

СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПУТЕМ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЧАСТИ ЕГО ЦИЛИНДРОВ

В.Н. Кожанов¹, А.А. Петелин¹, А.В. Гриценко², В.Д. Шепелев²

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Россия,

²Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Ведущими направлениями конструктивного и технологического совершенствования автотракторных средств являются снижение расхода топлива и токсичности отработавших газов. Одним из наиболее эффективных мероприятий по снижению расхода топлива и воздействия на экологию является использование комплексного метода полного и частичного отключения части цилиндров при эксплуатации ДВС на холостом ходу и малых нагрузках. Данный метод в ограниченном масштабе применяется на современных транспортных средствах. Однако сложность разработки и применения технических средств для его реализации состоит в отличительных особенностях режимов работы автотракторных средств, специфики условий эксплуатации. В приведенных исследованиях индивидуальная разработка мероприятий отключения топливоподачи и привода ГРМ применены к двигателю Д-240 трактора МТЗ-80. Для проведения экспериментальных исследований использовались обкаточно-тормозной стенд КИ-5543 с измерительными приборами, дизельный двигатель Д-240 трактора МТЗ-80, дымомер «Инфракар Д1» и газоанализатор «Infraclight 11Р». При экспериментальной работе были выбраны три характерных режима работы двигателя Д-240 без нагрузки и под нагрузкой $N_e = 0 \dots 35$ кВт: 1) типовой режим работы всех 4 цилиндров; 2) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя; 3) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах и газораспределительного механизма в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя. Установлено, что отключение части цилиндров дизельного двигателя приводит к снижению расхода топлива в среднем на 25–27 %, сажеосодержания и дымности отработавших газов на 30–35 %, в зависимости от режима работы двигателя. Приведены зависимости часового расхода топлива, расхода воздуха, коэффициента избытка воздуха, сажеосодержания и дымности отработавших газов четырехцилиндрового дизельного двигателя при отключении части его цилиндров на различных режимах нагружения.

Ключевые слова: двигатель, токсичность, экономичность, сажеосодержание, дымность, отработавшие газы, коэффициент избытка воздуха, отключение цилиндров.

Введение. Основной движущей силой промышленности и сельского хозяйства является дизельный двигатель. За последние 20 лет принципиально изменился ряд систем дизеля, в первую очередь, это системы управления и топливоподачи [1–3]. Так, например, топливная система common rail позволяет существенно снизить расход топлива за счет оптимального дозирования порции впрыскиваемого топлива [4–6]. Комплексное использование системы управления ДВС позволяет обеспечить рациональность выбора режимов автотракторных средств, значительно увеличить быстродействие ряда исполнительных элементов, улучшить топливную экономичность, снизить выбросы отработавших газов [7–9]. Особую нишу занимает совершенствование элементов выпускного тракта ДВС, в частности катализаторов и нейтрализаторов отработавших газов [10]. Все перечисленные мероприятия имеют целью увеличение мощности ДВС при снижении расхода топлива и уменьшении выбросов отработавших газов в атмосферу [11–13].

В Российской Федерации процесс обновления автотракторных средств идет крайне медленно, до 85 % автотракторных средств не дотягивают даже до норм Евро-2. При том, что на сегодня в развитых странах мира действуют нормы Евро-6. С учетом высокого износа парка особенно актуально проведение мероприятий по снижению токсичности и повышению топливной экономичности двигателей с низкими нормами Евро [2, 4].

Одним из таких мероприятий является использование комплексного метода полного и частичного отключения части цилиндров при эксплуатации ДВС на холостом ходу и малых нагрузках

[9, 14, 15]. Данный метод широко известен и применяется большим количеством автотракторных фирм, таких как BMW, Wolkswagen, Volvo, Scania и др. Однако сложность применения данного метода состоит в отличительных особенностях режимов работы автотракторных средств [16–18]. Поэтому целью исследования является снижение токсичности отработавших газов и повышение топливной экономичности дизельного двигателя трактора Д-240 (как наиболее распространенно-го в промышленности и сельском хозяйстве) путем отключения части его цилиндров.

Разработка мероприятий по снижению токсичности двигателя Д-240 предполагает решение следующих частных задач:

1. Исследовать взаимосвязь основных эксплуатационных показателей двигателя Д-240 с содержанием токсичности в отработавших газах при поцикловом и полном отключении части его цилиндров.

2. Исследовать взаимосвязь топливно-экономических показателей двигателя Д-240 с показателями токсичности при поцикловом и полном отключении части цилиндров.

1. Теоретические исследования. Процесс работы дизельного ДВС сопровождается выделением ряда токсичных компонентов [19, 20]. В практике же диагностирования используют комплексный метод контроля токсичности отработавших газов – измерение дымности и определение сажесодержания [21, 22]. Для исследования взаимосвязи режимов поциклового и полного отключения цилиндров ДВС с параметрами сажесодержания рассмотрим структурную схему теплового расчета (рис. 1).

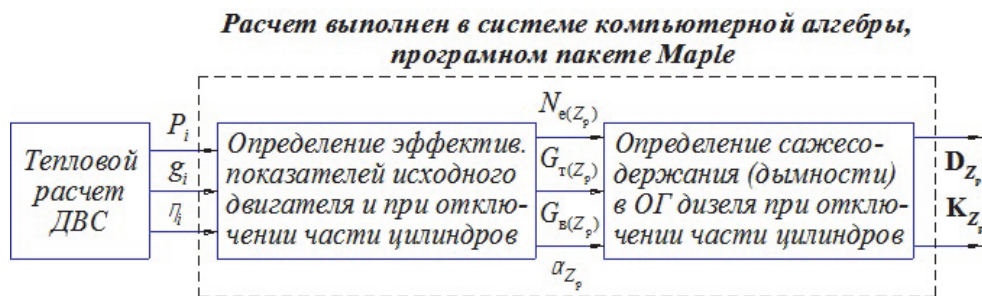
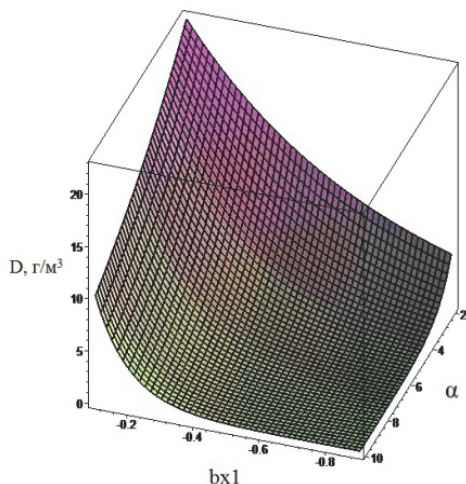


Рис. 1. Структурная схема теплового расчета сажесодержания дизеля

Расчет строится на основе исследования взаимовлияния трех составляющих: 1) коэффициента избытка воздуха α ; 2) коэффициента, учитывающего конструктивные отличия двигателя b_x ; 3) сажесодержания при значительной вариации режимов работы двигателя D . В частности конструктивное исполнение элементов и систем двигателя Д-240 оказывает значительное влияние на сажесодержание. Следует указать граничные условия: 1) расчет строится для технически исправного объекта (для эталонного двигателя Д-240); 2) температура отработавших газов при обеспечении заданного теплового режима стабильна и степень ее изменения не существенна до 5%. По результатам расчета построена зависимость (рис. 2).



Результаты, представленные на рис. 2, при всех вариантах взаимовлияния режимов исследования и конструктивных параметрах двигателя могут быть описаны формулой (1):

$$D = a \cdot e^{-b_x \cdot \alpha}, \quad (1)$$

где e – основание натурального логарифма; a – эмпирический коэффициент; b_x – коэффициент, учитывающий конструктивные отличия двигателя Д-240; α – коэффициент избытка воздуха.

Рис. 2. Зависимость сажесодержания D ($г/м^3$) отработавших газов двигателя Д-240 от коэффициента избытка воздуха α и коэффициента, учитывающего конструктивные отличия двигателя Д-240 b_x

Расчет и конструирование

Расчет был выполнен в программе Mathcad и распространен на различные марки дизельных двигателей при уточнении эмпирического коэффициента a . Для решения поставленных выше задач были выбраны два характерных режима работы двигателя: 1) типовой режим работы всех 4 цилиндров; 2) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя. В результате теоретического расчета для двигателя Д-240 трактора МТЗ-80 были получены зависимости: сажесодержания (D), дымности ОГ (K) и коэффициента избытка воздуха (α) от частоты вращения коленчатого вала (n), представленные на рис. 3 и 4.

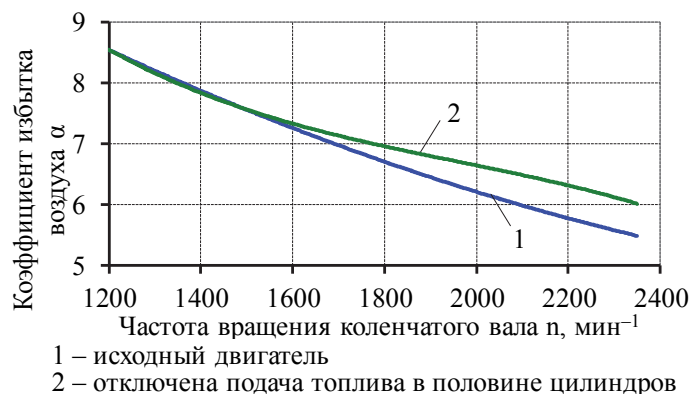


Рис. 3. Теоретическая зависимость коэффициента избытка воздуха от частоты вращения коленчатого вала двигателя Д-240 трактора МТЗ-80

Анализ графиков на рис. 3 показывает, что при типовом режиме работы всех 4 цилиндров зависимость определяется линией 1. При искусственном режиме работы, формируемом посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя Д-240 зависимость (см. рис. 3), начиная с точки 1600 мин^{-1} , идет выше и в пределах $2000\text{--}2400 \text{ мин}^{-1}$ превышает типовой режим на 10–12 %. Объяснить рост коэффициента избытка воздуха на рис. 3 можно улучшением условий процесса сгорания топлива в камере сгорания работающих цилиндров, а также уменьшением часового расхода топлива (так как в два отключенных цилиндра топливо не подается) при практически неизменном расходе воздуха.

Анализ графиков на рис. 4 при сравнении типового режима работы ДВС и искусственного показывает снижение сажесодержания. Зона снижения начинается с 1600 мин^{-1} и продолжается до 2400 мин^{-1} . При значении частоты вращения коленчатого вала 1800 мин^{-1} сажесодержание уменьшается на 10 %, а при 2200 мин^{-1} уже достигает 36 %. Зависимость дымности от частоты вращения коленчатого вала ДВС имеет аналогичный вид. Снижение при 2200 мин^{-1} составляет порядка 30 %. Таким образом, представленные теоретические исследования доказывают эффективность метода отключения цилиндров в пределах $1600\text{--}2400 \text{ мин}^{-1}$.

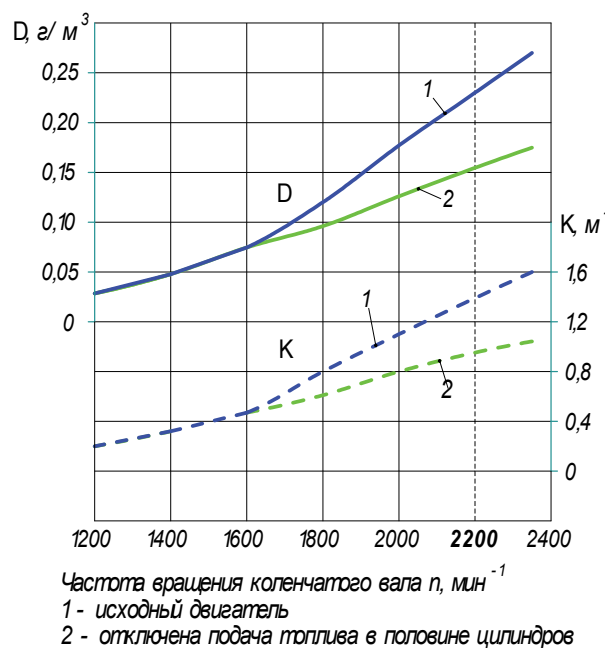


Рис. 4. Теоретическая зависимость сажесодержания и дымности отработавших газов от частоты вращения коленчатого вала двигателя Д-240 трактора МТЗ-80

2. Методика исследований. Для проведения экспериментальных исследований применялся обкаточно-тормозной стенд КИ-5543 с измерительными приборами (рис. 5). На экспериментальном стенде установлен дизельный двигатель Д-240 трактора МТЗ-80. Экспериментальный стенд позволяет проводить исследования в широком диапазоне: нагрузок $0\text{--}370 \text{ Н м}$ и скоростных ре-

жимов 1100...2800 мин⁻¹. Кроме того, в топливные магистрали системы питания двигателя Д-240 были установлены электромагнитные клапана процесса управления отсечкой топлива (рис. 6).

При проведении экспериментальных исследований кроме измерительных стендовых приборов применялись: Дымомер «Инфракар Д1» и газоанализатор «Infralight 11Р». Данные приборные средства перед проведением экспериментальных исследований прошли необходимую поверку. Дымомером производился контроль параметров дымности при обеспечении широкого диапазона скоростей коленчатого вала двигателя 1100–2400 мин⁻¹. По известной методике проводился пересчет в единицы сажесодержания [1]. При помощи газоанализатора проводилось измерение оксидов азота (NO_x), углеводородов (СН), коэффициента избытка воздуха в рабочем диапазоне скоростей коленчатого вала двигателя 1100–2400 мин⁻¹.



Рис. 5. Обкаточно-тормозной стенд КИ-5543 с измерительными приборами



Рис. 6. Электромагнитные клапана процесса управления отсечкой топлива

3. Экспериментальные исследования (расчеты на ЭВМ и т. д.) При стендовых экспериментальных исследованиях на двигателе Д-240 без нагрузки были получены: 1) зависимости часового расхода топлива G_T (кг/ч) и дымности K (м⁻¹), отработавших газов дизельного ДВС Д-240 от частоты вращения коленчатого вала n (мин⁻¹) (рис. 7); 2) зависимости расхода воздуха G_B (кг/ч) и коэффициента избытка воздуха α дизеля Д-240 от частоты вращения коленчатого вала n (мин⁻¹) (рис. 8).

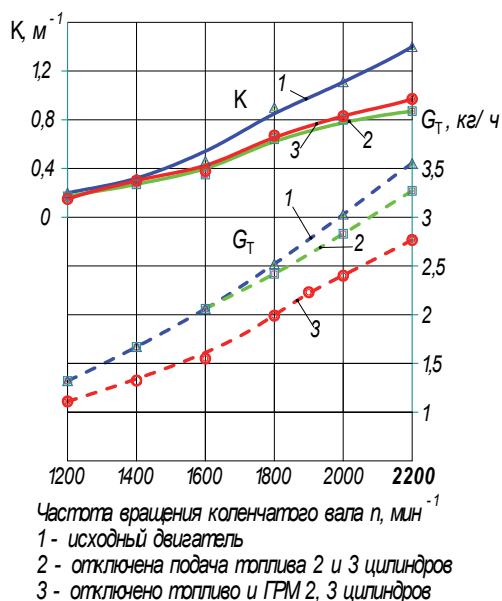


Рис. 7. Зависимости часового расхода топлива G_T , кг/ч и дымности K , м⁻¹ отработавших газов дизельного ДВС Д-240 от частоты вращения коленчатого вала n , мин⁻¹

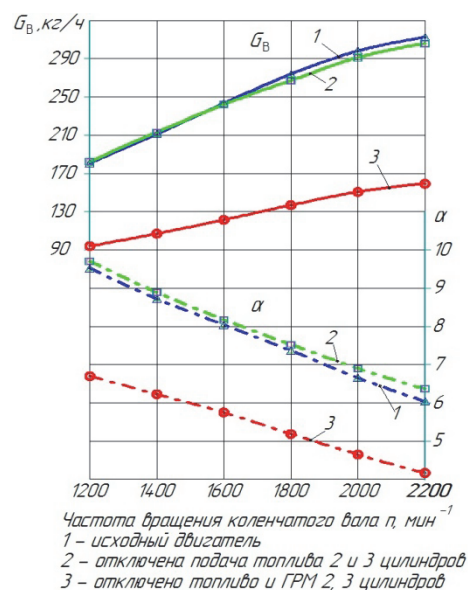


Рис. 8. Зависимости расхода воздуха G_B , кг/ч и коэффициента избытка воздуха α дизеля Д-240 от частоты вращения коленчатого вала n , мин⁻¹

Расчет и конструирование

При экспериментальной работе были выбраны три характерных режима работы двигателя Д-240: 1) типовой режим работы всех 4 цилиндров; 2) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя; 3) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах и газораспределительного механизма в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя.

При анализе экспериментальных данных на рис. 7 для 2 и 3 режимов испытаний дымность уменьшилась. Причем уменьшение составило более 30 %. Объясняется это лучшими условиями сгорания топливно-воздушной смеси, снижением неравномерности цикловой подачи топлива и увеличением коэффициента избытка воздуха. Причем эффект снижения дымности начинает проявляться уже с 1400 мин^{-1} . Уменьшение часового расхода топлива для 1 и 2 режимов испытаний составило $0,2\text{--}0,3 \text{ кг/ч}$ при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$. Отключение же привода ГРМ для 3 режима испытаний позволило сэкономить $0,7\text{--}0,8 \text{ кг/ч}$ расходуемого на работу топлива.

Анализ данных рис. 8 показывает небольшое уменьшение расхода воздуха G_B между первым и вторым режимами испытаний. А вот для третьего режима наблюдается резкое снижение расхода воздуха, так как клапана двух цилиндров фактически закрыты и впуска воздуха не происходит. При этом исключаются лишние затраты энергии на всасывание воздуха, его сжатие и трение о стенки при движении. Коэффициент избытка воздуха, как видно в третьем варианте испытаний рис. 8, существенно упал во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя в связи с существенным уменьшением поступления воздуха при отключении приводов ГРМ двух цилиндров. При этом топлива, поступающего в два работающих цилиндра, требуется больше (увеличивается цикловая подача) при уменьшении неравномерности цикловой подачи в два работающих цилиндра. Наблюдается улучшение условий процесса сгорания.

На втором этапе экспериментальных исследований была поставлена основная задача, состоящая в выявлении взаимосвязи параметров токсичности дизельного ДВС со степенью отключения цилиндров под нагрузкой. В результате проведения исследований на испытательном стенде были получены результаты (под нагрузкой $N_e = 0 \dots 35 \text{ кВт}$): 1) зависимости дымности отработавших газов и часового расхода топлива от эффективной мощности двигателя при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 9); 2) зависимости расхода воздуха и коэффициента избытка воздуха от эффективной мощности двигателя при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 10). Экспериментальные исследования при больших N_e результатов экономии топлива и снижения токсичности выхлопных газов не дают.

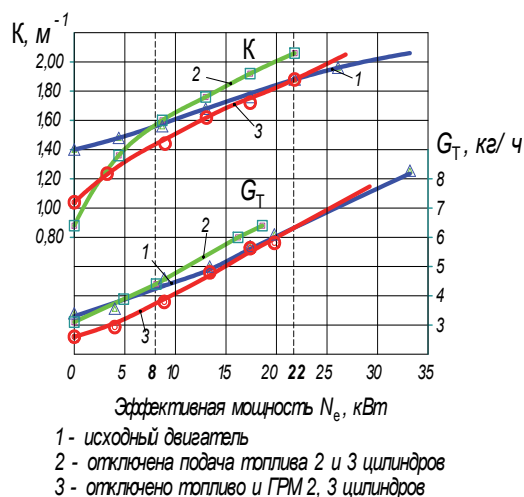


Рис. 9. Зависимости дымности отработавших газов $K, \text{ м}^{-1}$ и часового расхода топлива $G_T, \text{ кг/ч}$ от эффективной мощности двигателя $N_e, \text{ кВт}$ при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$

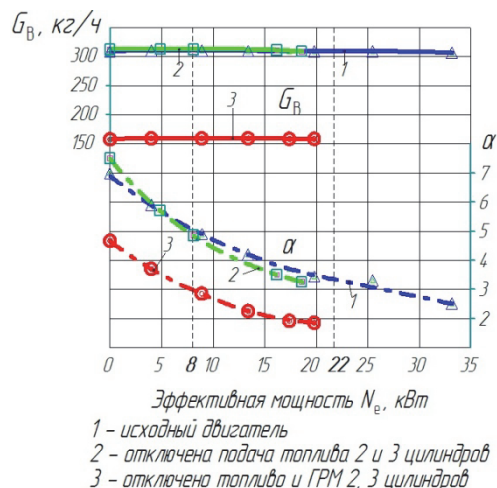


Рис. 10. Зависимости расхода воздуха $G_B, \text{ кг/ч}$ и коэффициента избытка воздуха α от эффективной мощности двигателя $N_e, \text{ кВт}$ при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$

При экспериментальной работе были выбраны три характерных режима работы двигателя Д-240 под нагрузкой $N_e = 0 \dots 35 \text{ кВт}$: 1) типовой режим работы всех 4 цилиндров; 2) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя; 3) искусственный режим работы, формируемый посредством отклю-

чения подачи топлива в 2 цилиндрах и газораспределительного механизма в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя.

Проведем анализ результатов экспериментальных исследований на рис. 9, 10. При отключении топливоподачи в двух цилиндрах эффект снижения расхода топлива продолжается в пределах изменения нагрузки $N_e = 0 \dots 8$ кВт (см. рис. 9). Дальнейшее нагружение больше 8 кВт приводит к противоположному результату – расход топлива увеличивается. Однако при третьем варианте работы ДВС эффект снижения расхода топлива продолжается в более широком диапазоне изменения нагрузки $N_e = 0 \dots 22$ кВт (см. рис. 9). Хотя в пределах $N_e = 15 \dots 22$ кВт он близок к нулю. Существенного снижения дымности отработавших газов при отключении топливоподачи на втором варианте работы ДВС, как показывает анализ рис. 9, можно достичь в узком диапазоне нагрузки $N_e = 0 \dots 8$ кВт – $0,87-1,55 \text{ м}^{-1}$. Последующее нагружение приводит к существенному увеличению дымности и эффект отключения топлива нивелируется. При третьем варианте работы ДВС снижение дымности продолжается в более широком диапазоне $N_e = 0 \dots 22$ кВт (см. рис. 9).

Анализ данных на рис. 10 показывает существенное снижение расхода воздуха G_b и коэффициента избытка воздуха α от эффективной мощности двигателя N_e при третьем варианте работы ДВС. Объясняется это отсутствием насосного действия двух цилиндров. С экологической точки зрения очень выгодно и эффективно уменьшение количества поступающего воздуха в диапазоне $N_e = 0 \dots 22$ кВт с 300 до 150 кг/ч. Так как разница расходов воздуха $300 - 150 = 150$ кг/ч не поступает в цилиндр и не будет загрязнена отработавшими газами.

В завершающей части статьи проведем сопоставление экспериментальных данных с теоретическими (рис. 11, 12).

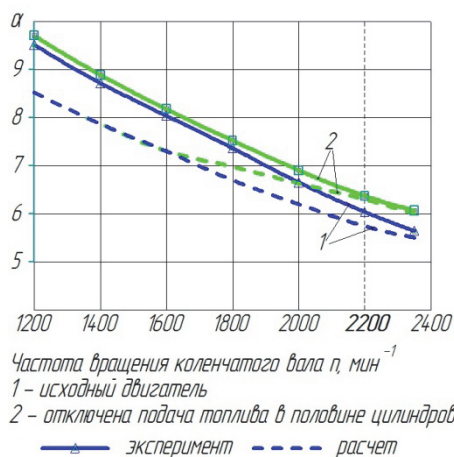


Рис. 11. Зависимости коэффициента избытка воздуха α от частоты вращения коленчатого вала двигателя n , мин^{-1}

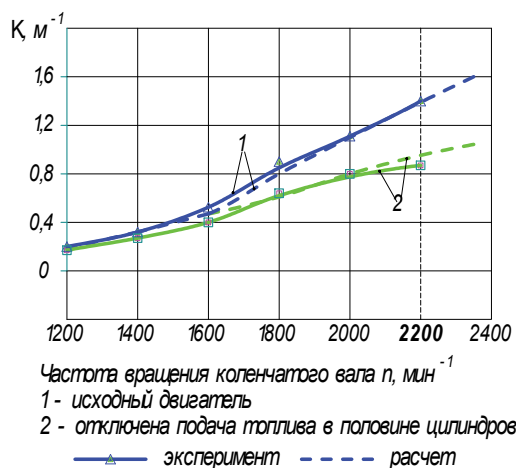


Рис. 12. Зависимости дымности K , м^{-1} отработавших газов от частоты вращения коленчатого вала n , мин^{-1}

При сравнительной оценке были выбраны два характерных режима работы двигателя Д-240: 1) типовой режим работы всех 4 цилиндров; 2) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя.

Анализ зависимости (см. рис. 11) коэффициента избытка воздуха α от частоты вращения коленчатого вала показывает на достаточную сходимость результатов. Так в диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя $1200-1800 \text{ мин}^{-1}$ наблюдается наибольшее расхождение, которое не превышает 7 %. Сравнение данных на рис. 12 показывает на расхождение теоретических и экспериментальных данных в пределах 1 %.

Выводы

1. Разработан метод повышения топливной экономичности и снижения выбросов токсичных компонентов путем отключения части цилиндров двигателя (отключению топливоподачи и привода клапанов ГРМ).

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны: 1) обкаточно-тормозной стенд КИ-5543 с измерительными приборами; 2) дизельный двигатель Д-240 трактора МТЗ-80; 3) дымомер «Инфракар Д1» и газоанализатор «Infralight 11P».

Расчет и конструирование

2. При экспериментальной работе были выбраны три характерных режима работы двигателя Д-240 без нагрузки и под нагрузкой $N_e = 0 \dots 35$ кВт: 1) типовой режим работы всех 4 цилиндров; 2) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя; 3) искусственный режим работы, формируемый посредством отключения подачи топлива в 2 цилиндрах и газораспределительного механизма в 2 цилиндрах 4-цилиндрового двигателя.

В результате экспериментальных исследований установлено: снижение дымности ОГ дизельного двигателя Д-240 трактора МТЗ-80 на номинальной частоте вращения коленчатого вала:

- при отключении подачи топлива во 2-й и 3-й цилиндры на 38 %;
- при одновременном отключении топлива и приводов ГРМ 2-го, 3-го цилиндров на 30 %.

3. При отключении топливopодачи в двух цилиндрах эффект снижения расхода топлива продолжается в пределах изменения нагрузки $N_e = 0 \dots 8$ кВт. Дальнейшее нагружение больше 8 кВт приводит к противоположному результату – расход топлива увеличивается. При отключении ГРМ эффект снижения расхода топлива продолжается в более широком диапазоне изменения нагрузки $N_e = 0 \dots 22$ кВт. Существенного снижения дымности отработавших газов при отключении топливopодачи на втором варианте работы ДВС можно достичь в узком диапазоне нагрузки $N_e = 0 \dots 8$ кВт – $0,87\text{--}1,55$ м⁻¹. Последующее нагружение приводит к существенному увеличению дымности и эффект отключения топлива нивелируется. При третьем варианте работы ДВС снижение дымности продолжается в более широком диапазоне $N_e = 0 \dots 22$ кВт.

4. Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими показывает, что в диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя 1200–1800 мин⁻¹ наблюдается наибольшее расхождение, которое не превышает 7 %. Сравнение данных на рис. 12 показывает расхождение теоретических и экспериментальных данных в пределах 1 %.

Обсуждение и применение. В практике эксплуатации автотракторной техники известны проблемы выполнения достаточно широкого перечня выполняемых работ и требуемых режимов эксплуатации. Работы, направленные на рациональный выбор грузоподъемности автомобилей, тягового класса тракторов не приводят к желаемой эффективной загрузке двигателя. В результате при работе на холостом ходу и малых нагрузках не обеспечивается заданная экономичность. Кроме того, показатели токсичности превышают допустимый порог на 10–30 %. Необходимы мероприятия по снижению токсичности и повышению топливной экономичности двигателей с низкими нормами Евро. Одним из наиболее эффективных мероприятий является использование комплексного метода полного и частичного отключения части цилиндров при эксплуатации ДВС на холостом ходу и малых нагрузках. Индивидуальная разработка мероприятий отключения топливopодачи и привода ГРМ, конкретно под каждую машину с учетом особенностей режимов работы автотракторных средств и специфики их условий является актуальной задачей.

Теоретические и экспериментальные исследования, приведенные в данных материалах, решены для дизельного двигателя трактора Д-240. Однако при уточнении в экспериментальных условиях могут быть распространены на любые дизельные и бензиновые двигатели, а также перспективные новые модели, эксплуатирующиеся при недозагрузках.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Литература

1. Суркин, В.И. Снижение дымности отработавших газов дизеля отключением части цилиндров / В.И. Суркин, А.А. Петелин, С.Ю. Федосеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 20. – С. 69–74.
2. Shigemori, M. Development of a combustion system for a light duty D.I. diesel engine / M. Shigemori, S. Tsuruoka, M. Shimoda // International Off-Highway Meeting and Exposition (SAE). – 1983. – P. 831296. DOI: 10.4271/831296
3. Turbocharging modern diesel & gas engines up to 3200KW / H. Born, R. Meier, M. Kahi, M. Seiler // American Society of Mechanical Engineers, Internal Combustion Engine Division (Publication) ICE. – 1997. – Vol. 29. – P. 39–46.
4. Boguś, P. Short-time analysis of combustion engine vibroacoustic signals through pattern recog-

1. Boguś, J. Merksiz // *Noise and Vibration Conference and Exhibition (SAE)*. – 2005. DOI:10.4271/2005-01-2529
2. Kimmich, F. Model based fault detection for the injection, combustion and engine-transmission / F.Kimmich, R. Isermann // *15th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC-PapersOnline)*. – 2002. Vol. 15, Iss. 1. – P. 203–208. ISSN: 14746670
3. Hajari, S.C. Diagnosis and repair of excessively emitting vehicles / S.C. Hajari // *Journal of the Air and Waste Management Association*. – 1996. – Vol. 46, iss. 10. – P. 940–952. DOI: 10.1080/10473289
4. Gumus, M. Application of phase change materials to pre-heating of evaporator and pressure regulator of a gaseous sequential injection system / M. Gumus, A. Ugurlu // *Applied Energy*. – 2011. – Vol. 88, iss. 12. – P. 4803–4810. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.053
5. Gritsenko, A. Theoretical Underpinning of Diagnosing the Cylinder Group During Motoring / A. Gritsenko, S. Kukov, K. Glemba // *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE)*. – 2016. – Vol. 150. – P. 1182–1187. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.233
6. Gritsenko, A. Experimental Studies of Cylinder Group State During Motoring / A. Gritsenko, A. Plaksin, K. Glemba // *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE)*. – 2016. – Vol. 150. – P. 1188–1191. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.234
7. Суркин, В.И. Регулирование работы двигателя тракторно-транспортного агрегата отключением части его цилиндров / В.И. Суркин, С.Ю. Федосеев, А.А. Петелин // *Известия Самар. гос. с.-х. академии*. – 2012. – Вып. 3. – С. 41–45.
8. Theotokatos, G. Investigation of a large high-speed diesel engine transient behavior including compressor surging and emergency shutdown / G. Theotokatos, N.P. Kyrtatos // *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. – 2003. – Vol. 125, iss. 2. – P. 580–589. DOI: 10.1115/1.1559903
9. Chiatti, G. Turbocharging a small displacement diesel engine for urban vehicles / G. Chiatti, O. Chiavola, E. Recco // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. – 2017. – Vol. 8, iss. 7. – P. 1916–1928.
10. Zamboni, G. Effects of a dual-loop exhaust gas recirculation system and variable nozzle turbine control on the operating parameters of an automotive diesel engine / G. Zamboni, S. Moggia, M. Capobianco // *Energies*. – 2017. – Vol. 10, iss. 1. DOI: 10.3390/en1001004713
11. Химченко, А.В. Снижение неравномерности крутящего момента двигателя с отключением цилиндров на режимах частичного нагружения / А.В. Химченко, Д.Г. Мишин, А.В. Бузов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2013. – № 1. – С. 46–51.
12. Отключение цилиндров как способ улучшения топливной экономичности бензиновых двигателей / В.А. Марков, С.Н. Девянин, Э.А. Савастенко, А.А. Савастенко // *Автомобильная промышленность*. – 2014. – № 1. – С. 5–8.
13. Журавлев, С.С. Апробация способа управления мощности ДВС отключением цилиндров / С.С. Журавлев, К.В. Зубарев // *Техника и технологии строительства*. – 2015. – № 3 (3). – С. 14–20.
14. Иванов, Р.В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь: автореф. дис. канд. техн. наук / Р.В. Иванов. – Волгоград, 2010. – 40 с.
15. Gritsenko, A.V. Studuing lubrication system of turbocompressor rotor with integrated electronic control / A.V. Gritsenko, A.M. Plaksin, V.D. Shepelev // *International Conference on Industrial Engineering (ICIE)*. – 2017. – Vol. 206. – P. 611–616. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.525
16. Влияние отключения некоторых цилиндров двигателя на токсичность отработавших газов / В.Н. Кожанов, Н.А. Баганов, А.А. Петелин, Т.Г. Бехтольд // *Новости науки Казахстана*. – 2014. – № 1 (119). – С. 104–114.
17. Изучение снижения токсичности отработавших газов дизельного двигателя / В.Н. Кожанов, А.А. Петелин, Н.А. Баганов, Т.Г. Бехтольд // *Вестник Нац. инженер. академии Республики Казахстан*. – 2017. – № 1 (63). – С. 97–104.
18. Stein, R.A. An overview of the effects of ethanol-gasoline blends on SI engine performance, fuel efficiency, and emissions / R.A. Stein, J.E. Anderson, T.J. Wallington // *SAE International Journal of Engines*. – 2013. – Vol. 6, iss. 1. – P. 470–487. DOI: 10.4271/2013-01-1635
19. Gonçalves, M. Emissions variation in urban areas resulting from the introduction of natural gas vehicles: Application to Barcelona and Madrid greater areas (Spain) / M. Gonçalves, P. Jiménez-Guerrero, J.M. Baldasano // *Science of the Total Environment*. – 2009. – Vol. 407, iss. 10. – P. 3269–3281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.039

Расчет и конструирование

Кожанов Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, kozhanoww@mail.ru.

Петелин Андрей Александрович, ассистент кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, petelin_aa@mail.ru.

Гриценко Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, alexgrits13@mail.ru.

Шепелев Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, shepelevd@susu.ru.

Поступила в редакцию 28 февраля 2018 г.

DOI: 10.14529/engin180204

REDUCING THE TOXICITY OF EXHAUST GASES OF DIESEL ENGINES BY DISABLING SOME OF ITS CYLINDERS

V.N. Kozhanov¹, kozhanoww@mail.ru,

A.A. Petelin¹, petelin_aa@mail.ru,

A.V. Gritsenko², alexgrits13@mail.ru,

V.D. Shepelev², shepelevd@susu.ru

¹South Ural Agrarian State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The main lines of constructive and technological improvement of motor vehicles are reducing fuel consumption and exhaust gas toxicity. One of the most effective measures to reduce fuel consumption and impact on the environment is to apply a complex method for full and partial shutdown of some cylinders when the engine operates at idle and low loads. This method limitedly applied for modern vehicles. However, it is complicated to develop and use the technical means for its implementation due to the distinctive features of operating modes of motor vehicles and the specifics of operating conditions. In the reviewed studies, the particularly developed measures for disabling fuel supply and timing drive were applied to the D-240 engine of an MTZ-80 tractor. To carry out the experiments, we used a KI-5543 roller-brake stand with measurement instruments, a D-240 diesel engine of an MTZ-80 tractor, an “Infrakar D1” opacimeter and an “Infralight 11P” gas analyzer. For the experiments, we selected three typical operating modes of a D-240 engine without load and under the load $N_e = 0...35$ kW: 1. a normal operating mode of all 4 cylinders; 2. an artificial operating mode created by switching off the fuel supply in 2 cylinders of a 4-cylinder engine; 3. an artificial operating mode created by switching off the fuel supply in 2 cylinders and gas distribution mechanism in 2 cylinders of a 4-cylinder engine. It was found that the shutdown of some diesel engine cylinders leads to a reduction in fuel consumption by an average of 25–27 %, in carbon-black content and smoke content of exhaust gases by 30–35 %, depending on the operating mode of the engine. We determined the dependences of the hourly fuel consumption, air consumption, air excess coefficient, carbon-black content and smoke content of exhaust gases of the four-cylinder diesel engine when switching off some of its cylinders at different loading modes.

Keywords: engines, toxicity, efficiency, carbon-black content, smoke content, exhaust gases, air excess factor, shutdown of cylinders.

The work was supported by Act No. 211 Government of the Russian Federation, contract No. 02.A03.21.0011.

References

1. Surkin V.I., Petelin A.A., Fedoseev S.Y. [Reducing the Opacity of Exhaust Gases of a Diesel Engine by Disabling Part of the Cylinder]. *Bulletin of the South Ural state University. Ser. Mechanical Engineering*, 2012, vol. 20, pp. 69–74. (in Russ.)
2. Shigemori M., Tsuruoka S., Shimoda M. Development of a Combustion System for a Light Duty D.I. Diesel Engine. *International Off-Highway Meeting and Exposition (SAE)*, 1983. DOI: 10.4271/831296
3. Born H., Meier R., Kahi M., Seiler M. Turbocharging Modern Diesel & Gas Engines up to 3200KW. *American Society of Mechanical Engineers, Internal Combustion Engine Division (Publication) ICE*, 1997, vol. 29, pp. 39–46.
4. Boguś P., Merkisz J. Short-Time Analysis of Combustion Engine Vibroacoustic Signals through Pattern Recognition Techniques. *Noise and Vibration Conference and Exhibition (SAE)*, 2005. DOI: 10.4271/2005-01-2529
5. Kimmich F., Isermann R. Model Based Fault Detection for the Injection, Combustion and Engine-Transmission. *15th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC-PapersOnline)*, 2002, vol. 15, iss. 1, pp. 203–208.
6. Hajari S.C. Diagnosis and Repair of Excessively Emitting Vehicles. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 1996, vol. 46, iss. 10, pp. 940–952. DOI: 10.1080/10473289
7. Gumus M., Ugurlu A. Application of Phase Change Materials to Pre-Heating of Evaporator and Pressure Regulator of a Gaseous Sequential Injection System. *Applied Energy*, 2011, vol. 88, iss. 12, pp. 4803–4810. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.053
8. Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical Underpinning of Diagnosing the Cylinder Group During Motoring. *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE)*, 2016, vol. 150, pp. 1182–1187. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.233
9. Gritsenko A., Plaksin A., Glemba K. Experimental Studies of Cylinder Group State During Motoring. *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE)*, 2016, vol. 150, pp. 1188–1191. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.234
10. Surkin V.I., Petelin A.A., Fedoseev S.Y. [Regulation of the Engine Operation of the Tractor-Transport Unit by Cutting off Part of Its Cylinders]. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*, 2012, vol. 3, pp. 41–45. (in Russ.)
11. Theotokatos G., Kyrtatos N.P. Investigation of a Large High-Speed Diesel Engine Transient Behavior Including Compressor Surging and Emergency Shutdown. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 2003, vol. 125, iss. 2, pp. 580–589. DOI: 10.1115/1.1559903
12. Chiatti G., Chiavola O., Recco E. Turbocharging a Small Displacement Diesel Engine for Urban Vehicles. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2017, vol. 8, iss. 7, pp. 1916–1928.
13. Zamboni G., Moggia S., Capobianco M. Effects of a Dual-Loop Exhaust Gas Recirculation System and Variable Nozzle Turbine Control on the Operating Parameters of an Automotive Diesel Engine. *Energies*, 2017, vol. 10, iss. 1. DOI: 10.3390/en1001004713
14. Khimchenko A.V., Mishin D.G., Buzov A.V. [Reducing the Unevenness of the Engine's Torque with the Disengagement of the Cylinders under Partial Loading Regimes]. *Internal combustion engines*, 2013, no 1, pp. 46–51. (in Russ.)
15. Markov V.A., Devyanin S.N., Savastenko E.A., Savastenko A.A. [Disengagement of Cylinders as a Way to Improve the Fuel Economy of Gasoline Engines]. *Automotive industry*, 2014, no. 1, pp. 5–8. (in Russ.)
16. Zhuravlev S.S., Zubarev K.V. [Approbation of the Method for Controlling the Engine Power by Switching off the Cylinders]. *Engineering and technology of construction*, 2015, no. 3 (3), pp. 14–20. (in Russ.)
17. Ivanov R.V. *Diagnostirovaniye DVS po parametru moshchnosti mekhanicheskikh poter'* Dokt. Diss. [Diagnosis of ICE by the parameter of the power of mechanical losses. Dokt. Diss.]. Volgograd, 2010. 40 p. (in Russ.)
18. Gritsenko A.V., Plaksin A.M., Shepelev V.D. Studying lubrication system of turbocompressor rotor with integrated electronic control. *International Conference on Industrial Engineering (ICIE)*, 2017, vol. 206, pp. 611–616. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.525

Расчет и конструирование

19. Kozhanov V.N., Baganov N.A., Petelin A.A., Bekhtold T.G. [Effect of Switching off Certain Engine Cylinders on Exhaust Toxicity]. *Science news of Kazakhstan*, 2014, no. 1 (119), pp. 104–114. (in Russ.)

20. Kozhanov V.N., Petelin A.A., Baganov N.A., Bekhtold T.G. [Study of Reducing the Toxicity of Exhaust Gases of a Diesel Engine]. *Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan*, 2017, no. 1 (63), pp. 97–104. (in Russ.)

21. Stein R.A. An Overview of the Effects of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine Performance, Fuel Efficiency, and Emissions. *SAE International Journal of Engines*, 2013, vol. 6, iss. 1, pp. 470–487. DOI: 10.4271/2013-01-1635

22. Gonçalves M., Jiménez-Guerrero P., Baldasano J.M. Emissions Variation in Urban Areas Resulting from the Introduction of Natural Gas Vehicles: Application to Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain). *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, iss. 10, pp. 3269–3281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.039

Received 28 February 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Снижение токсичности отработавших газов дизельного двигателя путем отключения части его цилиндров / В.Н. Кожанов, А.А. Петелин, А.В. Гриценко, В.Д. Шепелев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 34–44. DOI: 10.14529/engin180204

FOR CITATION

Kozhanov V.N., Petelin A.A., Gritsenko A.V., Shepelev V.D. Reducing the Toxicity of Exhaust Gases of Diesel Engines by Disabling Some of its Cylinders. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 34–44. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180204