

## МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ТОКСИЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И СЕЛЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ЕГО СИСТЕМ

А.В. Гриценко<sup>1,2</sup>, З.В. Альметова<sup>1</sup>, М.В. Аношина<sup>1</sup>, А.М. Лыков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Россия

Изменение технического состояния ДВС при эксплуатации таких систем, как система питания, система зажигания, цилиндропоршневая группа, система впуска и выпуска приводит к ухудшению процесса сгорания, росту токсичных компонентов и, как следствие, ведет к ускорению выработки ресурса катализатора. В свою очередь, отказ катализатора приведет к несоответствию экологического класса автомобиля существующим нормам ЕВРО и последующая замена отказавшего элемента не меняет ситуации, а для устранения первопричины отказа катализатора требуется замена некоторых элементов систем. В связи с этим в процессе эксплуатации ДВС актуальна разработка способов контроля динамики изменения концентрации токсичных компонентов CO, CH, CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в отработавших газах, что возможно при использовании портативных газоанализаторов, встроенных в систему выпуска отработавших газов. Работа портативного газоанализатора может быть организована дискретно, в виде тестовых режимов мониторинга параметров токсичности, например, на холостом ходу, в режиме разгона, на постоянных мощностных и нагрузочных режимах, при работе избирательно отдельных цилиндров двигателя. В данном исследовании с целью дозагрузки цилиндров осуществляется полное и частичное отключение цилиндров разработанным портативным прибором – догрузателем бензинового двигателя. Измерение параметров токсичности производится четырехкомпонентным газоанализатором. Проведенный комплекс исследований показал высокую эффективность контроля технического состояния цилиндропоршневой группы, систем топливоподдачи и зажигания и других систем путем контроля параметров токсичности отработавших газов. При высокой селективности воздействия нагрузки на отдельные цилиндры и при ее существенной вариации можно предупредить отказ катализатора, в том числе и за счет адаптивности исполнительных элементов под изменение технического состояния отдельных узлов.

*Ключевые слова:* двигатель, диагностирование, частота вращения коленчатого вала, токсичность, каталитический нейтрализатор, топливная экономичность.

**Актуальность исследований.** Автомобильный транспорт занимает лидирующие позиции в грузообороте и пассажирообороте среди других видов транспорта: грузооборот занимает 68 %, пассажирооборот – 72 %. По статистическим данным автопарк легковых автомобилей на территории РФ увеличился на 50 % за недавний период в 10 лет [1, 2]. Челябинск входит в десять региональных центров с самым большим автопарком (около 323 тыс. ед.). В этот же список входят города: Екатеринбург, Новосибирск, Самара, Казань, Нижний Новгород, Омск, Краснодар, Ростов-на-Дону и Воронеж.

Естественно, данный факт не может не сказываться на экологической ситуации города, региона и страны в целом. В настоящее время вопрос экологичности автомобильного транспорта является одним из основных. Современные требования к экологическому классу автотранспорта требуют: для завода-изготовителя на территории РФ производство автомобилей класса не ниже ЕВРО-5, в странах лидерах – не ниже норм ЕВРО-6, которые обязывают современным автомобилям обеспечить снижение величин CO в 2,7 раза, CH – в 2 раза, NOx – в 3 раза. Все эти факторы влияют на экологическое состояние атмосферы, воды и почвы. Ежегодно мировое хозяйство выбрасывает в атмосферу 350 млн т окиси углерода, более 50 млн т различных углеводородов, 150 млн т двуокиси серы. В атмосфере накапливается углекислый газ, уменьшается количество кислорода [3–5].

Таким образом, экологические требования к автомобилю и его двигателю являются на сегодняшний день приоритетными. Экологическая чистота отработавших газов (ОГ) закладывается

## Расчет и конструирование

в конструкцию двигателя и автомобиля в целом при его проектировании, и при эксплуатации автомобиля прогнозируемая характеристика токсичности должна быть на стабильном уровне без каких-либо изменений, что довольно трудно соблюсти при влиянии внешних неучтенных факторов [6–9].

*Цель работы:* разработка метода диагностирования ДВС по параметрам токсичности отработавших газов на тестовых режимах.

*Задачи исследований:*

- проведение анализа способов и мероприятий по снижению выбросов токсичных компонентов;
- анализ теоретических исследований по установлению взаимосвязей между техническим состоянием систем ДВС и параметрами токсичности ДВС;
- установление взаимосвязи между количеством отключенных цилиндров и отдельными циклов и мощностью, крутящим моментом и параметрами токсичности ОГ;
- разработка методики исследования параметров токсичности ОГ при изменении нагрузочных режимов;
- проведение экспериментальных исследований и установление взаимосвязи между режимом нагружения и параметрами токсичности при изменении технического состояния систем ДВС;
- экономическая оценка разработки метода диагностирования ДВС по токсичности ОГ на тестовых режимах.

*Гипотеза исследований:* изменение технического состояния систем ДВС приводит к увеличению токсичности ОГ. При работе одновременно всех цилиндров ДВС невозможно осуществить диагностирование каждого цилиндра. Применение метода тестового нагружения путем полного или частичного отключения цилиндров ДВС позволяет определить вклад в общую токсичность каждого из цилиндров. *Объект исследований:* процесс выпуска отработавших газов при тестовом нагружении цилиндров ДВС. *Предмет исследований:* взаимосвязь между степенью отключения цилиндров и циклов с параметрами токсичности ОГ.

**Теоретические исследования.** Существуют различные методы диагностирования неисправности и способы снижения токсичности ОГ [10–13]. Для достижения минимальных выбросов ОГ были рассмотрены следующие мероприятия: повышение качества изготовления деталей, применение альтернативных видов топлив и присадок, рециркуляция ОГ, разработка малотоксичных рабочих процессов, термическая нейтрализация ОГ, жидкостная нейтрализация ОГ, каталитическая нейтрализация ОГ и отключение части цилиндров и циклов [14, 15].

Степень очистки ОГ определяется [16, 17]:

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{0,41al}{\text{Re}_{ef}^{0,25}}\right), \quad (1)$$

где  $\delta$  – степень очистки ОГ;  $a$  – удельная поверхность гранул катализатора,  $\text{м}^2/\text{г}$ ;  $l$  – толщина слоя катализатора,  $\text{м}$ ;  $\text{Re}_{ef}$  – эффективное число Рейнольдса.

Перепад давления на слое катализатора [16, 17]:

$$\Delta P_{la} = \frac{G^2}{F^2 \rho} \cdot \frac{al}{2\varepsilon^2} f_{res}, \quad (2)$$

где  $G$  – массовый расход ОГ,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $F$  – площадь реактора,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\varepsilon$  – пористость слоя катализатора;  $f_{res}$  – коэффициент сопротивления.

Коэффициент сопротивления можно найти из выражения [16, 17]:

$$f_{res} = \frac{36,4}{\text{Re}_{ef}} + 0,45. \quad (3)$$

Эффективное число Рейнольдса составит [16, 17]:

$$\text{Re}_{ef} = \frac{4G}{F\mu \cdot a}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость газа,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Для примера рассмотрим влияние на мощность ДВС неудовлетворительного технического состояния системы выпуска ОГ (увеличенное сопротивление в выпускном тракте) по параметру снижения частоты вращения коленчатого вала ДВС [18, 19]:

$$n_{prop} = n_{pract} \pm \Delta n, \quad (5)$$

где  $n_{prop}$  – частота вращения коленчатого вала исправного ДВС (табличное значение),  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_{pract}$  – фактическое значение частоты вращения коленчатого вала неисправного ДВС,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\pm \Delta n$  – увеличение или уменьшение частоты вращения коленчатого вала ДВС, связанное с неисправностью системы выпуска,  $\text{мин}^{-1}$ .

Из представленного выражения (5) видно, что фактическое значение частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n_{pract}$  при диагностировании отличается от табличного значения  $n_{prop}$  на величину  $\Delta n_{pract}$ . Величина  $\pm \Delta n$  зависит от технического состояния элементов системы выпуска. При исправности элементов системы выпуска  $n_{prop} = n_{pract}$ , что составит из выражения (5) значение  $n_{pract}/n_{prop} = 1$ . При неисправности системы выпуска  $n_{pract}/n_{prop} \neq 1$ , а значение фактической мощности ДВС будет отличаться от значения мощности исправного (эталонного) ДВС [18–20].

**Методика исследований.** Для проведения экспериментальных исследований были разработаны приборные и программные средства: догрузатель бензиновых двигателей; программное обеспечение с рабочим интерфейсом; набор искусственных сопротивлений; устройство для удержания дроссельной заслонки в фиксированном положении. Кроме того, для осуществления экспериментальной части исследований использовался двигатель ЗМЗ-406, специально подготовленный для комплексных исследований. По смоделированным алгоритмам на нем были установлены следующие неисправности: предельные и промежуточные значения параметров износа цилиндров и электромагнитных форсунок. Так, параметры износа цилиндров, измеренные пневмотестером К-69М, сведены в табл. 1, где У2 – утечка воздуха при положении поршня в верхней мертвой точке (конце такта сжатия); У1 – утечка воздуха при положении поршня в начале такта сжатия. Из представленных в табл. 1 данных видно, что предельное значение  $\Delta Y$  износа цилиндров наблюдается в 1-м и 3-м цилиндре, значение износа поршневых колец и клапанов наблюдается в 1, 2 и 3-м цилиндре. В ходе комплексных исследований были установлены электромагнитные форсунки с предельными значениями параметров проливки, измеренными на стенде «Форсаж» (табл. 2).

Таблица 1  
Параметры износа цилиндров, измеренные пневмотестером К-69М

Показатели	Номер цилиндра			
	1	2	3	4
У2	32 %	22 %	29 %	14 %
У1	24 %	18 %	20 %	11 %
$\Delta Y$	8 %	4 %	9 %	3 %

Таблица 2  
Параметры проливки форсунок, измеренные на стенде «Форсаж»

Показатели	Номер цилиндра			
	1	2	3	4
Пропускная способность, %	0	–3	–6	+6

В 1-м цилиндре (рис. 1) была установлена форсунка с эталонным значением пропускной способности, во 2-м и 3-м – установлены форсунки с заниженной подачей на 3 и 6 % соответственно, в 4-м цилиндре смоделирована максимально увеличенная подача на +6 %.

Разработаны таблицы экспериментальных данных для сопротивлений  $d = 50$  мм,  $d = 23$  мм,  $d = 15$  мм. В качестве режимов нагружения были выбраны следующие значения частоты вращения коленчатого вала двигателя: а) все 4 цилиндра находятся в работе при оборотах 880, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000  $\text{мин}^{-1}$ ; б) один цилиндр находится в работе при оборотах 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 3700  $\text{мин}^{-1}$ ; в) один работающий цилиндр подвергается частичному отключению циклов в соотношении от 1 из 10 до 9 из 10 [19].

Для измерения параметров токсичности ОГ  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  при установке экспериментальных режимов и сопротивлений в выпускную систему применен газоанализатор «Аскон 02.00».

## Расчет и конструирование

**Результаты экспериментальных исследований.** На первом этапе были проведены экспериментальные исследования по установлению зависимости изменения концентрации СО (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС (см. рис. 1). Результаты исследований представлены 5 кривыми зависимости со следующими вариантами: а) работают одновременно все цилиндры; б) в работе используется только 1-й цилиндр; в) работает только 2-й цилиндр; г) работает только 3-й цилиндр; д) работает только 4-й цилиндр [21, 22].

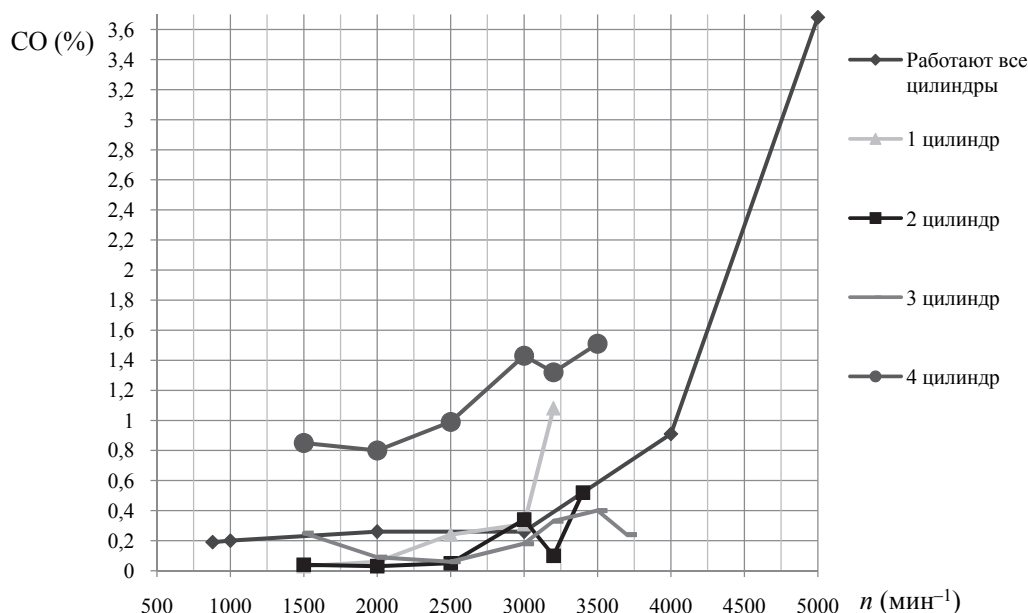


Рис. 1. График зависимости изменения концентрации СО (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n$  (мин<sup>-1</sup>)

Из представленных данных на рис. 1 видно резкое отличие концентрации СО при работе 4-го цилиндра. Превалирующее влияние на рост значений СО в данном цилиндре оказывает установка форсунки с увеличенной на +6 % подачей топлива, что приводит к существенному переобогащению топливо-воздушной смеси (ТВС). При этом в 4-м цилиндре смоделирован наименьший износ цилиндропоршневой группы (ЦПГ) – утечка заряда из цилиндра составляет 14 %. Кроме того, из общего тренда выделяется рост СО при работе 1-го цилиндра, который особенно заметен при увеличении частоты вращения коленчатого вала ДВС свыше 3000 мин<sup>-1</sup>. Данный рост объясняется предельным износом ЦПГ данного цилиндра.

На рис. 2 представлена взаимосвязь изменения концентрации СН (млн<sup>-1</sup>) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС. Из рис. 2 видно, что значения концентрации СН при одновременной работе всех четырех цилиндров принимает очень значительную величину – более 1000 млн<sup>-1</sup>. Это объясняется существенным износом ЦПГ отдельных цилиндров: 1-го – 32 %; 2-го – 22 %; 3-го – 29 %; 4-го – 14 %. Особо следует выделить первый цилиндр, с максимальным износом ЦПГ. В точке, соответствующей 3000 мин<sup>-1</sup>, концентрация СН резко возрастает и достигает значения более 700 млн<sup>-1</sup> при 3200 мин<sup>-1</sup>. Объяснить это можно ростом утечек заряда при увеличении степени загрузки цилиндров (деформация поршневых колец при увеличении давления поршневых газов).

На рис. 3 представлена зависимость изменения концентрации СО<sub>2</sub> (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС.

Как видно из рис. 3, значение концентрации СО<sub>2</sub> имеет средний тренд около 13 % при работе всех четырех цилиндров. В то же время для 2-го и 3-го цилиндров величина СО<sub>2</sub> принимает значение несколько выше 3 % (обе форсунки 2-го и 3-го цилиндров обеспечивают обедненную ТВС, так как их пропускная способность снижена на –3 % и –6 %).

На рис. 4 представлена зависимость изменения концентрации О<sub>2</sub> (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС.

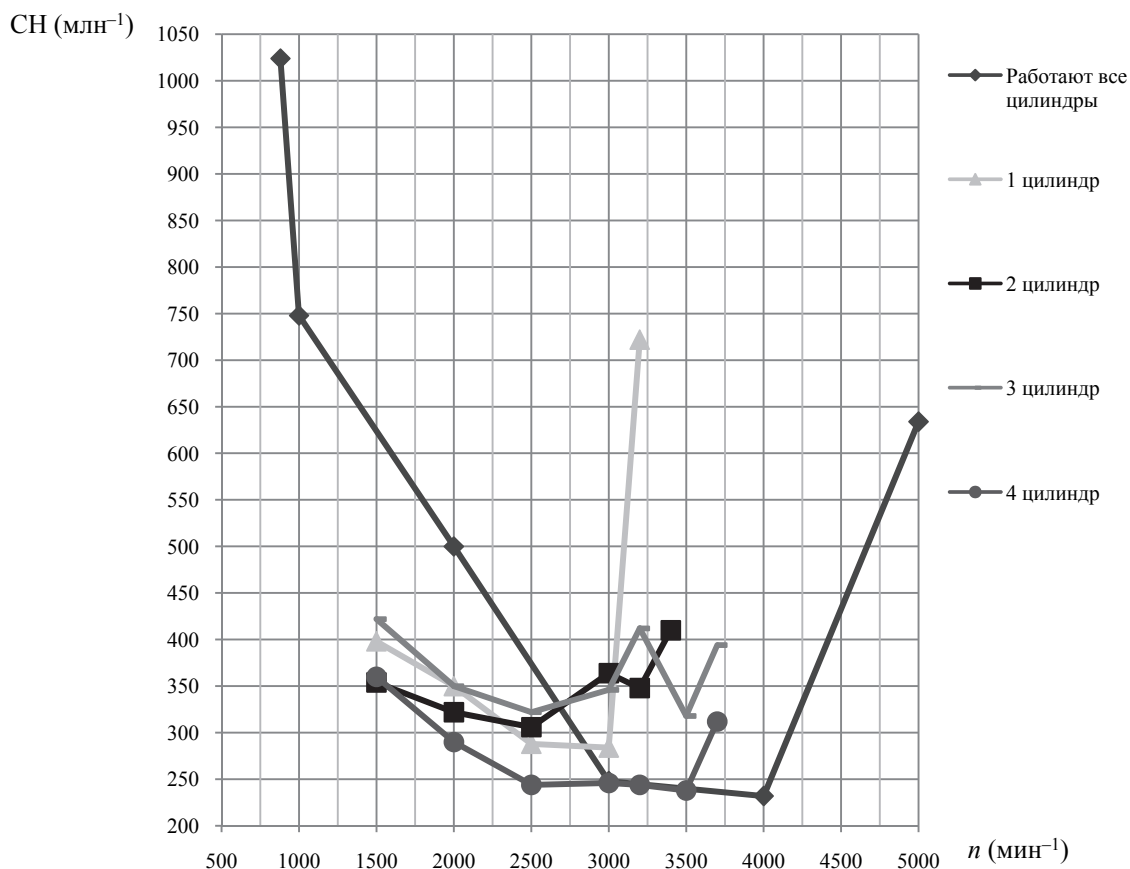


Рис. 2. График зависимости изменения концентрации СН (млн<sup>-1</sup>) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n$  (мин<sup>-1</sup>)

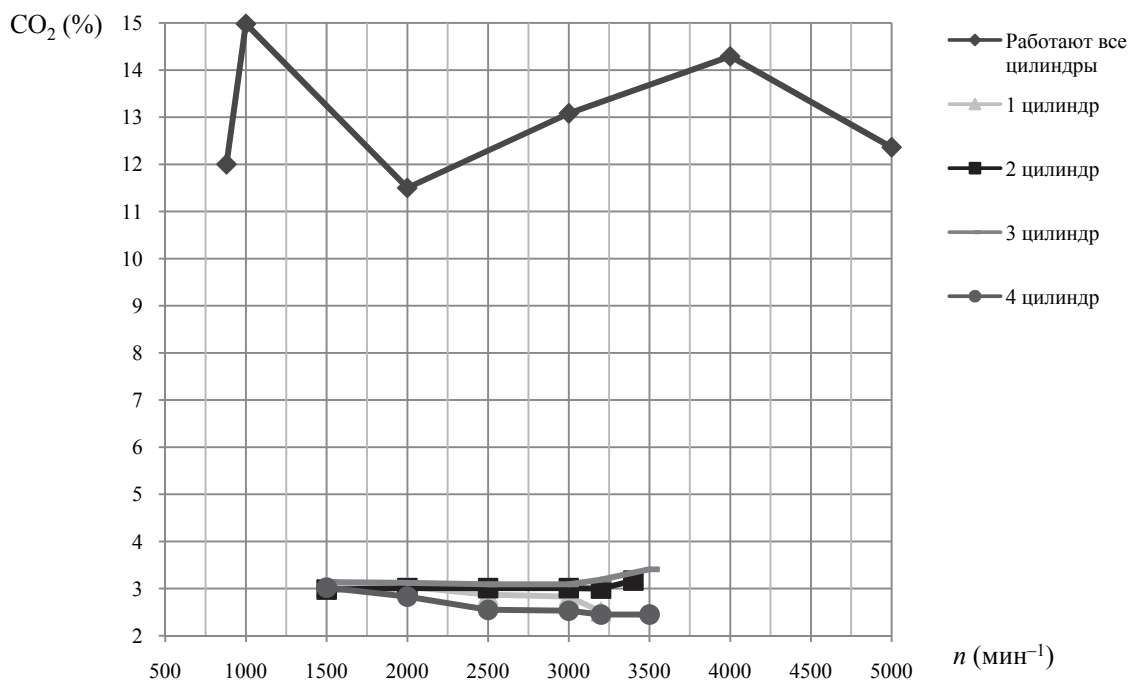


Рис. 3. График зависимости изменения концентрации CO<sub>2</sub> (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n$  (мин<sup>-1</sup>)

## Расчет и конструирование

При работе всех четырех цилиндров значение концентрации  $O_2$  достигает максимума при  $2000 \text{ мин}^{-1}$  (6 %) и стремится к минимуму с ростом частоты вращения коленчатого вала ДВС (см. рис. 4). Аналогичную тенденцию снижения концентрации с ростом частоты вращения коленчатого вала ДВС имеют графики отдельных цилиндров. Однако отчетливо видно, что при работе на бедных ТВС для 2-го и 3-го цилиндров концентрация  $O_2$  выше, чем при работе 1-го и 4-го цилиндров, что подтверждает эффективность работы  $\lambda$ -зонда, осуществляющего обратную связь по концентрации  $O_2$ .

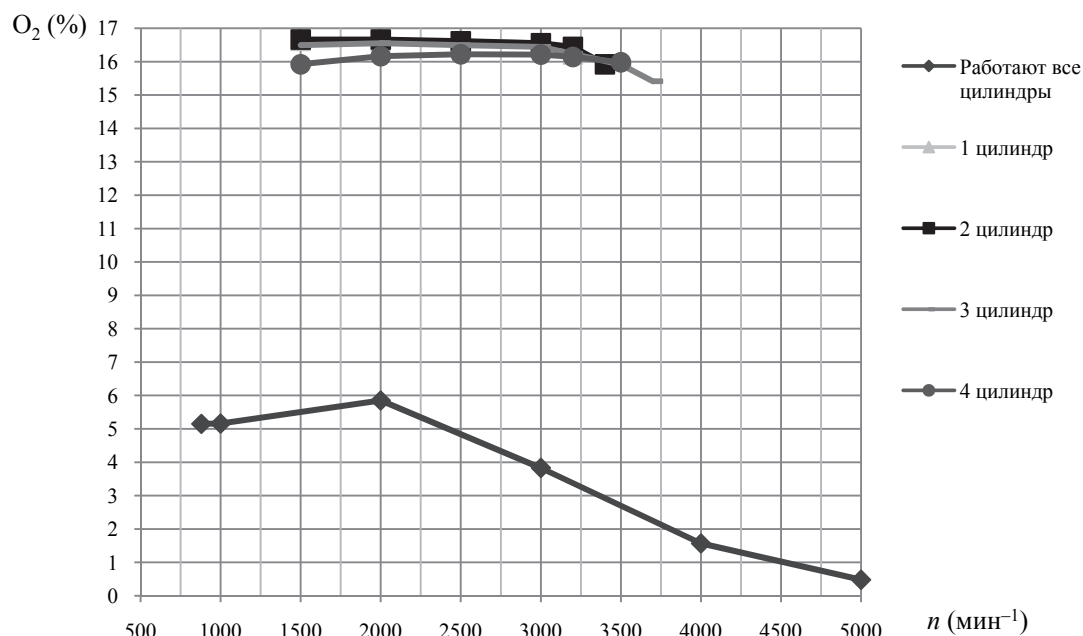


Рис. 4. График зависимости изменения концентрации  $O_2$  (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ )

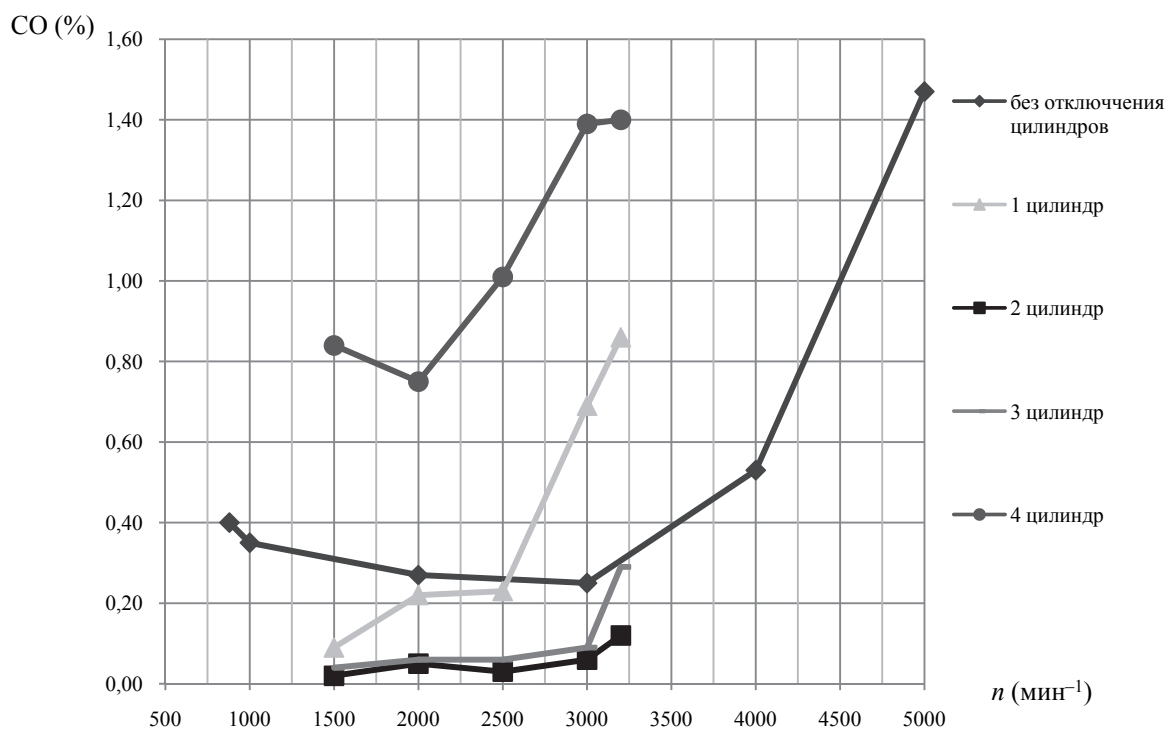


Рис. 5. График зависимости изменения концентрации  $CO$  (%) в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) при установке искусственного сопротивления в систему выпуска

Также проводилась имитация искусственного сопротивления путем установки в систему выпуска жиклера с проходным сечением 50 мм. Результаты представлены на рис. 5 в виде зависимости изменения концентрации СО (%) в ОГ при изменении частоты вращения коленчатого вала ДВС. Анализ показывает, что наблюдается явный отрыв значения СО (%) для четвертого цилиндра относительно других, но именно в четвертом цилиндре установлена форсунка с увеличенной на +6 % пропускной способностью. Для первого цилиндра также характерен рост концентрации СО (%) после оборотов 2500 мин<sup>-1</sup>. Это объясняется предельным износом ЦПГ в указанном цилиндре.

**Выводы.** При исследовании изменения зависимости концентрации СО в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС по отдельным цилиндрам установлено, что наибольшее превышение концентрации СО составляет при работе 4-го цилиндра, работающего на максимально переобогащенной ТВС (+6 % увеличенная пропускная способность, что составляет 400 % от номинального, т. е. 0,8 % относительно 0,2 %).

При исследовании изменения зависимости концентрации СН в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС по отдельным цилиндрам установлено, что наибольшее прибавление концентрации СН происходит при работе 1-го цилиндра, износ ЦПГ которого принимает максимальное значение – 32 %. В точке, соответствующей оборотам 3000 мин<sup>-1</sup>, концентрация СН повышается до значения 700 млн<sup>-1</sup>, что более чем в 3 раза выше номинального значения.

При исследовании изменения зависимости концентрации СО<sub>2</sub> в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС по отдельным цилиндрам установлено, что работа 2-го и 3-го цилиндров с форсунками, имеющими сниженную пропускную способность (–3 % и –6 %), значение СО<sub>2</sub> составляет более 3 %, что относительно номинального значения больше в 2 раза.

При исследовании изменения зависимости концентрации О<sub>2</sub> в ОГ при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС по отдельным цилиндрам установлено, что при работе 2-го и 3-го цилиндров с форсунками, имеющими сниженную пропускную способность (–3 % и –6 %) концентрация О<sub>2</sub> превышает номинальное значение на 0,8...1 %.

**Практическая значимость.** Разработаны приборные и программные средства для проведения экспериментальных исследований: прибор – отключатель электромагнитных форсунок; программный модуль с рабочим интерфейсом, позволяющий любой один работающий цилиндр подвергнуть частичному отключению циклов в соотношении от 1 из 10 до 9 из 10; устройство для удержания дроссельной заслонки в фиксированном положении, позволяющее стабилизировать работу ДВС на любой частоте вращения коленчатого вала.

**Рекомендации.** Исследования показывают, что изменение технического состояния ДВС при эксплуатации таких систем, как система питания, система зажигания, цилиндропоршневая группа, система впуска и выпуска приводит к ухудшению процесса сгорания, росту токсичных компонентов и, как следствие, ведет к ускорению выработки ресурса катализатора. В свою очередь отказ катализатора приведет к несоответствию экологического класса автомобиля установленным нормам ЕВРО, и последующая замена отказавшего элемента не меняет ситуации, а для устранения первопричины отказа катализатора требуется замена некоторых элементов систем. В связи с этим в процессе эксплуатации ДВС актуальна разработка способов контроля динамики изменения концентрации токсичных компонентов СО, СН, СО<sub>2</sub> и О<sub>2</sub> в отработавших газах, что возможно при использовании портативных газоанализаторов, встроенных в систему выпуска отработавших газов. Работа портативного газоанализатора может быть организована дискретно, в виде тестовых режимов мониторинга параметров токсичности, например, на холостом ходу, в режиме разгона, на постоянных мощностных и нагрузочных режимах, при работе избирательно отдельных цилиндров двигателя.

### Литература

1. *Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles / M.I. Khan, T. Yasmeen, M.I. Khan, M. Farooq, M. Wakeel // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 66. – P. 702–741. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.041*
2. *Бердов, Е.И. Отключение части цилиндров двигателя как способ улучшения топливно-экономических показателей тракторно-транспортного агрегата / Е.И. Бердов, С.Ю. Федосеев // АПК России. – 2015. – Т. 72. – № 2. – С. 20–24.*

## Расчет и конструирование

3. *Assessing the impacts of ethanol and isobutanol on gaseous and particulate emissions from flexible fuel vehicles* / G. Karavalakis, D. Short, R.L. Russell et al. // *Environmental Science and Technology*. – 2014. – Vol. 48 (23). – P. 14016–14024. DOI:10.1021/es5034316
4. *Gurgenci, H. Investigating the use of methane as diesel fuel in off-road haul road truck operations* / H. Gurgenci, S.M. Aminossadati // *Journal of Energy Resources Technology*. – 2009. – Vol. 131 (3). – Paper 032202. DOI: 10.1115/1.3185350
5. *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 (1). – P. 470–487. DOI: 10.4271/2013-01-1635
6. *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 (10). – P. 3269–3281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.039.
7. *Milkins, E.E. Gaseous fuel injection system for the operation of heavy duty engines on natural gas* / E.E. Milkins, R.G. Allen, V.D. Edsell // *Proceedings – Society of Automotive Engineers*, 1990. – P. 203–209.
8. *Pasechnik, D.V. Gas fuel supply system for injection engines ZMZ* / D.V. Pasechnik // *Journal of Automotive Industry*. – 2004. – Vol. 5. – P. 12–15.
9. *Улучшение эксплуатационных характеристик двигателя с применением нанотехнологий* / С.М. Гайдар, В.Н. Свечников, А.Ю. Усманов, М.И. Иванов // *Труды ГОСНИТИ*, 2013. – Т. 111. – С. 4–8.
10. *Fault detection system for the air path of common rail diesel engines with low pressure EGR* / C. Eck, U. Konigorski, F. Cianflone et al. // *SAE Technical Papers*. – 2011. – Paper 2011-01-0701. DOI: 10.4271/2011-01-0701
11. *Kimmich, F. Model based fault detection for the injection, combustion and engine-transmission* / F. Kimmich, R. Isermann // *IFAC Proceedings*. – 2002. – Vol. 15 (1). – P. 203–208.
12. *Hajari, S.C. Diagnosis and repair of excessively emitting vehicles* / S.C. Hajari // *Journal of the Air and Waste Management Association*. – 1996. – Vol. 46 (10). – P. 940–952. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467529
13. *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 (12). – P. 4803–4810. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.053
14. *Гребенников, А.С. Диагностирование автотракторных двигателей по внутрицикловым изменениям угловой скорости коленчатого вала: дис. ... д-ра техн. наук* / А.С. Гребенников. – Саратов, 2002. – 292 с.
15. *Иванов, Р.В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь: автореф. дис. ... канд. техн. наук* / Р.В. Иванов. – Волгоград, 2010. – 40 с.
16. *Лешаков, И.А. Математическая модель расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов* / И.А. Лешаков, И.Н. Кравченко, М.Н. Ерофеев // *Современные наукоемкие технологии*. – 2013. – № 5. – С. 76–80.
17. *Исаенко, П.В. К расчету гидравлического сопротивления очистителя-нейтрализатора для систем выпуска отработавших газов машин автотранспортного комплекса* / П.В. Исаенко, В.Д. Исаенко // *Вестник Томского гос. архитектур.-строит. ун-та*. – 2006. – № 1. – С. 95–106.
18. *Гребенников, А.С. Диагностирование автотракторных двигателей по внутрицикловым изменениям угловой скорости коленчатого вала: дис. ... д-ра техн. наук* / А.С. Гребенников. – Саратов, 2002. – 292 с.
19. *Патент № 2474805 РФ, G01M 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневого двигателя внутреннего сгорания* / А.В. Гриценко, С.С. Куков, К.А. Цыганов, А.В. Горбунов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия». – № 2011139288; заявл. 26.09.11; опубл. 27.02.13, Бюл. № 6.
20. *Исаенко В.Д. Основы теории надежности и диагностика автомобилей: учеб. пособие* / В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко, П.В. Исаенко. – Томск: Томский гос. архитектур.-строит. ун-т, 2007. – 238 с.



21. Регулирование дизеля методом отключения-включения цилиндров или циклов / Н.Н. Патрахальцев, С.В. Страинов, Б.А. Корнев, И.С. Мельник // *Двигателестроение*. – 2011. – № 3. – С. 7–12.

22. 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.

**Гриценко Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, gritcensoav@susu.ru.

**Альметова Злата Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, almetovazv@susu.ru.

**Аношина Маргарита Витальевна**, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, margo.anoshina.96@mail.ru.

**Лыков Алексей Михайлович**, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, aleksey96\_10@mail.ru.

*Поступила в редакцию 9 января 2019 г.*

DOI: 10.14529/engin190202

## MONITORING ENGINE TOXICITY PARAMETERS AND SELECTIVE CONTROL OF ITS SYSTEMS

**A.V. Gritsenko**<sup>1,2</sup>, gritcensoav@susu.ru,  
**Z.V. Al'metova**<sup>1</sup>, almetovazv@susu.ru,  
**M.V. Anoshina**<sup>1</sup>, margo.anoshina.96@mail.ru,  
**A.M. Lykov**<sup>1</sup>, aleksey96\_10@mail.ru

<sup>1</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

<sup>2</sup>South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

If the technical condition of an engine changes during the operation of its power supply system, ignition system, piston-cylinder group, intake and exhaust system, it deteriorates the combustion process, increases toxic components, and thus exhausts the catalyst lifespan. In turn, the catalyst failure will cause non-compliance of the vehicle emission class with the EURO standards. Replacement of the failed element will not help; and to eliminate the initial cause of the catalyst failure, it is necessary to replace some elements of the systems. In this regard, development of methods for controlling changes in the concentration of toxic components CO, CH, CO<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub> in exhaust gases is a relevant issue of engine operation. This is feasible due to the use of portable gas analyzers that are built into the exhaust systems. A portable gas analyzer can operate discretely, in test modes for monitoring toxicity parameters, e. g., in idle mode, in acceleration mode, in constant power and load modes, when the individual cylinders of the engine operate selectively. This research shows how to perform full and partial cylinder shutdown using a developed portable device, i. e. a loader of gasoline engine, for complete cylinder loading. Toxicity parameters are measured using a four-component gas analyzer. The research showed that is highly efficient to control the technical condition of the cylinder-piston group, fuel and ignition systems, and other systems by controlling the toxicity parameters of exhaust gases. If the selectivity of load impact on individual cylinders is high, and if it varies significantly, the catalyst failure can be prevented due to the adaptability of actuators to changes in the technical condition of individual nodes.

*Keywords: engine, diagnosing, crankshaft speed, toxicity, catalytic converter, fuel efficiency.*

### References

1. Khan M.I., Yasmeen T., Khan M.I., Farooq M., Wakeel M. Research Progress in the Development of Natural Gas as Fuel for Road Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 66, pp. 702–741. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08
2. Berdov E.I., Fedoseyev S.Yu. [Cutout of Some Engine Cylinders as a Way to Improve the Fuel and Economic Indicators of the Tractor-Transport Unit]. *AIC of Russia*, 2015, vol. 72, no. 2, pp. 20–24. (in Russ.)
3. Karavalakis G., Short D., Russell R.L. et al. Assessing the Impacts of Ethanol and Isobutanol on Gaseous and Particulate Emissions from Flexible Fuel Vehicles. *Environmental Science and Technology*, 2014, vol. 48 (23), pp. 14016–14024. DOI: 10.1021/es5034316
4. Gurgenci H., Aminossadati S.M. Investigating the Use of Methane as Diesel Fuel in Off-Road Haul Road Truck Operations. *Journal of Energy Resources Technology*, 2009, vol. 131 (3), Paper 032202. DOI: 10.1115/1.3185350
5. Stein R.A., Anderson J.E., Wallington T.J. 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 (1), pp. 470–487. DOI: 10.4271/2013-01-1635
6. 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 (10), pp. 3269–3281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.039
7. Milkins E.E., Allen R.G., Edsell V.D. Gaseous Fuel Injection System for the Operation of Heavy Duty Engines on Natural Gas. *Proceedings – Society of Automotive Engineers*, 1990, pp. 203–209.
8. Pasechnik D.V. Gas Fuel Supply System for Injection Engines ZMZ. *Journal of Automotive Industry*, 2004, vol. 5, pp. 12–15.
9. Gaidar S.M., Svechnikov V.N., Usmanov A.Yu., Ivanov M.I. [Improving the Engine Performance Characteristics Based on the Use of Nanotechnologies]. *Trudy GOSNITI* [Proceedings of the GISNITI], 2013, vol. 111, pp. 4–8. (in Russ.)
10. Eck C., Konigorski U., Cianflone F. et al. Fault Detection System for the Air Path of Common Rail Diesel Engines with Low Pressure EGR. *SAE Technical Papers*, 2011, Paper 2011-01-0701. DOI: 10.4271/2011-01-0701
11. Kimmich F., Isermann R. Model Based Fault Detection for the Injection, Combustion and Engine-Transmission. *IFAC Proceedings*, 2002, vol. 15 (1), pp. 203–208.
12. Hajari S.C. Diagnosis and Repair of Excessively Emitting Vehicles. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 1996, vol. 46 (10), pp. 940–952. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467529
13. 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 (12), pp. 4803–4810. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.053
14. Grebennikov A.S. *Diagnostirovaniye avtotraktornykh dvigateley po vnutritsiklovym izmeneniyam uglovoy skorosti kolenchatogo vala*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Diagnosis of Car-and-Tractor Engines by the Intra-Cycle Changes in the Crankshaft Angular Speed. Doct. Sci. Diss.]. Saratov, 2002. 292 p. (in Russ.)
15. Ivanov R.V. *Diagnostirovaniye DVS po parametru moshchnosti mekhanicheskikh poter*. Avto-ref. dokt. diss. [ICE Diagnosis by the Parameter of the Mechanical Loss Power. Abstract of Doct. Diss.]. Volgograd, 2010. 40 p. (in Russ.)
16. Leshakov I.A., Kravchenko I.N., Erofeev M.N. [Mathematical Model for Calculating the Basic Parameters of Catalyst Converters]. *Modern high technologies*, 2013, no. 5, pp. 76–80. (in Russ.)
17. Isaenko P.V., Isaenko V.D. To the Calculation of the Hydraulic Resistance of the Neutralizer Purifier for Exhaust Systems of Vehicles of the Motor Transport Complex. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Construction*, 2006, no. 1, pp. 95–106. (in Russ.)
18. Grebennikov A.S. *Diagnostirovaniye avtotraktornykh dvigateley po vnutritsiklovym izmeneniyam uglovoy skorosti kolenchatogo vala*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Diagnosis of Car-and-Tractor Engines by the Intra-Cycle Changes in the Crankshaft Angular Speed. Doct. Sci. Diss.]. Saratov, 2002. 292 p.

19. Gritsenko A.V. et al. *Sposob diagnostirovaniya vypusknogo trakta porshnevnogo dvigatelya vnutrennego sgoraniya* [A Method for Diagnosing the Exhaust Path of the Reciprocating Internal Combustion Engine]. Patent RF, no. 2474805, published on 27.02.13, bul. no. 6.

20. Isaenko V.D., Isaenko A.V., Isaenko P.V. *Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika avtomobiley* [Fundamentals of the Reliability Theory and Car Diagnostics]. Federal Agency for Education, State Educational Institution of Professional Education Tomsk State University of Architecture and Construction, Tomsk, 2007. 238 p.

21. Patrakhaltsev N.N., Strashnov S.V., Kornev B.A., Melnik I.S. [Diesel Control by the Method of Switching On-Off of Cylinders or Cycles]. *Engine Building*, 2011, no. 3, pp. 7–12.

22. Khimchenko A.V., Mishin D.G., Buzov A.V. [Reduction of the Unevenness of the Engine's Torque with the Cylinder Cutout in Partial Loading Modes]. *Internal Combustion Engines*, 2013, no. 1, pp. 46–51. (in Russ.).

*Received 9 January 2019*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Мониторинг параметров токсичности двигателя и селективное управление функционированием его систем / А.В. Гриценко, З.В. Альметова, М.В. Аношина, А.М. Лыков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 19–29. DOI: 10.14529/engin190202

**FOR CITATION**

Gritsenko A.V., Al'metova Z.V., Anoshina M.V., Lykov A.M. Monitoring Engine Toxicity Parameters and Selective Control of Its Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 19–29. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin190202