

подключают к изделию, соответственно, на входе и выходе из термостатной камеры 4, где изделие находится при одинаковой температуре, меньшей температуры окончания прямого фазового перехода  $M_k$ , например комнатной. ТермоЭДС непрерывно регистрируют в режиме реального времени.

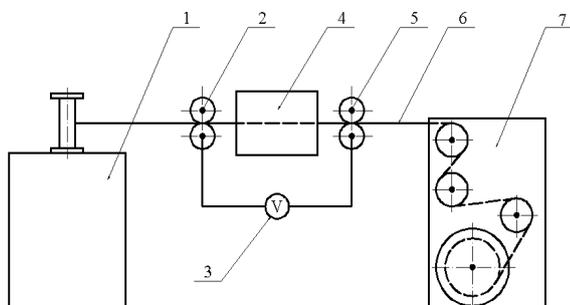


Рисунок 2 – Устройство контроля качества протяженного изделия из сплава с памятью формы  
1, 7 – принимающие блоки; 2, 5 – роликовые контакты;  
3 – вольтметр; 4 – термостатная камера;  
6 – изделие (в нашем случае это проволока)

Предложенные способ и устройство относятся к методу неразрушающего контроля и предназначены для непрерывного контроля качества протяженных изделий, преимущественно проволоки, из сплава с памятью формы и обеспечивают контроль на соответствие требуемым термо-механическим характеристикам.

УДК 066.86

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ВЫБРОСЫ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАМКАХ ТРЕБОВАНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ ЕВРО-5 И ЕВРО-6

Петрусенко П.А.<sup>1</sup>, Гребень О.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «Минский автомобильный завод», Минск, Республика Беларусь

Производители двигателей используют различные технологии для выполнения требований, предъявляемых к двигателям экологического класса Евро-5. На Ярославском и Минском моторных заводах применяется EGR-система, на Mercedes и Cummins – SCR-система. SCR-система – селективная каталитическая нейтрализация. В основу данной технологии положен принцип так называемого селективного каталитического восстановления (Selective Catalytic Reduction, SCR), при котором нейтрализация вредных веществ, содержащихся в отработавших газах, производится целенаправленно в отношении ядовитых окислов азота (NOx). Нейтрализация окислов азота (NOx) производится путем реакции восстановления окислов азота (NOx) до исходных компонентов молекулярного азота (N<sub>2</sub>) и водяного пара (H<sub>2</sub>O). При модернизации компонентов двигателя с целью достижения оптимального КПД и, соответственно, макси-

## Литература

1. Фурмаков, Е.Ф. Электрический ток, вызванный движением поверхности раздела фаз в металле / Е.Ф. Фурмаков // Фундаментальные проблемы естествознания. – Санкт-Петербург, 1999. – Т. 1, вып. 21. – С. 377–378.

2. Rubanik, V.V. Peculiarities of thermoelectric force behaviour in nikelide titane upon non-stationary heating / V.V. Rubanik, V.V. Rubanik Jr, O.A. Petrova-Burkina // Materials Science Forum. – Switzerland: Trans Tech Publications, 2013. – V. 738–739. – P. 292–296.

3. Рубаник, В.В. Исследование ЭДС в никелиде титана, вызванной нестационарным нагревом / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Буркина // 50-й Международный научный симпозиум «Актуальные проблемы прочности»: сборник материалов, Витебск, 27 сентября – 1 октября 2010 г.: в 2 ч. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2010. – Ч. 2. – С. 208–209.

4. Устройство для измерения термоЭДС на участке протяженного изделия из сплава с памятью формы и способ определения неоднородных участков протяженного изделия из сплавов с памятью формы : пат. 19012 Респ. Беларусь, МПК G 01 N 25/16 / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Петрова-Буркина; заявитель ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси». – № а 20111605; заявл. 28.11.11; опубл. 28.02.15 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 1. – С. 93.

мальной эффективности, т. е. способности развить максимальную мощность при малом расходе топлива, неизбежно возрастает содержание окислов азота (NOx) в отработавших газах. Если процесс сгорания рассчитать таким образом, чтобы снизить содержание окислов азота (NOx), возрастет расход топлива и как следствие его неполного сгорания – содержание частиц сажи (PM) в выхлопе. Модернизация только компонентов двигателя для одновременного достижения требуемого содержания окислов азота (NOx) и частиц сажи в отработавших газах в соответствии с нормами Евро-5, а также выполнение более жестких экологических норм в будущем технически невозможно. Поэтому автомобили, оборудованные системой SCR, помимо модернизированного двигателя имеют ряд дополнительных компонентов [1], [2], предназначенных для нейтрализации окислов азота (NOx). В качестве восстановителя окислов азота (NOx) в данных автомобилях дополнительно

используется определенный вид рабочей жидкости, которая имеет торговое обозначение AdBlue™ и представляет собой 32,5 % водный раствор мочевины  $(\text{NH})_2\text{CO}$ . Данное вещество размещается на автомобиле в специально предусмотренном баке. Жидкость AdBlue™ впрыскивается в горячий отработавший выхлопной газ и подвергается гидролизу при температуре свыше  $180\text{ }^\circ\text{C}$  с образованием аммиака  $(\text{NH}_3)$ . Принцип действия SCR-системы следующий:

- при нагреве примерно до  $200\text{ }^\circ\text{C}$  SCR-глушитель-катализатор достигает рабочей температуры;

- блок управления получает данные о температуре отработавших газов от датчика температуры, установленного в SCR-глушитель-катализаторе;

- раствор мочевины забирается насосом из бака и под давлением перекачивается через трубопровод к форсунке. [1], [2]

Форсунка по команде блока управления впрыскивает мочевину в дозируемом количестве в трубопровод системы отработавших газов перед SCR-глушителем-катализатором и поток отработавших газов переносит мочевину в окислительный катализатор, где она распадается на аммиак  $(\text{NH}_3)$  и углекислый газ  $(\text{CO}_2)$ . После этого образовавшиеся вещества попадают в систему восстановительного катализатора и вступают в реакцию с оксидами азота  $(\text{NO}_x)$ , образуя азот  $(\text{N}_2)$  и воду  $(\text{H}_2\text{O})$ . Конечным элементом системы SCR является глушитель-катализатор. В катализаторе происходит восстановление образовавшихся при сгорании топлива вредных окислов азота  $(\text{NO}_x)$  в исходные безвредные компоненты: азот  $(\text{N}_2)$  и воду  $(\text{H}_2\text{O})$ .

Глушитель выполнен в корпусе из нержавеющей стали внутри которого находится катализатор. Катализатор состоит из набора элементов, каждый из которых представляет собой керамическое пористое вещество в виде сот, поверхность которого имеет напыление каталитических веществ: окиси титана  $(\text{TiO}_2)$ , окиси вольфрама  $(\text{WO}_3)$  и окиси ванадия  $(\text{V}_2\text{O}_5)$ . В катализаторе происходит восстановление образовавшихся при сгорании топлива вредных окислов азота  $(\text{NO}_x)$  в исходные безвредные компоненты: азот  $(\text{N}_2)$  и воду  $(\text{H}_2\text{O})$ . Глушитель выполнен в корпусе из нержавеющей стали внутри которого находится катализатор. Катализатор состоит из набора элементов, каждый из которых представляет собой керамическое пористое вещество в виде сот, поверхность которого имеет напыление каталитических веществ: окиси титана  $(\text{TiO}_2)$ , окиси вольфрама  $(\text{WO}_3)$  и окиси ванадия  $(\text{V}_2\text{O}_5)$ . Минусы SCR-системы [1], [2]:

- требуется реагент (AdBlue™);
- инфраструктура;
- стоимость реагента;

- замерзание реагента при температурах ниже минус  $11\text{ }^\circ\text{C}$ ;

- дополнительные элементы системы впрыска реагента, размещенные на автомобиле (дозатор, бак, нейтрализатор).

Плюсы SCR-системы:

- улучшенная топливная экономичность;
- ниже теплоотдача;
- увеличенный интервал замены масла.

EGR-система – рециркуляция выхлопных газов. Система рециркуляции выхлопных газов EGR предназначена для снижения в отработавших газах окислов азота  $\text{NO}_x$  за счет возврата части выхлопных газов во впускной коллектор (примерно 10 % для Евро 3, примерно 20 % для Евро-4). Снижение токсичности с помощью технологии EGR достигается путем понижения содержания избыточного кислорода и понижения максимальных температур в камере сгорания двигателя. В итоге образуется меньше соединенных молекул азота  $\text{N}_2$  с атомами кислорода, что приводит к снижению образования  $\text{NO}_x$ . Глушитель в системе EGR в своей конструкции имеет катализатор и фильтр твердых частиц (сажевый фильтр). [1]

Минусы EGR-системы:

- требуется низкосернистое топливо ( $< 50\text{ ppm}$ );

- усложнение конструкции двигателя;
- снижение топливной экономичности;
- выше стоимость двигателя;

- выше теплоотдача ( $\sim 30\%$  по сравнению с Евро-3);

- требуется фильтр твердых частиц DPF;

- повышенный износ двигателя и повышенная теплонапряженность.

Плюсы EGR-системы: не требуется дополнительный реагент.

В перспективе в соответствии с экологическими стандартами, регулирующими содержание вредных веществ в выхлопных газах планируется выпуск двигателей Евро-5 и Евро-6. Требования экологического стандарта Евро-6 по сравнению с предыдущим стандартом Евро-5 направлены на снижение двух видов вредных веществ: окислов азота  $(\text{NO}_x)$  и твердых частиц  $(\text{PM})$ . Уровень окислов азота  $(\text{NO}_x)$  сокращается на 80 %, выброс твердых частиц  $(\text{PM})$  – на 50 %. Последний показатель является более строгим и важным, так как в расчёт идут не только вес, но и количество частиц. Чтобы соответствовать этим требованиям, необходим сажевый фильтр дизельного двигателя (DPF), предотвращающий попадание в атмосферу даже самых мелких частиц. Отличительные особенности Евро-6 по сравнению с предыдущими Евро-5:

- ужесточение требований по содержанию загрязняющих веществ в выхлопных газах в 2-5 раз по сравнению с предыдущими требованиями;

– количество выбросов твёрдых частиц, представляющих собой сажу, сокращается до 0,005 г/км;

– измерение не только величины поглощения светового потока выхлопными газами, а подсчёт количества частиц сажи;

– вместо использования либо SCR- системы, либо EGR-системы, будет совместное использование обеих систем;

– применение систем двухступенчатого промежуточного охлаждения наддувочного воздуха в сочетании с системой EGR.

Указанные значения представляют собой допустимый максимум, т.е. полученное в ходе испытания значение должно быть не более установленных нормированных значений. Средства измерения, оборудование и методики, используемые при проведении испытаний на соответствие экологическим классам Евро-5 и Евро-6 не имеют существенных отличий.

Применяемые методики испытаний [2]:

– испытание отработавших газов на токсичность;

– испытание отработавших газов на дымность.

В первой методике под токсичностью понимают содержание в отработавших газах таких веществ, как окись углерода (CO), углеводород (HC), оксид азота (NO<sub>2</sub>) и твёрдые частицы. Для этого используют барометр-анероид БАММ-1 и прибор АЛМЕМО 5590 с датчиками давления (разрежения), температуры и относительной

влажности. В методике по испытанию отработавших газов на дымность – под дымностью отработавших газов понимают показатель, характеризующий степень поглощения светового потока, просвечивающего отработавшие газы дизеля. Это является наиболее комплексным показателем, характеризующим токсичность отработавших газов двигателя. Испытания проходят следующим образом. Транспортное средство комплектуется необходимым оборудованием и испытывается на дороге. Для определения выбросов газообразных компонентов, твёрдых частиц и дыма применяются три испытательных цикла [1], [2]:

– ESC, состоящий из 13 режимов устойчивого движения;

– ELR, состоящий из переходных режимов нагрузки при различных оборотах двигателя;

– ETC, состоящий из посекундной последовательности серии переходных режимов.

В ходе серии рабочих режимов прогретого двигателя количество выбросов выхлопных газов определяется непрерывно путем взятия проб из первичных выхлопных газов. Испытательный цикл состоит из ряда режимов скорости и мощности, которые охватывают рабочий диапазон работы дизельного двигателя.

#### Литература

1. Регламент 459/2012/EU, Правила № 24-03 ЕЭК ООН.
2. СТБ 2169-2011.2, СТБ 2170-2011.

УДК 621.179.14

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РЕГУЛИРОВКИ СРЕДСТВ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ПОДГОТОВКЕ К ПОВЕРКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Кулагин В.Н., Осипов А.А., Пиунов В.Д.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

Эффективность использования средств неразрушающего контроля в промышленности в значительной мере определяется стабильностью их метрологических характеристик. Ряд преобразователей (рис. 1) средств импульсного магнитного контроля механических свойств ферромагнитных изделий [1, 2] содержат намагничивающий соленоид без сердечника, внутри которого симметрично расположен феррозонд-градиентометр, выходной сигнал которого после намагничивания при наличии корреляционной связи между магнитными и механическими свойствами испытуемых изделий, служит результирующим параметром контроля.

Для надёжного использования средств импульсного магнитного контроля важное значение при их изготовлении имеет выбор оптимальной

методики регулировки, в рамках их метрологического обеспечения [3, 4].

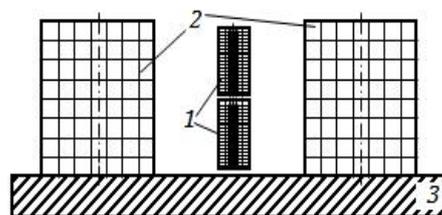


Рисунок 1 – Схематическое изображение центрального сечения измерительных полузондов (1) градиентометра относительно обмотки намагничивающей катушки (2) и образца (3)

Поскольку изготовление стандартных образцов в данном случае сложно и дорого, в основу метрологического обеспечения и поверки этих