

На правах рукописи

ФЕДОСЕЕВ Семён Юрьевич



**ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ
ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА
ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЧАСТИ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2015

Работа выполнена на кафедре «Тракторы и автомобили» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Суркин Вячеслав Иванович

кандидат технических наук, доцент
Бердов Евгений Иванович

Официальные оппоненты: **Габдрафиков Фаниль Закариевич**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Теплотехника
и энергообеспечение предприятий»
ФГБОУ ВПО «Башкирский
государственный аграрный университет»

Грабовский Александр Андреевич,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Транспортные машины»
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский
государственный университет»
(Национальный исследовательский
университет)

Защита состоится «9» июня 2015 г., в 11.30 часов на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 на базе ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» <http://www.csa.ru>.

Автореферат разослан «17» апреля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета



Плаксин
Алексей Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Согласно данным статистики, доля эксплуатационных расходов на обеспечение транспортных операций в производстве сельскохозяйственной продукции составляет 15–20%, причем 16–30% от всего объема транспортных работ осуществляется тракторно-транспортными агрегатами (ТТА) в составе трактора и прицепа. При выполнении транспортных работ загрузка двигателя по моменту в большинстве случаев не превышает 40–50%.

С учетом преимущественного применения маятникового способа перевозок (в одну сторону агрегат едет груженный, в обратную – порожний), работы трактора без прицепа, простоев при загрузке и разгрузке, стоянок с работающим двигателем 30–40% времени смены двигатель трактора работает на режимах холостого хода и малых нагрузок. Работа двигателя на режимах малых нагрузок сопровождается низкой экономичностью.

Следует отметить, что начиная с 80-х гг. XX в. и до настоящего времени наблюдается устойчивая тенденция роста удельной мощности (энергонасыщенности) тракторов сельскохозяйственного назначения, что лишь усугубляет обозначенную выше проблему.

Задача повышения топливной экономичности на этих режимах решается разными способами, одним из которых является отключение части цилиндров двигателя. Научные труды, посвященные работе двигателя с отключением части цилиндров, недостаточно полно, особенно с точки зрения экономии топлива, раскрывают функциональные взаимосвязи между выходными параметрами ТТА и параметрами двигателя трактора-тягача при отключении части цилиндров, что определяет актуальность темы исследования.

С учетом вышеизложенного данная работа посвящена исследованию основных энергетических и топливно-экономических параметров трактора и агрегата во время работы с отключением части цилиндров двигателя в зависимости от степени загрузки и скорости движения ТТА, а также конструктивных параметров агрегата и двигателя.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с «Межведомственной координационной программой фундаментальных и прикладных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на 2006–2010 гг.

(Проблема IX. Научное обеспечение повышения машинно-технологического и энергетического потенциала сельского хозяйства России (по научному обеспечению приоритетного национального проекта «Развитие АПК»).

Цель работы: повышение топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата путем отключения части цилиндров двигателя при его работе на режимах малых нагрузок и холостого хода.

Объект исследования: процесс изменения расхода топлива ТТА на транспортных режимах при отключении части цилиндров двигателя.

Научная гипотеза: повышение топливной экономичности ТТА при работе с малой загрузкой двигателя по моменту, характерной для транспортных операций, может быть достигнуто за счет увеличения загрузки части цилиндров двигателя при одновременном отключении других цилиндров. Предполагается, что повышение эффективности сгорания топлива в работающих цилиндрах и уменьшение механических потерь двигателя в отключенных цилиндрах позволит уменьшить общий расход топлива, что, в свою очередь, приведет к снижению удельных энергозатрат на реализацию транспортного процесса.

Предмет исследования: закономерности изменения энергетических и топливно-экономических показателей трактора и его двигателя в составе тракторно-транспортного агрегата при отключении части цилиндров ДВС.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Установить теоретические зависимости между эффективной мощностью, экономичностью двигателя, массой перевозимого груза, скоростью ТТА и количеством отключаемых цилиндров ДВС.

2. Определить взаимосвязи энергетических и топливно-экономических показателей работы ТТА и двигателя трактора-тягача на различных режимах при выполнении транспортных работ.

3. Экспериментально определить и сравнить с расчетными взаимозависимости эксплуатационных параметров ТТА при отключении части цилиндров двигателя.

4. Оценить эффективность внедрения способа повышения топливной экономичности ТТА отключением части цилиндров двигателя.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

1. Установлены закономерности изменения энергетических параметров двигателя и трактора-тягача в составе ТТА на транспортных режимах при отключении части цилиндров двигателя.
2. Раскрыты и аналитически описаны взаимосвязи расхода топлива при работе двигателя с частью отключенных цилиндров на режимах холостого хода и малых нагрузок ДВС и трактора-тягача в составе ТТА.
3. Получены экспериментальные результаты изменения энергетических и топливно-экономических свойств ДВС трактора-тягача и ТТА при отключении части цилиндров двигателя при работе на холостом ходу и с малой нагрузкой.
4. Определено рациональное количество работающих цилиндров двигателя в зависимости от скорости движения ТТА, массы перевозимого груза и дорожных условий.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Разработана методика определения мощностных и топливно-экономических показателей двигателя и ТТА при отключении части цилиндров двигателя, расчетные данные подтверждены экспериментальными исследованиями. При отключении половины цилиндров двигателя (перекрытием подачи топлива и закрытием клапанов механизма газораспределения) экономия топлива с 24% на режиме холостого хода уменьшается до нуля с увеличением загрузки двигателя до 40%. При движении ТТА МТЗ-82 + 2ПТС-4 с порожним прицепом по грунтовой дороге и скорости 20 км/ч экономия топлива составляет 8%.

Получены патенты на полезную модель: «Система управления топливopодачи с помощью электромагнитных клапанов» № 107553, «Устройство управления работой двигателя с учетом нагрузки транспортного агрегата» № 119813.

Реализация результатов исследований (степень достоверности). Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ЧГАА при изучении дисциплины «Тракторы и автомобили» и при проведении лабораторных работ по испытанию двигателей.

Производственные испытания, проведенные в ООО «Чебаркульгорводоканал» и ОАО «Племенной завод „Россия“» показали снижение расхода топлива при отключении цилиндров в среднем на 8–12%.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации и ее результаты доложены и одобрены на международных научно-технических конференциях Челябинской государственной агроинженерной академии (2010–2013 гг.), Южно-Уральского государственного университета (2011, 2012 гг.), Волгоградского государственного аграрного университета (2012 г.), Орловского государственного аграрного университета (2012 г.), Уфимского государственного аграрного университета (2012 г.).

Публикации результатов исследований. Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 12 печатных работах, в т. ч. 4 статьи в изданиях, указанных в перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений, списка литературы, включающего в себя 133 наименования, в том числе 11 иностранных источников. Общий объем работы составляет 156 страниц машинописного текста, в том числе 56 рисунков, 27 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, показаны научная новизна и практическая значимость выполненной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, и результаты исследований.

В **первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ работ, посвященных исследованиям по отключению цилиндров двигателей различными способами, конструкций устройств отключения цилиндров, времени использования тракторно-транспортных агрегатов в сельскохозяйственном производстве, степени загрузки двигателей при выполнении транспортных операций в различных условиях.

Вопросы повышения топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата отключением части цилиндров двигателя, несмотря на значительное количество публикаций, посвященных этой теме, исследованы недостаточно. В России и за рубежом исследованиями по отключению части цилиндров ДВС занимались:

Е. А. Чудаков, Н. С. Ждановский, Н. Н. Патрахальцев, И. Ю. Олесов, А. Р. Вальдеррама, В. И. Козлов, М. В. Эммиль, Р. М. Баширов, В. И. Суркин, Ф. З. Габдрафиков, Р. Р. Галиуллин, И. И. Инсафудинов, М. Г. Зленко, М. В. Шатров, Э. М. Гайсин, Г. Д. Драгунов, А. Н. Медведев, Д. А. Уханов и др.

Исследования, выполненные вышеперечисленными авторами, посвящены вопросам повышения топливной экономичности двигателей с помощью отключения подачи топлива в цилиндрах ДВС на холостом ходу. Кроме того, в известных источниках не приводятся методы аналитического расчета топливной экономичности ТТА во время выполнения транспортной работы при отключении части цилиндров двигателя.

В связи с тем, что цены на углеводородные виды топлива в России, несмотря на снижение общемировых цен, постоянно растут, а номинальная мощность тракторных двигателей сохраняет тенденцию увеличения, тема работы, направленной на повышение топливной экономичности транспортно-тяговых сельскохозяйственных агрегатов, является актуальной.

Во **второй главе** «*Взаимосвязь топливной экономичности и мощностных показателей тракторно-транспортного агрегата при отключении части цилиндров двигателя*» раскрыты аналитические зависимости мощностных и топливно-экономических показателей ТТА и двигателя от отключения части цилиндров для различных дорожных условий и режимов работы ТТА.

Отключение части цилиндров двигателя целесообразно при движении ТТА в транспортном режиме с небольшой нагрузкой по горизонтальной опорной поверхности (дороге с асфальтобетонным или улучшенным покрытием), а также под уклон (рисунок 1).

На ТТА действуют следующие силы: $G_{\text{тр}}$, $G_{\text{пр}}$ – вес трактора и вес прицепа с грузом или без груза; $P_{\text{фтр1}}$, $P_{\text{фтр2}}$ – силы сопротивления качению ведомых и ведущих колес трактора; $P_{\text{фпр1}}$, $P_{\text{фпр2}}$ – силы сопротивления качению передних и задних колес прицепа; $P_{\text{нтр}}$, $P_{\text{нпр}}$ – составляющие веса трактора и прицепа, направленные по нормали к опорной поверхности; $P_{\text{атр}}$, $P_{\text{апр}}$ – скатывающие силы трактора и прицепа (при движении под уклон); $P_{\text{втр}}$, $P_{\text{впр}}$ – силы аэродинамического сопротивления движению трактора и прицепа; $P_{\text{итр}}$, $P_{\text{ипр}}$ – силы инерции трактора и прицепа при переносном поступательном

движении; $P_{кр}$ – составляющая тягового сопротивления прицепа, действующая параллельно поверхности пути; P_k – касательная сила тяги трактора; $Y_{тр1}$, $Y_{тр2}$ – нормальные реакции опорной поверхности на передние и задние колеса трактора; X_2 – толкающая сила со стороны опорной поверхности; α – угол наклона поверхности движения по отношению к линии горизонта; $\text{ЦМ}_{тр}$, $\text{ЦМ}_{пр}$ – соответственно центры масс трактора и прицепа.

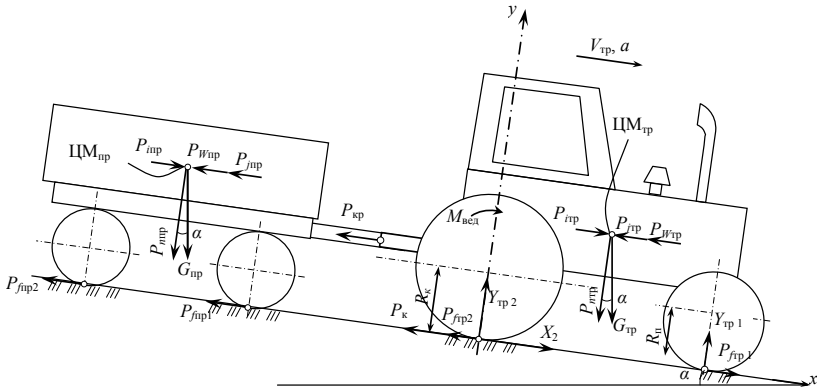


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на ТТА в общем случае движения

В данной работе приняты следующие допущения: КПД трансмиссии считаем постоянным на каждой из включенных передач; ТТА движется с постоянной скоростью ($V_d = \text{const}$), равномерно ($j = 0$), по горизонтальной поверхности ($\alpha = 0^\circ$), без продольных колебаний, влияющих на изменения тягового усилия и крутящего момента двигателя, без буксования ($\delta = 0$); силой аэродинамического сопротивления P_w пренебрегаем в связи с низкой скоростью движения ТТА.

С учетом принятых допущений коэффициент загрузки двигателя по моменту (K_3) определяется по выражению:

$$K_3 = \frac{M_e}{M_{ен}} = (G_{тр} \cdot f_{тр} + G_{пр} \cdot f_{пр}) \frac{R_k \cdot 10^3}{\eta_{тр} \cdot i_{тр} \cdot M_{ен}}, \quad (1)$$

где M_e – текущий крутящий момент двигателя, Н×м;

$M_{ен}$ – крутящий момент двигателя при номинальной мощности, Н×м.

Коэффициент загрузки зависит от: веса трактора $G_{\text{тр}}$, прицепа с грузом (или без груза) $G_{\text{пр}}$, коэффициентов сопротивлений качению трактора $f_{\text{тр}}$ и прицепа $f_{\text{пр}}$, радиуса ведущих колес трактора $R_{\text{к}}$, передаточного числа $i_{\text{тр}}$ и механического КПД $\eta_{\text{тр}}$ трансмиссии для выбранной передачи, а также от величины номинального крутящего момента двигателя.

Степень изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя ТТА k_n зависит от действительной скорости движения V_d агрегата, передаточного числа трансмиссии $i_{\text{тр}}$, радиуса ведущих колес $R_{\text{к}}$ и номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя n_n :

$$k_n = \frac{n}{n_n} = \frac{V_d i_{\text{тр}}}{0,105 R_{\text{к}} n_n}, \quad (2)$$

где n – текущая частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} .

При выборе основного оценочного показателя, характеризующего уровень экономии топлива, было принято во внимание, что экономический эффект при отключении части цилиндров двигателя имеет место лишь на малых нагрузках (при этом удельный эффективный расход топлива имеет завышенные значения, которые не показательны). Таким образом, основным оценочным показателем, влияющим на топливную экономичность ТТА, в данной работе принят часовой расход топлива. Функция зависимости часового расхода топлива G_t от режима работы двигателя, изменяющегося при отключении части его цилиндров, аналитически может быть представлена в следующем виде:

$$G_t = k_n \frac{0,12 \cdot n_n}{H_u \cdot \eta_i} \left(K_3 \frac{3M_{\text{ен}}}{955} + p_{\text{мп}} \frac{V_h}{\tau} z_p \right), \text{ кг/ч}, \quad (3)$$

где H_u – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг ;

η_i – индикаторный КПД;

$p_{\text{мп}}$ – среднее давление механических потерь, кВт ;

V_h – объем двигателя, л;

z_p – количество работающих цилиндров;

τ – тактность двигателя.

Анализ вышеприведенных зависимостей показывает, что на расход топлива ТТА влияет режим работы двигателя, определяемый степенью изменения частоты вращения коленчатого вала, величиной индикаторного КПД, коэффициентом загрузки двигателя по моменту,

а также числом работающих цилиндров и условным средним давлением механических потерь.

В связи с этим необходимо установить закономерности изменения этих параметров при выполнении агрегатом транспортных работ, а также при отключении части цилиндров двигателя.

Для решения поставленных задач были рассчитаны средневзвешенные значения коэффициентов загрузки двигателя при $n = \text{const}$ для транспортных передач; далее эти значения поставлены в соответствие режимам работы ТТА:

- 1) холостой ход двигателя: $K_3 = 0$;
- 2) холостой ход трактора: $0 > K_3 > 0,14$;
- 3) холостой ход ТТА: $0,14 \geq K_3 > 0,211$;
- 4) рабочий режим ТТА: $K_3 \geq 0,211$.

При отключении цилиндров для сохранения необходимого режима работы двигателя в оставшиеся рабочие цилиндры необходимо подавать большее количество топлива при увеличенной цикловой подаче, следовательно, в них повышается индикаторное давление. При изменении нагрузки двигателя качество сгорания топлива, характеризуемое индикаторным КПД, адекватно описывается уравнением квадратичной параболы в зависимости от индикаторного давления:

$$\eta_i = A \cdot p_i^2 + B \cdot p_i + C, \quad (4)$$

где p_i – среднее индикаторное давление в цилиндре, МПа.

Данная зависимость получена при анализе нагрузочной характеристики двигателя при постоянной частоте вращения, а также при тепловом расчете двигателя для разных нагрузочных режимов. В нашей работе для четырехцилиндрового двигателя Д-240 найдены следующие эмпирические коэффициенты:

$$A = -0,872; B = 0,953; C = 0,256.$$

Для определения изменения механических потерь при отключении цилиндра, обычно характеризуемых механическим КПД, введен коэффициент изменения механических потерь k_m двигателя при отключении части цилиндров:

$$k_M = \frac{N_{\text{мп_}z_p}}{N_{\text{мп_}i}}, \quad (5)$$

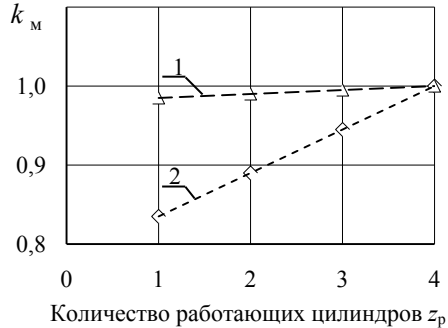
где $N_{\text{мп_}z_p}$ – мощность механических потерь при работе части цилиндров;

$N_{\text{мп_}i}$ – мощность механических потерь при работе всех i -х цилиндров двигателя.

На рисунке 2 представлены зависимости изменения k_M от количества работающих цилиндров, рассчитанные для четырехцилиндрового двигателя при двух способах отключения цилиндров.

Отношение максимальной эффективной мощности двигателя при отключении части цилиндров к максимальной эффективной мощности двигателя при всех работающих цилиндрах обозначим как коэффициент изменения максимальной эффективной мощности двигателя при отключении части цилиндров k_N :

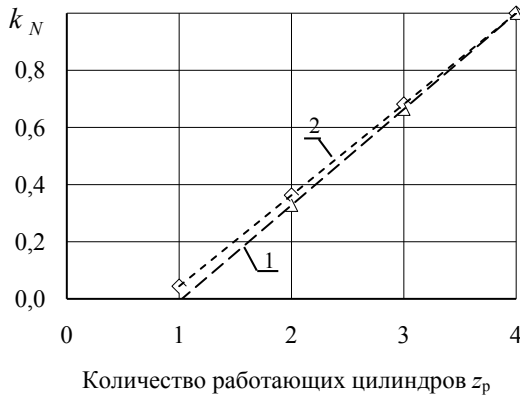
$$k_N = \frac{N_{e_z_p \text{ max}}}{N_{e_i \text{ max}}} = \frac{z_p}{i \cdot \eta_{M_i \text{ max}}} - k_M \left(\frac{1}{\eta_{M_i \text{ max}}} - 1 \right). \quad (6)$$



1 – отключение подачи топлива; 2 – отключение подачи топлива и привода ГРМ с закрытыми клапанами

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента изменения мощности механических потерь от количества работающих цилиндров 4-цилиндрового ДВС

Подсчитав значения этого коэффициента для разных способов отключения цилиндров на примере 4-цилиндрового двигателя, получим зависимости k_N от количества работающих цилиндров (рисунок 3).



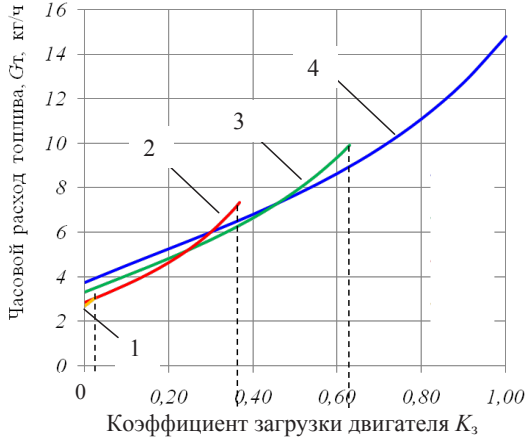
1 – отключена подача топлива; 2 – отключена подача топлива и привод ГРМ

Рисунок 3 – Зависимость коэффициента изменения максимальной эффективной мощности от числа работающих цилиндров 4-цилиндрового ДВС

Из графика зависимостей, представленных на рисунке 3, видно, что при отключении топлива и клапанов двигатель будет развивать бóльшую мощность, чем при отключении только подачи топлива.

На рисунке 4 показаны зависимости изменения часового расхода топлива, рассчитанные для двигателя Д-240 при разном числе работающих цилиндров, от коэффициента загрузки двигателя. Линии расхода для разного количества работающих цилиндров имеют точки пересечения, условно названные «точками нулевой экономии». Коэффициент загрузки двигателя в этих точках таков, что расход топлива как при всех работающих цилиндрах, так и при отключении части цилиндров одинаков.

Анализ представленных зависимостей показывает, что при загрузке двигателя, меньшей, чем в точках нулевой экономии, расход топлива при всех работающих цилиндрах выше, чем при одном или нескольких отключенных, поэтому целесообразно отключать цилиндры двигателя. При большей загрузке расход топлива при отключенных цилиндрах выше, чем при всех работающих, поэтому отключать цилиндры нецелесообразно.



1 – при отключении одного цилиндра; 2 – при отключении двух цилиндров;
3 – при отключении трех цилиндров; 4 – при всех работающих цилиндрах

Рисунок 4 – Расчетные зависимости расхода топлива двигателя Д-240 от коэффициента загрузки при разном количестве работающих цилиндров, $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$

Максимальное значение снижения часового расхода топлива ΔG_T :

$$\Delta G_T = G_{T_i} - G_{T_{Zp}}, \quad (7)$$

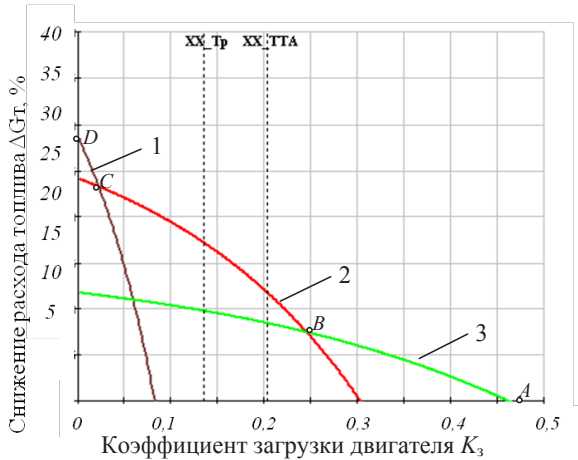
где G_{T_i} – часовой расход топлива при всех работающих цилиндрах, кг/ч;

$G_{T_{Zp}}$ – часовой расход топлива при отключении части цилиндров, кг/ч, соответствующий наибольшей экономии, имеет место при $K_3 = 0$ (режим холостого хода двигателя), а при $K_3 = 0,32$, $\Delta G_T = 0$.

При дальнейшем увеличении загрузки двигателя происходит дальнейший рост расхода топлива до некоторого значения $K_3 = k_N$, выше которого двигатель на данной частоте и при данном числе работающих цилиндров не работает.

Зависимость снижения часового расхода топлива, рассчитанного для дизеля Д-240 в зависимости от коэффициента загрузки двигателя, изображена на рисунке 5. Штриховыми линиями показаны уровни загрузки двигателя «XX_Тр» – при движении трактора без

прицепа, «XX_ТТА» – при движении ТТА с порожним прицепом. На этих режимах ожидаемая экономия топлива составляет: при работе на двух цилиндрах – 10%, на трех цилиндрах – 4%.



1 – при отключении трех цилиндров; 2 – при отключении двух цилиндров;
3 – при отключении одного цилиндра

Рисунок 5 – Расчетные зависимости снижения расхода топлива двигателя Д-240 от коэффициента загрузки при разном количестве работающих цилиндров ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$)

Очевидно, что для обеспечения минимального расхода топлива двигатель должен работать по кривой $ABCD$ с отключением, в зависимости от загрузки двигателя, соответствующего числа цилиндров. Результаты расчетов сведены в таблицу 1. Для различных режимов работы ТТА рассчитаны тягово-мощностные показатели и снижение расхода топлива, на основании которых выбрано оптимальное количество отключаемых цилиндров.

Таким образом, найдены искомые аналитические и графические зависимости расхода топлива от загрузки двигателя и количества работающих цилиндров при отключении подачи топлива и привода ГРМ, на основании которых определено рациональное количество отключаемых цилиндров для различных режимов работы ТТА.

Таблица 1 – Результаты расчета параметров ТТА при отключении двух цилиндров двигателя при стоянке и движении на транспортном режиме по грунтовой дороге

Параметр	Холостой ход двигателя	Холостой ход трактора	Холостой ход ТТА	Рабочий режим ТТА
Коэффициент загрузки K_3	0	0,138	0,211	0,370
Масса груза $m_{гр}$, кг	0	0	0	4000
Тяговое сопротивление, $P_{кр}$, кН	0	0	0,68	2,28
Эффективная мощность двигателя N_e , кВт	0	7,66	11,52	20,61
Снижение часового расхода топлива ΔG_r , кг/ч	1,08	0,82	0,62	0,25
%	28,67	17,1	11,64	3,88
Количество работающих цилиндров, z_p	1	2	2	2

В **третьей главе** «Методика экспериментальных исследований» изложена методика экспериментальных исследований ТТА в составе МТЗ-82 + 2ПТС-4, двигателя Д-240, а также методики обработки и анализа результатов исследования.

При подготовке и проведении экспериментальных исследований решались следующие задачи:

1. Определение основных показателей работы двигателя Д-240 на различных режимах загрузки при отключении части цилиндров на тормозном стенде.

2. Определение тягово-скоростных показателей работы ТТА и его двигателя при отключении части цилиндров на разных режимах работы в полевых условиях.

3. Оценка топливной экономичности ТТА на различных режимах загрузки без отключения цилиндров и при отключении части цилиндров двигателя.

4. Получение экспериментальных данных для выбора рационального числа работающих цилиндров двигателя на различных режимах работы ТТА.

Программа экспериментальных исследований включала:

– подготовку контрольно-измерительных приборов, регистрирующей аппаратуры и оборудования для стендовых и полевых испытаний;

– разработку методик проведения экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа:

1-й этап – стендовые испытания двигателя Д-240 в лабораторных условиях;

2-й этап – полевые испытания при работе ТТА;

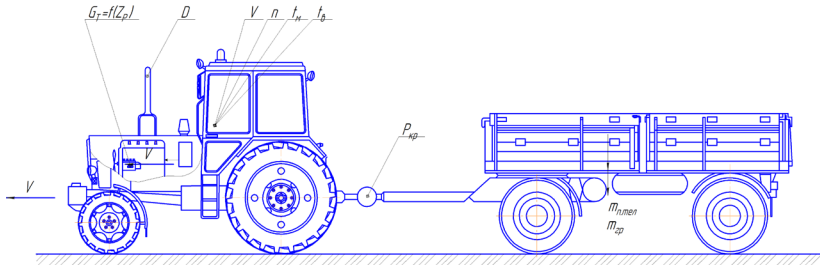
при трех вариантах работы двигателя:

1) все цилиндры включены;

2) отключена только подача топлива;

3) отключены подача топлива и привод ГРМ (клапаны в закрытом положении).

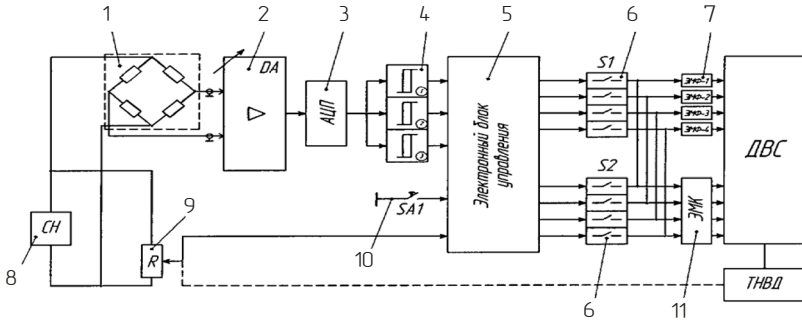
На схеме (рисунок 6) указаны параметры, фиксируемые в ходе проведения полевых испытаний ТТА. Управление процессом отключения цилиндров осуществлялось с помощью доработанного пружинного фаркопа, установленного в дышло сцепного устройства прицепа и снабженного конечными выключателями, срабатывающими при определенных значениях тягового сопротивления. Для исключения ложных срабатываний при частоте колебаний тягового сопротивления свыше 1 Гц применялся электронный демпфер управляющих сигналов.



G_T – расход топлива; D – дымность; V – действительная скорость агрегата;
 n – частота вращения коленчатого вала; t_b – температура охлаждающей
 жидкости двигателя; $P_{кр}$ – тяговое усилие; $m_{п}$ – масса прицепа;
 $m_{гр}$ – масса груза

Рисунок 6 – Параметры ТТА, фиксируемые при полевых испытаниях

На рисунке 7 представлена разработанная в ходе эксперимента блок-схема автоматического устройства управления работой двигателя с учетом нагрузки транспортного агрегата (патент на полезную модель № 119813).



1 – тензозвено с тензорезисторными датчиками; 2 – тензоусилитель;
 3 – аналогово-цифровой преобразователь; 4 – трехуровневый компаратор;
 5 – электронный блок управления; 6 – четырехканальные силовые ключи;
 7 – форсунки; 8 – стабилизатор напряжения; 9 – реохордный датчик,
 связанный с регулятором подачи топлива; 10 – ключ перекрытия подачи
 топлива; 11 – электромагнитные клапаны

Рисунок 7 – Схема автоматического устройства управления работой двигателя с учетом нагрузки транспортного агрегата

С целью сокращения числа опытов при сохранении достаточной точности и достоверности результатов экспериментальные исследования проводились по плану, составленному на основе теории планирования эксперимента и накопленного опыта при выполнении аналогичных работ. За основу плана экспериментальных исследований принят трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина.

Разработанная методика экспериментальных исследований позволила корректно исследовать работу двигателя и тракторно-транспортного агрегата, определить с достаточной степенью точности их технико-экономические показатели при отключении части цилиндров двигателя.

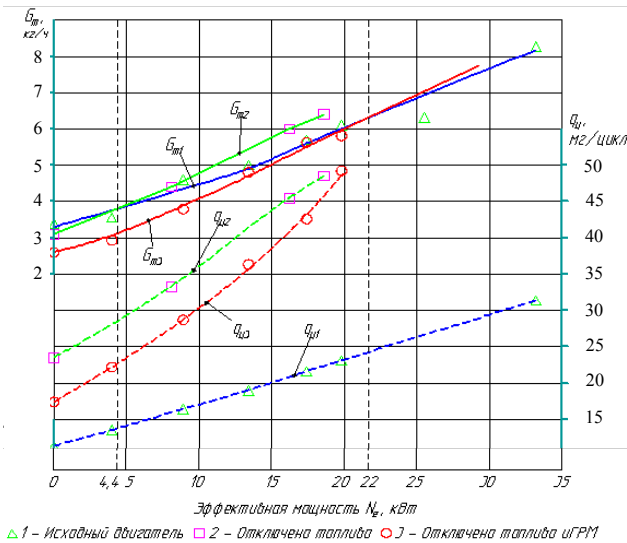
В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» изложены результаты испытаний двигателя Д-240 при отключении части его цилиндров на стенде и при полевых испытаниях ТТА.

Отключение части цилиндров вызывает повышение нагрузки в работающих цилиндрах, в которых, соответственно, повышается цикловая подача топлива. На режиме холостого хода сохранение

частоты вращения коленчатого вала обеспечивается индикаторной мощностью двигателя, равной по величине мощности механических потерь.

Изменение показателей при отключении привода ГРМ при закрытых клапанах, в отличие от отключения только подачи топлива, объясняется снижением механических потерь двигателя на величину насосных потерь и потерь трения от давления газов в отключенных цилиндрах, а также изменением качества сгорания топлива в работающих цилиндрах с увеличением в них нагрузочного режима (индикаторного давления).

При работе двигателя по нагрузочной характеристике (рисунок 8) с постоянной частотой вращения коленчатого вала двигателя необходимо обеспечивать установленную величину загрузки двигателя при всех вариантах работы двигателя.



1 – без отключения цилиндров; 2 – при отключении подачи топлива в два цилиндра; 3 – при отключении топлива и привода ГРМ в двух цилиндрах

Рисунок 8 – Нагрузочная характеристика двигателя Д-240 ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$)

Изменение показателей работы двигателя (g_c – цикловая подача топлива, мг/цикл; G_T – часовой расход топлива, кг/ч; G_B – действи-

тельный расход воздуха, кг/ч; α – коэффициент избытка воздуха; η_v – коэффициент наполнения; t_r – температура отработавших газов; η_i – индикаторный КПД; g_i – удельный индикаторный расход топлива, объясняется теми же причинами, что и при холостом ходе, однако энергия израсходованного топлива затрачивается, в отличие от изменения механических потерь двигателя (пропорциональных частоте вращения коленчатого вала), на преодоление момента сопротивления и на реализацию эффективной мощности.

Величина мощности двигателя Д-240 ограничена значением 33 кВт в связи с тем, что при большей нагрузке экономического эффекта при отключении цилиндров не наблюдается.

При отключении двух цилиндров двигателя Д-240 мощность механических потерь на номинальной частоте снижается на 11%. На холостом ходу при отключении подачи топлива и привода ГРМ второго и третьего цилиндров часовой расход на номинальной частоте вращения коленчатого вала снижается на 24,4%.

При работе двигателя Д-240 под нагрузкой при номинальной частоте вращения:

- при отключении только подачи топлива, при нагрузке от 0 до 8% от номинальной экономия топлива снижается с 8 до 0%;
- при отключении топлива и клапанов половины цилиндров при увеличении нагрузки от 0 до 39% экономия топлива снижается с 24,4 до 0%.

Значение максимальной мощности двигателя при работе на двух цилиндрах и при номинальной частоте вращения составляет 37–39%.

Сравнение результатов расчетных и экспериментальных исследований двигателя Д-240 трактора МТЗ-82 при полевых испытаниях приведено на рисунке 9.

Анализ приведенных теоретических и экспериментальных зависимостей позволяет сделать вывод об адекватности разработанной расчетной модели.

В заключении главы дана оценка эффективности повышения топливной экономичности ТТА отключением части цилиндров двигателя.

Для одного из вариантов устройства отключения части цилиндров произведена оценка стоимости переоборудования трактора МТЗ-82 для работы в режиме экономии, составившая 53 тыс. руб.

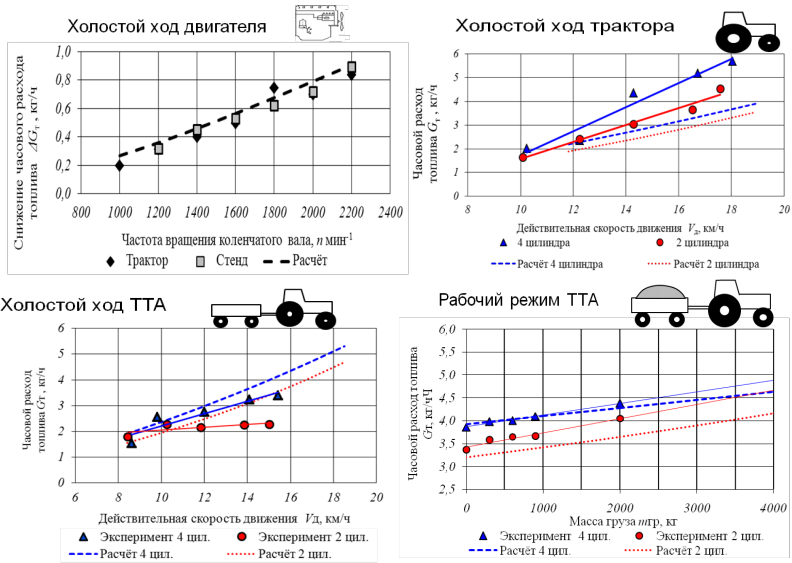


Рисунок 9 – Зависимости часового расхода топлива от условий работы ТТА

На основании статистических данных рассчитано время работы двигателя ТТА на режимах, где будет обеспечиваться экономия топлива. Период окупаемости устройства для отключения части цилиндров двигателя составляет 2,3 года. Экономический эффект от внедрения результатов исследования и разработанных устройств составляет на один трактор типа МТЗ-80/82 21 тыс. руб. в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Повышение топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата при работе с малой загрузкой двигателя по моменту, характерной для транспортных операций, может быть достигнуто за счет увеличения загрузки части цилиндров двигателя трактора-тягача при одновременном отключении других цилиндров ДВС.

2. Установлено средневзвешенное распределение времени по режимам работы ТТА в составе МТЗ-80/82 +2ПТС-4 в сельскохозяйственном производстве:

- холостой ход двигателя: нагрузка – 0%; продолжительность от времени смены – 19...22%;
- холостой ход трактора: нагрузка – 9...24%; продолжительность от времени смены – 27...30%;
- холостой ход ТТА: нагрузка – 14...37%; продолжительность от времени смены – 31...35%;
- рабочий режим ТТА: нагрузка – 25...66%; продолжительность от времени смены – 23...28%.

Таким образом, работа ТТА с малой загрузкой двигателя, характеризующейся повышенным расходом топлива, может максимально достигать 85 % времени смены.

3. Установлено, что максимальная эффективная мощность двигателя Д-240 при номинальной частоте вращения коленчатого вала при работе на трех, двух и одном цилиндре (в неработающих цилиндрах отключены подача топлива и привод механизма газораспределения) составляет, соответственно: 56,14; 38,6; 8,77% от номинальной; мощность механических потерь – 86,36; 81,82; 72,73% от мощности механических потерь без отключения цилиндров.

4. Снижение расхода топлива на режиме холостого хода двигателя при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ при отключении одного цилиндра составляет: 11,7%; двух – 24,1% и трех – 28,67%. Максимальное снижение часового расхода топлива происходит на режиме холостого хода и с увеличением нагрузки уменьшается.

5. При определенной нагрузке расходы топлива при всех работающих цилиндрах и при отключении части цилиндров выравниваются в так называемой «точке нулевой экономии», а при увеличении нагрузки до максимально возможной расход топлива при отключении цилиндров превышает расход топлива при всех работающих цилиндрах.

Значение коэффициента загрузки двигателя по моменту в «точке нулевой экономии» при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ составляет: при отключении одного цилиндра $K_{\text{знд}} = 0,082$; двух цилиндров – $K_{\text{знд}} = 0,303$; трех цилиндров – $K_{\text{знд}} = 0,461$.

6. На основании установленных закономерностей изменения показателей двигателя: мощности механических потерь, эффективной мощности, часового расхода топлива в зависимости от количества работающих цилиндров, разработана математическая модель

работы двигателя ТТА при отключении части его цилиндров, позволяющая с достаточной для практики достоверностью аналитически определять рациональное число работающих цилиндров двигателя, расход топлива в зависимости от значений тягового усилия, тяговой мощности, массы перевозимого груза при различных эксплуатационных режимах и дорожных условиях работы ТТА.

7. Установлено, что при выполнении транспортных работ ТТА в составе трактора-тягача МТЗ-80/82 и прицепа 2ПТС-4 целесообразно отключать один-два цилиндра двигателя. При этом расход топлива зависит от загрузки ДВС, определяемой дорожными условиями, передаточным числом трансмиссии и степенью загрузки прицепа. Так, при движении ТТА на восьмой передаче КП со скоростью 18,5 км/ч по грунтовой укатанной дороге отключение двух цилиндров двигателя (путем отключения подачи топлива и привода ГРМ) позволяет снизить расход топлива в режиме движения трактора без прицепа до 17,1%; в режиме движения ТТА без груза – до 11,6%; в рабочем режиме «точка нулевой экономии» соответствует массе перевозимого груза 2,45 т.

8. В ходе проведенных исследований разработаны устройства: «Система управления топливоподачей с помощью электромагнитных клапанов» (патент № 107553) и «Устройство управления работой двигателя с учетом нагрузки транспортного агрегата» (патент № 119813), которые могут стать основой для разработки автоматической системы регулирования режима работы двигателя отключением части его цилиндров.

9. Эффект от внедрения результатов исследования и разработанных устройств составляет в денежном выражении 21 тыс. руб. на один трактор типа МТЗ-80/82 в год.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Суркин, В. И. Анализ изменения механических потерь дизеля тракторно-транспортного агрегата при отключении части цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев, А. А. Петелин // Достижения науки и техники в АПК. – 2012. – № 7. – С. 80–82.

2. Суркин, В. И. Определение дымности отработавших газов дизеля при отключении части его цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, А. А. Петелин, С. Ю. Федосеев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – Вып. 3. – С. 50–55.

3. Суркин, В. И. Регулирование работы двигателя тракторно-транспортного агрегата отключением части его цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев, А. А. Петелин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – Вып. 3. – С. 41–45.

4. Суркин, В. И. Снижение дымности отработавших газов дизеля отключением части цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, А. А. Петелин, С. Ю. Федосеев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2012. – Вып. 20. – Сер. : Машиностроение. – С. 69–74.

Публикации в других изданиях

5. Суркин, В. И. Анализ расхода топлива дизеля Д-240 при отключении части цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев, А. А. Петелин // Материалы междунар. науч.-практ. конференции. – Волгоград : ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – Т. 2. – С. 254–258.

6. Суркин, В. И. Методика расчета параметров работы двигателя ТТА [Электронный ресурс] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев // Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства : сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (24–25 апреля 2012 г.). – Орел : Орловский государственный аграрный университет. – Режим доступа : <http://www.orelsau.ru>.

7. Суркин, В. И. Определение параметров работы двигателя ТТА при отключении части его цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 61. – С. 91–95.

8. Суркин, В. И. Экспериментальное исследование дымности отработавших газов дизеля при отключении части его цилиндров [Текст] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев, А. А. Петелин // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 61. – С. 85–90.

9. Федосеев, С. Ю. Анализ нагрузочных характеристик дизеля Д-240 при отключении части цилиндров [Текст] / С. Ю. Федосеев, А. А. Петелин // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 148–151.

10. Федосеев, С. Ю. Анализ характеристик холостого хода дизеля Д-240 при отключении части цилиндров [Текст] / С. Ю. Федосеев,

А. А. Петелин, М. А. Русанов [и др.] // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 166–169.

11. Федосеев, С. Ю. Повышение топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата отключением части цилиндров двигателя [Текст] / С. Ю. Федосеев // Вестник ЧГАА. – 2013. – Т. 64. – С. 87–92.

Авторские свидетельства, патенты

12. Пат. на полезную модель 107553 Российская Федерация, МПК F02 М 59/36. Система управления топливоподдачи с помощью электромагнитных клапанов [Текст] / В. И. Суркин, С. Ю. Федосеев, А. А. Петелин. – № 201110984/06 ; заявл. 23.03.2011 ; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23.

13. Пат. на полезную модель 119813 Российская Федерация, МПК F 02 D 17/00, 29/02, 41/40. Устройство управления работой двигателя с учетом нагрузки транспортного агрегата [Текст] / В. И. Суркин, А. А. Петелин, С. Ю. Федосеев, Е. И. Бердов. – № 2012100208/06 ; заявл. 10.01.2012 ; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.

Подписано в печать 30.03.2015. Формат 60×84/16
Гарнитура Times. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 33.

Отпечатано в ИПЦ ФГБОУ ВПО ЧГАА
454080, г. Челябинск, ул. Энгельса, 83