателя. Малые значения коэффициентов для расхода газа объясняется особенностями применяемого оборудования и их малой инерционностью.

Переходный процесс у газодизельного двигателя протекает более интенсивно и имеет меньшую частоту колебаний в переходном процессе.

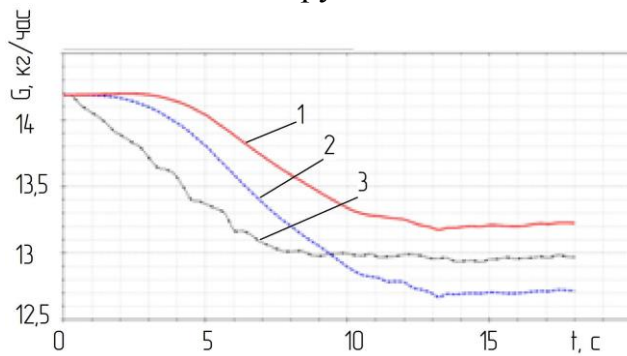
Для оценки влияния неустановившегося характера нагрузки на рассогласования в работе систем двигателя с дизельной и газодизельной системами топливоподачи были проведены полевые исследования, некоторые результаты которых приведены на рисунках 9,10,11,12 и в таблице 2.



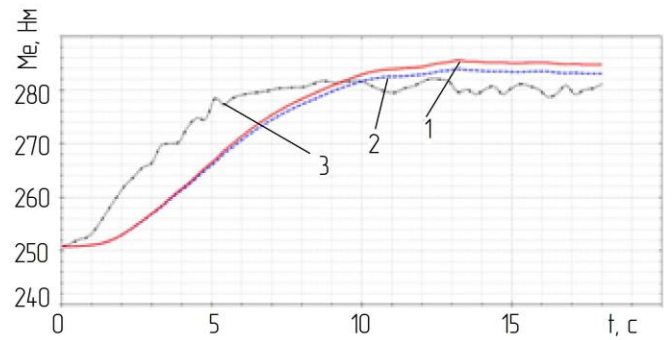
1 – газодизель; 2 – дизель; 3 - расчет
 Рисунок 7 – График изменения частоты вращения двигателя при сбросе и набросе нагрузки



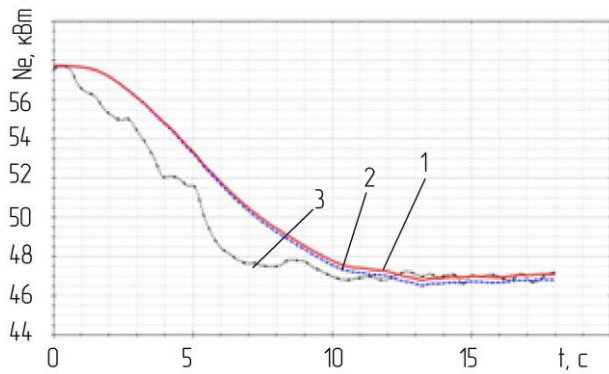
1 – газодизель; 2 – дизель; 3 - расчет
 Рисунок 8 – График крутящего момента коленчатого вала двигателя при сбросе и набросе нагрузки



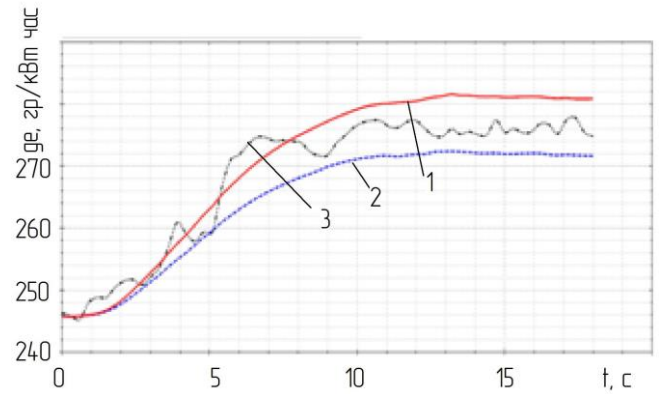
1 – эталон; 2 – динамический; 3 – экспериментальный.
 Рисунок 9 - Изменения часового расхода топлива



1 – эталон; 2 – динамический; 3 – экспериментальный.
 Рисунок 10 - Изменения крутящего момента



1 – эталон; 2 – динамический; 3 – экспериментальный.
 Рисунок 11 - Изменения мощности



1 – эталон; 2 – динамический; 3 – экспериментальный.
 Рисунок 12 - Изменения удельного расхода топлива

Таблица 2 - Влияние неустановившегося характера нагрузки на показатели энергетической установки

Двигатель	Относительные текущие отклонения от эталонных показателей, %			
	Расход топлива	Крутящий момент	Мощность	Удельный расход топлива
Д-243Г	5,4-6,3	7,5-8,4	8,2-9,1	7,6-8,3
Д-243	11,5-12,7	12,1-13,2	13,5-14,1	12,6-13,4

Как показывают результаты исследований, при переходе на газодизельную систему топливоподачи, рассогласованность показателей энергетической установки МТА уменьшается на 5,1...7,3%.

В пятой главе “Технико-экономическая оценка результатов исследования” для оценки эффективности работы машинно-тракторного агрегата с газодизельной системой подачи топлива в условиях эксплуатации в качестве критерия эффективности использования МТА для дизельного и газодизельного режима двигателя были выбраны показатель погектарного расхода топлива и стоимость топлива на гектар выполненных работ. Результаты сравнительного анализа приведены на рисунках 13 и 14.

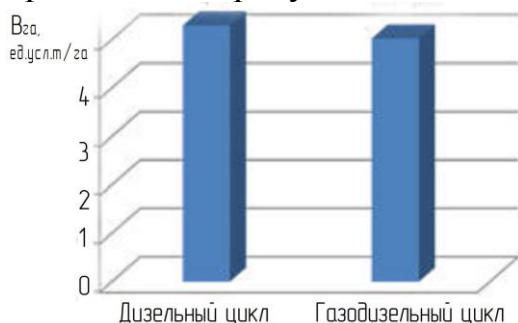


Рисунок 13 - Расход условного топлива на гектар

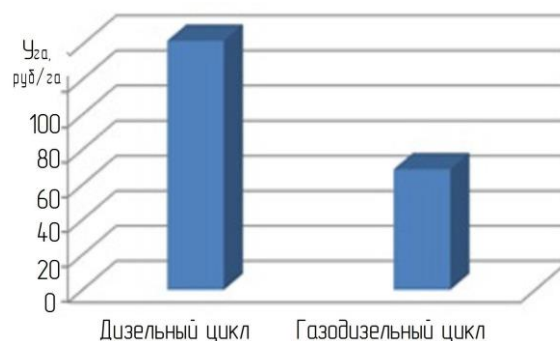


Рисунок 14 - Стоимость топлива на гектар

Из графика видно, что условный расход топлива на 1 га с газодизельной подачей топлива меньше на 5...8 %, а себестоимость механизированных работ на 1 га меньше на 50...55 %.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведенный анализ влияния неустановившегося характера нагрузки на показатели эффективности использования МТА показал, что основной причиной ухудшения эффективных показателей энергетической установки в условиях эксплуатации является рассогласованная работа элементов системы топливоподачи, в результате чего мощность трактора уменьшается до 15...20 %, а расход топлива увеличивается до 20...25 %.

2. Определены теоретические зависимости изменения эффективных показателей энергетической установки в реальных условиях эксплуатации, которые дают возможность установить закономерности влияния степени согласованности динамических характеристик энергетической установки (формулы 10-13) с параметрами нагрузки на рассогласованность в работе систем топливоподачи.

3. Проведенные экспериментальные исследования в лабораторных условиях выявили, что показатели систем топливоподачи энергетических установок дизельных и газодизельных схем имеют разные значения согласованности к набросам-сбросам нагрузки, так постоянная времени по цикловой подаче топлива имеет значения 2,36...2,42 для дизельной и 2,14...2,15 для газодизельной схемы, что объясняется лучшей согласованностью системы подачи газа при переменных режимах работы.

4. По результатам проведенных полевых исследований МТА на неустановившихся режимах получены данные, согласно которым при переходе на

газодизельную систему топливоподачи, наблюдается уменьшение рассогласованности показателей энергетической установки МТА на 5,1...7,3%.

5. Применение газодизельной системы топливоподачи по сравнению с дизельной позволило снизить условный расход топлива на 0,27 ед. усл. топл./га, стоимость расхода топлива на гектар выполненных работ при культивации снизилась на 73,38 руб/га, годовая экономия от перевода дизеля МТА на газодизельный режим составила 324,5 т. рублей (по ценам на январь 2015) на один МТА при годовой загрузке 1350 моточасов при стоимости переоборудования трактора на газодизельное топливо 180000 рублей.

Перспективы дальнейшей разработки темы. На основании полученных экспериментальных данных предполагается продолжить исследования по повышению эффективности использования различных МТА на газодизельном цикле с модернизацией системы подачи газового моторного топлива.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Юлдашев, А.К. Пути повышения эффективности использования двигателей внутреннего сгорания автомобилей и машинно-тракторных агрегатов в условиях эксплуатации. /А.К. Юлдашев, С.А. Сеницкий, В.М. Медведев, К.М. Латыпов// Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина. М. – 2007. - № 1 (21)
2. Медведев, В.М. Исследование влияния неустановившейся нагрузки на показатели двигателя внутреннего сгорания. /В.М. Медведев// Журнал «Механизация и электрификация сельского хозяйства» 2010 год № 12 – 28 с.
3. Халиуллин, Ф.Х. Операторная форма решения уравнений для модели энергетических установок мобильных машин /Ф.Х. Халиуллин, В.М. Медведев// Вестник Казанского государственного аграрного университета. Научный журнал № 2 (32) 2014 год.

Публикации в других изданиях

4. Амиров, А.М. Исследования токсичности отработавших газов дизельных и газодизельных двигателей внутреннего сгорания при работе с неустановившейся нагрузкой. /А.М. Амиров, А.К. Юлдашев, С.А. Сеницкий, В.М. Медведев// Научный потенциал - аграрному производству: материалы всероссийской научно-практ. конф. посвященной 450-летию вхождения Удмуртии в состав России Том III – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008.
5. Амиров, А.М. Методика исследования отработавших газов дизельных и газодизельных двигателей при работе на неустановившихся нагрузках на стенде. /А.М. Амиров, А.К. Юлдашев, С.А. Сеницкий, В.М. Медведев// Современные технические вопросы агропромышленного комплекса: материалы всероссийской научно-практ. конф. Том 75, Ч. 4. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2008.
6. Медведев, В.М. Работа газодизельного двигателя при неустановившейся нагрузке. /В.М. Медведев, С.А. Сеницкий, К.М. Латыпов/ Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию института механизации и технического сервиса казанского государственного аграрного университета, часть 1, “Инженерная наука - агропромышленному комплексу” – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2010.

7. Синицкий, С.А. Влияние инерционных показателей двигателя при определении расхода топлива /С.А. Синицкий, В.М. Медведев / Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию института механизации и технического сервиса казанского государственного аграрного университета, часть 1, “Инженерная наука - агропромышленному комплексу” – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2010.
8. Медведев, В.М. Определение динамических потерь двигателя Д-243 МТА при набросе нагрузке /В.М. Медведев, С.А. Синицкий/ Материалы научно-практической конференции, посвященной 90-летию КГАУ” – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2012.
9. Ahmetzyanov, I.R. Internal combustion engine faults imitation methods for developing a method of engine diagnostics / Ahmetzyanov I.R., Medvedev V.M., Khaliullin F.K., Shiriyazdanov R.R./ Science and Education, Germany, june 27-28, 2014.
10. Medvedev, V.M. Operating conditions of the D-240 Engine based dual fuel gas-diesel engine of the agricultural tractor/ Medvedev V.M., Ahmetzyanov I.R., Shiriyazdanov R.R., Khaliullin F.K/ «European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences» Proceedings of the 2nd International scientific conference (May 12, 2014). «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna.2014.
11. Khaliullin, F.K., Approaches for numerical simulation of mobile machines in actual operating conditions /Khaliullin F.K., Shiriyazdanov R.R., Ahmetzyanov I.R., Medvedev V.M./ International Conference «Global Science and Innovation»/ - USA. Chicago, may 21-22, 2014.
12. Shiriyazdanov, R.R. Some aspects of the practical application of agricultural mobile machinery`s powertrail transient operations research results /Shiriyazdanov R.R., Khaliullin F.K., Medvedev V.M., Ahmetzyanov I.R./ 10th International scientific conference «European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches», Stuttgart, Germany, 5th june 2014.

Патент

13. Стенд для исследования рабочих процессов двигателя внутреннего сгорания в динамических режимах. / А. К. Юлдашев, Ю.К. Евдокимов, С.А. Синицкий, В.М. Медведев, Е.С. Денисов, А.С. Графский, С.В. Мягков/ Патент на полезную модель RU 66526 U1 МПК G01M 15/00 (2006.01) опубликовано 10.09.2007 г.

Свидетельство

14. Программа определения эксплуатационных показателей двигателей мобильных машин при эксплуатационных условиях с учетом их динамических характеристик. /Ф.Х. Халиуллин, В.М. Медведев, А.Ф. Халиуллин / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662128 опубликовано 24.11.2014 г.

Подписано в печать 24.06.2015 г. Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆ Усл. печ. л. 1,0

Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать трафаретная. Заказ 88. Тираж 100 экз.