

# REGENERATION OF SOOT FILTERS OF DIESEL PLANTS WITH USE OF MICROWAVE RADIATION

Nefedov V. N., Mamontov A. V.

*National Research University Higher School of Economics  
Moscow Institute of Electronics and Mathematics, Higher School of Economics (MIEM HSE)  
123458, Moscow, str. Tallinskaya 34, E-mail: vnefedov@hse.ru*

*Abstract* — The article is devoted to an actual problem of today - to soot filters regeneration in diesel engines by the use of microwave energy. This attributes to the negative influence of hard sooty fractions generated by the diesel fuel burning on people's health and ecological environment, operation of devices and mechanisms. In this work the analysis of domestic and foreign scientific publications of existing methods for sooty fractions treatment is presented. The experimental research results confirming the possibility of the microwaves' use for the sooty filters regeneration are submitted.

## РЕГЕНЕРАЦИЯ САЖЕВЫХ ФИЛЬТРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Нефедов В. Н., Мамонтов А. В.

*Национальный исследовательский университет "Высшая Школа Экономики" (НИУ ВШЭ)  
Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 123458, Москва, ул. Таллинская 34  
E-mail: vnefedov@hse.ru*

*Аннотация* — Направление, по которому выполнена данная статья, посвящено актуальной на сегодняшний день проблеме – регенерации сажевых фильтров дизельных двигателей путем использования СВЧ – энергии. Это связано с тем, что при сжигании дизельного топлива, образуется много твердых сажевых частиц, которые отрицательно воздействуют на здоровье людей и окружающую среду, нарушают нормальную работу приборов и механизмов. В работе проведен анализ по отечественным и зарубежным научным публикациям существующих методов очистки сажевых частиц. А так же представлены экспериментальные исследования, подтверждающие возможность использования СВЧ энергии для регенерации сажевых фильтров дизельных установок.

### I. Введение

При сжигании дизельного топлива в транспортных энергетических установках, на промышленных предприятиях и тепловых электростанциях образуется много твердых сажевых частиц, которые отрицательно воздействуют на здоровье людей и окружающую среду, нарушают нормальную работу приборов и механизмов.

В ряде зарубежных стран, в частности, в Европе (Германии, Франции, Швеции, Италии и других) введены в действия стандарты, регламентирующие нормативы предельно допустимых выбросов твердых сажевых частиц.

Существующие системы очистки отработавших газов от твердых сажевых частиц содержат, как устройство улавливания частиц с использованием волокнистого или пористого фильтра из диэлектрического материала, так и систему удаления поглощенных сажевых частиц путем нагрева сажи до температуры воспламенения.

Поскольку углерод горит при температуре порядка 600°C, и находится внутри диэлектрического фильтра, то при использовании традиционных способов нагрева углерода необходимо нагревать и сам фильтр. Существующие методы нагрева твердых сажевых частиц состоят в следующем:

- повышение температуры выхлопных газов путем модификации двигателя, либо за счет их пропускания через дроссель, однако, не на всех ездовых режимах удается получить необходимые температуры отработанных газов на входе фильтра;
- снижение температуры воспламенения сажевых частиц путем введения катализатора в топливо, од-

нако, при этом способе происходит забивание пор фильтра продуктами сгорания присадок, а катализаторы на базе благородных металлов (платины, рения, палладия и других), вводимые в состав фильтрующего элемента, удорожают очистку и приводят к выбросу в атмосферу сернистых соединений;

- введение дополнительной тепловой энергии с помощью газовой горелки с одновременным подводом дополнительного воздуха, но как показывает практика это очень дорого, а использование электронагревателей приводит к большой инерционности процесса нагрева;

- повышение температуры сажи путем использования СВЧ энергии, что обеспечивает высокую скорость очистки за счёт объёмного характера нагрева, безынерционность, экономичность (не нагревается материал фильтра, если он сделан из радиопрозрачного материала). Именно этот метод является наиболее перспективным для нагрева и сжигания сажи.

### II. Основная часть

Для экспериментального подтверждения общих принципов СВЧ регенерации сажевых фильтров дизельных двигателей в настоящей работе было использовано наиболее простое по конструкции СВЧ устройство очистки сажевого фильтра объемом 1 дм<sup>3</sup>, показанное на рисунке 1.

Источник СВЧ энергии имел выходную мощность равную 0,65 кВт, рабочую частоту колебаний электромагнитного поля 2450 МГц и волноводный вывод энергии на волне типа Н<sub>10</sub> поперечным сечением (90x45) мм. СВЧ энергия по прямоугольному волноводу поступала в низкодобротный резонатор.

Перед постановкой на испытательный стенд СВЧ система в месте подключения источника СВЧ энергии имела коэффициент стоячей волны по напряжению 1,2 на рабочей частоте 2450 МГц и не более 1,5 на частотах  $2450 \pm 10$  МГц и не более 2,1 на частотах  $2450 \pm 20$  МГц. Таким образом, были созданы необходимые условия для беспрепятственного поступления энергии электромагнитного поля от СВЧ источника в низкодобротный резонатор.

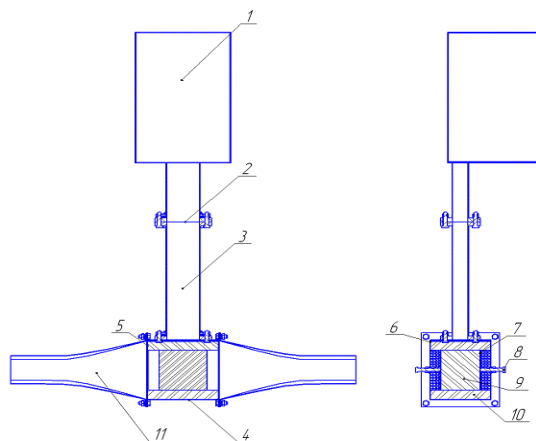


Рис. 1. Система регенерации сажевого фильтра резонаторного типа в разрезе: 1 – источник СВЧ энергии, 2 – фторопластовая перегородка, 3 – волновод, 4, 5, 6 – стенки резонаторной камеры, 7 – подстроечная пластина, 8 – винт, 9 – фильтр, 10 – уплотнение, 11 – диффузор.

Fig. 1. System of regeneration of the resonator type soot filter in the cut: 1 - microwave source, 2 - PTFE divider, 3 - waveguide, 4, 5, 6 - the walls of the resonator chamber, 7 - trimming plate, 8 - bolt, 9 - filter, 10 - seal, 11 - diffuser

В боковых стенках резонатора были выполнены отверстия для прохода отработавших газов через фильтрующий элемент. Их диаметр и количество выбрано таким, чтобы с одной стороны отверстия не препятствовали проходу отработавших газов, а с другой стороны не пропускали электромагнитное поле из резонатора в диффузоры.

Готовый фильтр состоял из собранных в пакет 28 фильтрующих пластин. Их плотное прилегание друг к другу обеспечивалось воротками. Фильтр был установлен в максимуме электромагнитного поля резонатора. Улавливающие сажу пластины размером  $105 \times 112 \times 3$  мм, изготовлены из материала ТЗМК-25. Этот материал имеет: химический состав  $\text{SiO}_2$ ; волокнистую структуру; размер волокон 1 мкм; средний размер пор 20 мкм; пористость 90 – 92%; объемную плотность  $0,25 \text{ г/см}^3$ ; прочность на сжатие  $10 \text{ кг/см}^3$ ; температуру размягчения  $1200^\circ\text{C}$ ; коэффициент линейного расширения  $5 \cdot 10^{-7} \text{ 1/}^\circ\text{K}$ ; коэффициент теплопроводности  $0,1 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{K}$ . В собранном состоянии

фильтр имел объем  $1 \text{ дм}^3$  и размеры ( $105 \times 112 \times 85$ ) мм; фронтальную поверхность  $55 \text{ см}^2$ ; плотность каналов 11 каналов/ $\text{см}^2$ ; фильтровальную поверхность  $0,4 \text{ м}^2$ ; размеры каналов ( $2 \times 2 \times 105$ ) мм; толщину стенок каналов 1 мм.

Экспериментальные исследования СВЧ системы для очистки сажевого фильтра проводились на испытательном стенде, который включал в себя дизельный двигатель Д-65 с объемом цилиндров 4,94 литра и мощностью 45 кВт; тормозную машину с пультом управления; содовый фильтр с микроволновой системой для его регенерации и контрольно-измерительные приборы [1].

При различных начальных условиях работы дизеля была проведена многократная регенерация фильтра с помощью СВЧ энергии и при наличии некоторого количества кислорода в отработавших газах дизеля, который необходим для сжигания раскисленных частиц сажи. Общее время, за которое фильтр восстанавливает свои начальные параметры, составляло 3...5 минут.

По мере накопления сажи в фильтре давление на его входе медленно растет. После достижения критического давления включается источник СВЧ энергии и увеличивается содержание кислорода в отработавших газах. Сажа выгорает, и давление на входе фильтра резко падает. Затем начинается следующий цикл работы фильтра.

К фильтрующим элементам предъявляются требования малого сопротивления потоку очищаемого газа и большой ёмкости при накоплении сажевых частиц. Этим противоречивым требованиям удается удовлетворить, если изготавливать фильтрующие элементы с развитой поверхностью и малой толщиной материала в направлении прохождения газа, например, в виде пористых листов или труб.

### III. Заключение

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность использования СВЧ энергии для регенерации сажевых фильтров дизеля для автомобильного, водного и подземного транспорта, а также для силовых установок электростанций [2]. Степень регенерации фильтра достигала 95%. Степень очистки отработавших газов от твердых сажевых частиц не менее 90%.

Предложенную систему регенерации отличает высокая скорость и степень очистки фильтра, экономичность, простота и безынерционность управления, отсутствие движущихся деталей и механизмов.

### IV. References

- [1] V.N. Nefyodov, Yu.V. Karpenko, S.V. Korneyev. "Microwave soot trap regeneration". // Optical Monitoring of the Environment, 1993. Volume 2107, P. 517...528.
- [2] Патент РФ № 2084648 от 2.03.94. на ИЗОБРЕТЕНИЕ "Способ регенерации сажевого фильтра". Авторы: Нефедов В.Н., Валеев Г.Г., Карпенко Ю.В., Корнеев С.В. и др. // Опубл. 20.07.97. Бюл. №20.