

**РЕГЕНЕРАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЕЙ**

*Проведены результаты анализа информации из научно-технических литературных источников, авторских свидетельств и патентов по вопросам особенностей протекания процесса регенерации фильтров твердых частиц (ФТЧ) дизельных двигателей, а также способов организации такого процесса, систем и устройств, реализующих эти способы. По результатам анализа полученных данных составлена классификация современных методов и средств реализации процесса регенерации ФТЧ дизелей. Выявлено, что такой процесс следует принципиально разделить на регенерацию I и II рода, соответственно, на очистку ФЭ от окисляемых и от неокисляемых фракций твердых частиц.*

**Постановка проблемы**

Создание эффективного, технологичного и надежного фильтра твердых частиц (ФТЧ) отработавших газов (ОГ) дизелей является важной задачей, стоящей перед специалистами в областях двигателестроения и эксплуатации автотранспортных средств (АТС). Ввиду особой опасности некоторых компонентов твердых частиц (ТЧ) совершенствование экологических показателей дизелей не стоит ограничивать лишь процессом очистки ОГ от ТЧ. Очевидно, что пристального внимания заслуживают процессы регенерации ФТЧ и обезвреживания самих ТЧ. Регенерация – это периодический процесс восстановления функциональных свойств ФТЧ путем очистки их фильтрующего элемента (ФЭ) от накопленных в процессе его работы ТЧ. Потребность в регенерации принципиально не устранима и является неотъемлемой особенностью функционирования ФТЧ любой конструкции [1 – 3].

Достаточно полной классификации способов и средств реализации процесса регенерации ФТЧ в зарубежной и отечественной специализированной научно-технической литературе [4 – 24] авторами не обнаружено. По всей видимости, такая ситуация сложилась ввиду большого разнообразия АТС, оснащенных дизелями и соответствующих нормам различных экологических стандартов (например, Правил ЕЭК ООН № 49 и № 96), и, связанных с этим разнообразием технических решений. Это проявляется на фоне ограниченности обмена актуальной и достоверной научно-технической информации, связанной с понятиями "объект авторского права", "ноу-хау" и "коммерческая тайна". При этом большая часть технических решений, представленных в патентах и авторских свидетельствах по тематике ФТЧ, носят декларативный характер и по разным причинам трудно реализуемы на практике, или заведомо нереализуемы.

В связи с этим, обобщение и классификация информации, полученной при анализе специализированных литературных источников, по регенерации ФТЧ, являются неотъемлемой частью, создавая предпосылки и базу исследования физико-химиче-

ских явлений, составляющих суть и сопровождающих процесс регенерации. Исследование и моделирование этих процессов является неотъемлемой частью НИР по созданию, доводке и внедрению в производство и эксплуатацию новых, а также модернизации и совершенствования известных систем и устройств по очистке ОГ дизелей от нормируемых вредных веществ (ВВ).

**Цель исследования** – обобщение и классификация информации из научно-технических литературных источников по вопросам способов и средств регенерации ФТЧ.

**Классификация способов и средств регенерации ФТЧ**

Процесс регенерации ФТЧ представляет собой довольно сложную инженерную задачу и может проходить различными путями и в различных условиях, поэтому разработчики выбирают, так называемую, стратегию регенерации в заданных условиях эксплуатации дизеля и ФТЧ, при этом учитываются распределение режимов работы дизеля, условия нестационарного теплопереноса в ФЭ, химизм и кинетику процесса выгорания сажи [4 – 16].

Как известно, ТЧ содержат окисляемые и неокисляемые фракции. К окисляемым относят все фракции ТЧ, которые могут быть окислены остаточным кислородом в ОГ при температуре не выше 1000 °С – это продукты неполного сгорания топлива (ПНСТ) и моторного масла: несгоревшие углеводороды  $C_nH_m$  и частицы сажи. К неокисляемым – все остальные: минеральная абразивная пыль из воздуха свежего заряда, продукты износа деталей ДВС, соединения серы из топлива, зола от сгорания присадок топлива и моторного масла. Неокисляемых фракций по массе в ТЧ существенно меньше, чем окисляемых, однако их невозможно удалить из ФЭ термическим или термокаталитическим способом, и вообще любым другим способом, на основе которых может быть построено функционирование бортовой системы регенерации ФТЧ АТС [1 – 13]. В связи с этим следует различать процессы регенерации ФТЧ I и II рода.

Предлагаемая авторами классификация представлена в виде блок-схемы на рис.1. При ее сос-

тавлении проанализировано 53 научно-технических источника информации, из которых: 14 учебников и монографий, 10 статей, 2 нормативно-правовых акта, 19 патентов и авторских свидетельств, контент 8 официальных сайтов компаний-производителей систем очистки ОГ и/или систем регенерации ФТЧ. Основные из них, составляющие основные наработки отечественных и иностранных специалистов по вопросам экологизации ДВС и, соответственно, базу исследования, приведены в списке литературы.

В зависимости от типа фракции ТЧ, от которой очищается ФЭ, можно выделить следующие виды процесса регенерации [2].

1. Регенерация ФТЧ I рода – это очистка ФЭ от окисляемых фракций ТЧ.

2. Регенерация II рода – это очистка ФЭ от неокисляемых фракций ТЧ и продуктов коксования окисляемых фракций.

Регенерация I рода осуществляется одним из следующих путей.

1.1. Очистка ФЭ на борту АТС – для твердотельных ФТЧ при наличии бортовой системы регенерации, которая может быть осуществлена термическим, термokatалитическим или механическим способом [1 – 3, 5, 7, 10, 11, 15].

1.2. Смена рабочего тела ФЭ – для, так называемых, жидкостных и бумажных фильтров, а также для монолитных керамических и не керамических типов ФТЧ без бортовой системы регенерации, с последующей очисткой ФЭ (или его рабочего тела)

от ТЧ или утилизацией ФЭ вместе с ТЧ на специализированном предприятии в ходе выполнения очередного ТО (в том числе и ежедневного) АТС и ДВС [1 – 3, 19] термическим или механическим способом (см. регенерацию II рода).

1.3. Дублирование ФТЧ на борту АТС и очередная термическая или термokatалитическая регенерация равноценных или не равноценных между собой ФТЧ бортовой системой (комбинирование двух предыдущих способов – способы 1.1 и 1.2 попеременно для двух ФЭ) [1, 2, 10, 11, 15].

Очистка ФЭ на боту АТС может осуществляться следующими способами.

1.1.1. Механическая очистка ФЭ бортовой системой регенерации. Это крайне редкое техническое решение, пока не нашедшее применения на практике по объективным причинам. К способам механической очистки следует отнести [1 – 3, 10, 17, 19, 20]:

1.1.1.1. очистка ФЭ в виде барабана с сетчатой поверхностью постоянно вращающимися щетками, приводимыми энергией потока ОГ газовой турбиной простейшей конструкции или ФТЧ с подвижным ФЭ, имеющим продольное перемещение вдоль

неподвижных щеток;

1.1.1.2. фильтрация рабочей жидкости (РЖ) жидкостного ФТЧ, работающего за счет фильтрации потока ОГ при прохождении через слой стационарной или перемешиваемой РЖ или с впрыском тумана из РЖ в поток ОГ форсунками или трубками Вентури;

1.1.1.3. смыв РЖ или удаление щетками осевших ТЧ с поверхностей электрического ФЭ;

1.1.1.4. смыв РЖ или удаление щетками со смачивающихся поверхностей ФЭ адгезированных или адсорбированных на них конгломератов ТЧ, сформированных специальными способами и отсеянными из потока ОГ мультициклонными ФТЧ;

1.1.1.5. накопление ТЧ в дополнительном объеме корпуса ФТЧ, сквозь который не проходит основной поток ОГ, и механическая очистка этого объема. При этом ТЧ коагулируют в потоке ОГ за счет воздействия на него различных факторов: введения в ОГ или топливо специальных присадок, ионизирующего электромагнитного поля, звуковых колебаний, сил инерции;

1.1.1.6. обратная продувка ФЭ потоком ОГ собственной газораспределительной системой ФТЧ. При этом в поток ОГ может наводиться туман из РЖ;

1.1.1.7. комбинации из вышеприведенных.

При термokatалитическом способе окисление ТЧ может осуществляться следующими видами окислителя [1 – 3, 10, 11, 15, 18, 21, 22]:

1.1.2.1.1. остаточным кислородом в ОГ (традиционный способ);

1.1.2.1.2. то же, с дополнительной подачей воздуха в выпускной тракт дизеля;

1.1.2.1.3. низкотемпературной плазмой, генерируемой специальными устройствами (плазмотронами) из специально подаваемого в выпускной тракт воздуха (приводит к повышенному выбросу оксидов азота);

1.1.2.1.4. тоже, но плазма генерируется из ОГ (способ отличается малой энергоемкостью, хорошо сочетается с каталитическим покрытием ФЭ, позволяет существенно снизить температуру самовоспламенения сажи);

1.1.2.1.5. диоксидом азота NO<sub>2</sub>, получаемым в каталитическом окислителе оксидов азота, установленного по потоку ОГ выше, чем ФТЧ (так называемые постоянно регенерируемые ФТЧ).

При термической или термokatалитической регенерации необходима повышенная температура ОГ, что может достигаться либо пассивно (самопроизвольно) переводом дизеля на номинальный режим работы или режим максимального крутящего момента, либо активно (принудительно) следующими мероприятиями (способами) [1 – 3, 5, 7 – 18, 30]:

Регенерация ФГУ		Регенерация II рода	
Регенерация I рода		Регенерация II рода	
вид		объект	
1. Регенерация I рода		2. Регенерация II рода	
путь		способ	
1.1. Очистка ФЭ на борту АТС		2.1. ФГУ с традиционным способом работы	
1.1.1. Механическая очистка ФЭ		2.2. ФГУ не традиционной конструкции	
1.1.1.1. Подвижные щетки или подвижный ФЭ		2.2.1. см. 1.2.1	
1.1.1.2. Фильтрация РЖ		2.2.2. см. 1.2.4	
1.1.1.3. Слив РЖ на электризованных ТЧ с ФЭ		2.2.3. см. 1.1.1.5, или 2.1.2, или 2.1.3	
1.1.1.4. см 1.1.1.3 для адсорбированных и алгезированных ТЧ		2.1.2. Механическая очистка ФЭ обратным потоком возд. из ОС	
1.1.1.5. Очистка дополнительного объема корпуса ФЭ		2.1.3. Механическая очистка ФЭ обратным потоком РЖ	
1.1.1.6. Обратная продувка ФЭ потоком ОГ		средство	
1.1.1.7. Комбинированные		2.1.2.1. и 2.1.3.1. ручная установка	
		2.1.2.2. и 2.1.3.2. автоматизированный стенд	
1.2. Термическая и термокаталитическая очистка ФЭ и обезвреживание ФЭ или ТЧ		2.1.1. см. 1.2.4 и 2.1.2	
1.2.1. Смена РЖ и 1.1.1.2 и 1.2.4		2.1.2. Механическая очистка ФЭ обратным потоком возд. из ОС	
1.2.2. Смена насыпки или намотки и 1.2.4 или 2.1.2		2.1.3. Механическая очистка ФЭ обратным потоком РЖ	
1.2.3. Смена насыпки или намотки и 1.2.4 или 2.1.3		средство	
1.2.4. Термическое окисление ТЧ в ФЭ на стенде (отанг)		2.1.2.1. и 2.1.3.1. ручная установка	
		2.1.2.2. и 2.1.3.2. автоматизированный стенд	
1.3. Дублирование ФЭ на борту АТС		1.3.1. см. 1.1 попеременно для двух ФЭ	
		1.3.2. см. 1.2 попеременно для двух ФЭ	
1.2.1. Смена РЖ и 1.1.1.2 и 1.2.4		1.3.1. см. 1.1 попеременно для двух ФЭ	
1.2.2. Смена насыпки или намотки и 1.2.4 или 2.1.2		1.3.2. см. 1.2 попеременно для двух ФЭ	
1.2.3. Смена насыпки или намотки и 1.2.4 или 2.1.3			
1.2.4. Термическое окисление ТЧ в ФЭ на стенде (отанг)			
1.1.2.1. Поддача топлива в КС ДВС		1.1.2.а. Самопроизвольная	
1.1.2.2. Поддача топлива в КС ФГУ		1.1.2.б. Принудительная	
1.1.2.3. Электрогреваемые элементы конструкции в КС ДВС		1.1.2.а.1. и 1.1.2.б.1. Штатный	
1.1.2.4. Поддача в КС ДВС		1.1.2.а.2. и 1.1.2.б.2. Аварийный	
1.1.2.5. Воздействие СВЧ-излучателя на поток ОГ		1.1.2.б.3. Аварийно-штатный локация	
1.1.2.6.3.1. см. 1.2.4		1.1.2.б.3.2. На борту АТС	
1.1.2.6.3.2.1. Аэрозольная система		1.1.2.6.3.2.2. Бортовая система	

Рис 1. Блок-схема классификации способов и средств регенерации ФГУ

1.1.2.2.1. подачей топлива в камеру сгорания (КС) дизеля на такте расширения и/или выпуска и инициализацией его диффузного окисления в ОГ остаточным кислородом при прохождении потока ОГ через каталитический окислитель ПНСТ, расположенном выше ФТЧ по потоку ОГ;

1.1.2.2.2. подачей топлива в специальную КС в выпускном тракте или корпусе ФТЧ и инициализацией его диффузного окисления остаточным кислородом ОГ при помощи каталитических сеток, свечей зажигания или накаливания с последующим автономным поддержанием пламени;

1.1.2.2.3. использованием теплоизоляции корпуса ФТЧ и электронагреваемых элементов конструкции ФТЧ: свечей накаливания, нихромовых спиралей в выпускном тракте или теле ФЭ, а также ФЭ из металлических деталей;

1.1.2.2.4. повышением водородного числа топлива при подаче водорода в свежий заряд;

1.1.2.2.5. использованием СВЧ-излучателей, воздействующих на поток ОГ путем повышения температуры потока и самих ТЧ до порога самовоспламенения, что сопровождается деградацией ПНСТ, адсорбированных на сажевых ядрах.

Термическое окисление ТЧ кислородом в ОГ начинается при 550 – 650 °С, при использовании каталитического покрытия ФЭ или подачи каталитических присадок в топливо или ОГ (например, присадки в топливо Wynns Diesel Power 3 или EO-LYS фирмы Rhodia [21]) при 300 – 400 °С, а окисление ТЧ низкотемпературной плазмой или диоксидом азота происходит уже при 200 – 250 °С [1, 2, 5, 7, 10 – 13, 18].

Регенерацию I рода способом термической или термокаталитической очистки ФЭ на борту АТС также следует разделить на следующие виды [2, 14 – 16, 22, 26, 27].

1.1.2.a. Самопроизвольная (неконтролируемая, пассивная) – при достижении условий (параметров ОГ), необходимых для начала и поддержания процесса окисления ТЧ в ФТЧ, при работе дизеля на режимах, характеризующихся такими параметрами ОГ без участия бортовой системы регенерации.

В зависимости от количества накопленных ТЧ в ФЭ, этот процесс может протекать в следующих режимах:

1.1.2.a.1. штатный – условия протекания процесса не вызывают негативных последствий для материала ФЭ, его каталитического покрытия и корпуса ФТЧ;

1.1.2.a.2. аварийный – быстрое сгорание большого количества накопленных ТЧ, неравномерно повышающее температуру материала ФЭ и приводящее к его термошоковому разрушению (со сме-

щением каналов для прохода ОГ и их перекрытием (запирание ФЭ), либо с образованием сквозного отверстия в ФЭ (пробой ФЭ)) или его оплавлению, разрушению его каталитического покрытия или прогару корпуса ФТЧ.

1.1.2.б. Принудительная (контролируемая, активная) – при создании условий (параметров ОГ), необходимых для начала и поддержания процесса окисления ТЧ в ФТЧ с помощью средств бортовой системы регенерации.

В зависимости от количества накопленных ТЧ в ФЭ и ряда других факторов, этот процесс может осуществляться в следующих режимах:

1.1.2.б.1. штатный – при достижении расчетного уровня количества накопленных ТЧ в ФЭ (или других показателей – см. далее), который ниже критического, опасного для безаварийного осуществления процесса, однако создает такое противодействие ФТЧ, выше которого ЭБУ дизелем определяет режим его работы как аварийный;

1.1.2.б.2. аварийный – то же, что и предыдущий, но осуществление процесса штатной системой регенерации при заводских настройках ЭБУ или на борту АТС вообще невозможно.

1.1.2.б.3. аварийно-штатный – при достижении критического значения расчетного уровня количества накопленных ТЧ в ФЭ (или других показателей), при котором есть опасность выхода из строя элементов ФТЧ или прерывания процесса регенерации, но регенерацию все еще возможно осуществить средствами бортовой системы при переводе дизеля на особый режим работы;

Аварийно-штатный режим также реализуется при регенерации ФТЧ, ресурс которых исчерпан по причине физического износа (вызванного газовой высокотемпературной эрозией и абразивным износом, разрушением каталитического напыления), или в связи с необходимостью осуществления регенерации II рода, когда уровень накопленных нерастворимых и закоксовавшихся растворимых фракций ТЧ в ФЭ достиг критического значения.

Осуществление принудительной регенерации I рода в аварийно-штатном режиме возможно в следующих локациях [11, 15, 16, 26, 27]:

1.1.2.б.3.1. вне борта АТС промывкой ФЭ водой под давлением до 1,5 МПа вручную или на специализированном автоматическом стенде, либо осуществлением термической регенерации на специальном оборудовании;

1.1.2.б.3.2. на борту АТС такими средствами:

1.1.2.б.3.2.1. бортовой системы регенерации при инициации процесса непосредственным управлением ЭБУ на СТО;

1.1.2.б.3.2.2. при использовании средств пре-

образования (растворения и перераспределения в теле ФЭ), накопленных ТЧ (например, аэрозольная система очистки ФТЧ от ТЧ производства фирмы LIQUI MOLY Pro Line DPF [25]). Способ используется в случае невозможности (или нежелания) проведения принудительной аварийной регенерации ФТЧ средствами бортовой системы регенерации.

Принудительная регенерация ФТЧ I рода в штатном режиме вне борта АТС широко используется на промышленных предприятиях и в горнодобывающей отрасли, особенно в угольных шахтах, где наличие бортовой системы регенерации (и, соответственно, осуществлении этого процесса в шахте) запрещено требованиями техники безопасности. Для АТП с парком городского транспорта, строительных и дорожных машин, сельскохозяйственной техники стратегия регенерации ФТЧ вне борта АТС не только возможна, но и широко применяется, поскольку позволяет осуществлять ее централизованно и предполагает ежедневный осмотр ФЭ, как одной из самых дорогих и ненадежных деталей АТС [1 – 3, 10 – 12, 23, 24].

Регенерация I рода путем очистки ФЭ вне борта АТС сменой ФЭ может осуществляться следующими способами [1 – 3, 15, 23, 28 – 32]:

1.2.1. сменой РЖ в жидкостных ФТЧ с последующей ее фильтрацией (см. 1.1.1.2) и сжиганием высушенного фильтра (см. 1.2.4);

1.2.2. сменой насыпки или намотки ФЭ с последующим ее отжигом (см. 1.2.4) или очисткой обратной продувкой воздухом из ОС;

1.2.3. тоже, с обратной промывкой РЖ;

1.2.4. путем термического диффузного равномерного окисления ТЧ в ФЭ на специальном стенде (отжига) (например, на стенде компании DPG [31] для диагностики состояния ФТЧ и отжига).

Все бортовые системы принудительной регенерации требуют затрат энергии (а фактически – топлива), усложняют конструкцию и компоновку ДВС и АТС и предполагают наличие отдельной системы автоматического управления (САУ), либо контура управления в ЭБУ САУ дизелем, либо отдельной ветви алгоритма управления дизелем. Подавляющее большинство АТС, отвечающих нормам токсичности уровня EURO-IV и V, оснащенных, в связи с этим, электронным управлением топливopодачей, ТКР и системой рециркуляции ОГ, имеют бортовую систему регенерации ФТЧ, которая реализуется на базе уже имеющихся САУ и исполнительных органов этих систем [2, 14 – 16].

Необходимость осуществления регенерации ФТЧ II рода обуславливает ресурс его ФЭ, который составляет 120 – 200 тыс. км пробега АТС и исчерпывается по причине заполнения ФЭ продуктами

коксования ТЧ и неокисляемыми их компонентами, а также по причине абразивного износа материала ФЭ и опасности его термошокового повреждения с потерей пропускной способности или пробоем. Ресурс ФЭ определяется условиями эксплуатации и ТО АТС – моделью эксплуатации и качеством моторного топлива и масла. При эксплуатации АТС в городском цикле в условиях мегаполиса срок службы ФТЧ составляет 50 тыс. км пробега, поскольку наихудшая модель эксплуатации, с точки зрения заполнения ФТЧ и возможности его регенерации, предполагает обилие непродолжительных поездок в городском цикле без больших нагрузок (такси, курьерская служба, городской транспорт), что приводит к увеличенному выбросу ТЧ, повышенному расходу топлива и разбавлению им моторного масла и частым прерываниям начавшихся процессов принудительной регенерации, отсутствию пассивной регенерации I рода [25 – 27].

Регенерация II рода для разных объектов может быть как идентичной регенерации I рода, так и существенно отличаться от нее. Ее объекты можно разделить на следующие виды [1 – 3].

2.1. ФТЧ традиционной конструкции, содержащие керамические ФЭ сотовой структуры с газопроницаемыми стенками, а также подобные им по принципу работы нетрадиционные ФТЧ, содержащие ФЭ из стальной фольги, стальной тканой сетки или стальной микрофибры. Для них регенерация II рода осуществляется вне борта АТС при очередном ТО или при достижении критического уровня противодавления ФТЧ. Этот процесс может осуществляется следующими способами:

2.1.1. способом 1.2.4 с последующей очисткой обратным потоком атмосферного воздуха;

2.1.2. тоже, без отжига;

2.1.3. путем обратной промывки ФЭ водой под давлением до 1,5 МПа вручную с помощью следующих средств:

2.1.2.1. портативной установки (например, установкой OTC Portable Diesel DPF Cleaner) [25, 28];

2.1.2.2. на специализированном стационарном автоматическом стенде (например, стенде FSX Complete Cleaning Package) [29].

ФТЧ нетрадиционной конструкции, содержащих разного рода насыпки и намотки, также подобны традиционным по принципу работы. Для них процесс регенерации II рода осуществляется путем смены насыпки с последующей очисткой самой насыпки и обезвреживанием ее продуктов – аналогично 2.1.

2.2. ФТЧ нетрадиционной конструкции (жидкостные и некоторые другие). Для них процесс регенерации II рода идентичен процессу регенерации

I рода, то есть происходит путем смены рабочей жидкости с ее дальнейшей фильтрацией – см. 1.2.1, 1.2.4, 1.1.1.5, 2.1.2, 2.1.3 [2].

#### Выводы

На основе проведенного анализа данных, содержащихся в специализированных литературных источниках по вопросам способов реализации процесса регенерации ФТЧ различных типов и средств их реализации, составлена классификация таких средств.

Исследование показало, что следует различать процесс регенерации I и II рода, соответственно, процесс очистки ФЭ от окисляемых и неокисляемых фракций ТЧ. Для ФТЧ традиционной конструкции и нетрадиционной конструкции с подобным первым принципом работы это различие принципиально ввиду различий в способах и средствах реализации этих процессов. Для некоторых типов ФТЧ нетрадиционной конструкции эти процессы идентичны.

#### Список литературы:

1. Строчков А.П. Современные методы очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц / А.П. Строчков, А.Н. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 2. – С. 99 – 104. 2. Кондратенко О.М. Методи регенерації фільтрів твердих частинок сучасних дизелів / О.М. Кондратенко // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції (6 грудня 2013 р., м. Харків). – Харків: НУЦЗУ, 2013. – С. 84 – 86. 3. Кондратенко О.М. Аналіз діючих ФТЧ дизелів нетрадиційної конструкції на відповідність сучасним нормам екологічних показників / О.М. Кондратенко, С.О. Вамболь, О.П. Строчков // Науковий журнал «Екологічна безпека», 2014. – Вип. 1 (17). – С. 25–30. 4. Двигуни внутрішнього згорання: серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л.Л. Товажнянський, А.Ф. Шеховцов; за ред. А.П. Марченко та А.Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 360 с. 5. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд. перераб. и доп. / Марков В.А., Баширов Р.М., Гамбитов И.И. – М.: Изд-во МГТУ им. М.Э. Баумана, 2002. – 376 с. 6. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: Монографія / І.В. Парсаданов – Харків: Видавничий центр НТУ «ХП», 2003. – 244 с. 7. Оценка и контроль выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М.: Издательство Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с. 8. Канило П.М. Автомобіль та навколишнє середовище. / П.М. Канило, І.С. Бей, О.І. Ровенський – Х.: Прапор, 2000. – 304 с. 9. Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-екологічне питання і перспективи: монографія / П.М. Канило – Харків: изд-во ХНАДУ, 2013. – 270 с. 10. Сарры Л.О. Защита воздуха от выбросов автотранспорта. Аналитическая справка. – Рига: Латвийский информационный центр, 1991. – 16 с. 11. Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines / K. Mollenhauer, H. Tschoke. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 634 p. 12. Heywood John B. Internal combustion engine

- fundamentals / John B. Heywood // New York: McGraw-Hill inc., 1988. – 485 p. 13. Александров А.А. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Ирхаров, В.В. Багров и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. – 791 с. 14. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с. 15. BOSCH. Автомобильный справочник: перевод с английского / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО КЖИ "За рулем", 2002. – 896 с. 16. BOSCH. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 485 с. 17. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. / В. Страус // М.: Химия, 1981. – 616 с. 18. Нейтрализация отработавших газов дизелей с помощью плазменной технологии / Ю.С. Бородин, П.Я. Перерва, А.П. Кудряш, В.П. Мараховский, В.М. Семикин // Авиакосмическая техника и технология, 2000. – Вып. 19 – С. 11 – 13. 19. Семикин В.М. Анализ области применения жидкостной нейтрализации отработавших газов дизелей / В.М. Семикин // Автомобильный транспорт, 2008. – Вып. 22. – С. 28 – 130. 20. Manus W. Electrostatic particulate filter for nanoparticle reduction / Wolfgang Manus, Rolf Bruck, Jan Hogdson, Christian Vorssman // MTZ – Vol. 72 – 02.2011 – p. 22 – 27. 21. Twigg M.V. Advanced Exhaust Emissions Control. A selective review of the Detroit 2000 SAE World Congress / M.V. Twigg // Platinum Metals Review. – 2000 – № 44 (2). – pp. 67 – 71. 22. Шеховцов Ю.И. Исследование термokatалитической регенерации сажевого фильтра дизелей / Ю.И. Шеховцов, Л.С. Заиграев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – №2. – С. 57 – 59. 23. Антонов В.П. "Чистые" выхлопные погрузчики [Электронный ресурс] / В.П. Антонов // Склад и Техника. – 2005. – № 6. – Режим доступа: [http://www.logist.com.ua/warehouse/tehnika/clean\\_forklifts.htm](http://www.logist.com.ua/warehouse/tehnika/clean_forklifts.htm). 24. Никитин Р.М. Нейтрализаторы: евро не пахнет [Электронный ресурс] / Р.М. Никитин // За рулем – Украина. – 2001. – № 1. – Режим доступа: [http://old.uzr.com.ua/pbs.php?pbl\\_action=view&pbl\\_id=615](http://old.uzr.com.ua/pbs.php?pbl_action=view&pbl_id=615). 25. Официальный сайт компании LIQUI MOLY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://liquimoly.ua/Dizelnyy-sagevyuy-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>. 26. Официальный сайт компании Volkswagen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.volkswagen.ua>. 27. Официальный сайт компании Isuzu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://isuzu.com.ua>. 28. Официальный сайт компании OTC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.otctools.com/products/otc-portable-diesel-particulate-filter-cleaner>. 29. Официальный сайт компании FSX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fsxinc.com>. 30. Официальный сайт компании Boshart Engineering, Econix Next Generation® DPF-A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://econixdpf.com>. 31. Официальный сайт компании DPG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.combustion.com/products/dpg>. 32. Официальный сайт компании Woodward [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.woodward.com/emissioncontrols.aspx>.

#### Bibliography (transliterated):

1. Strokov A.P. Sovremennyye metody ochestki otrabotavshih gazov dizelej ot tverdyh chastic / A.P. Strokov, A.N. Kondratenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2010. – № 2. – S. 99 – 104. 2. Kondratenko O.M. Metody regeneracii fil'triv tverdyh chastynok suchasnyh

- dyzeliv / O.M. Kondratenko // *Prykladni aspekty tehnogenno-ekologichnoi' bezpeky: zbirnyk tez Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' konferencii'* (6 grudnja 2013 r., m. Kharkiv). – Kharkiv: NUCZU, 2013. – S. 84 – 86. 3. Kondratenko O.M. Analiz dijuchyh FTCh dyzeliv netradycijnoi' konstrukcii' na vidpovidnist' suchasnym normam ekologichnyh pokaznykiv / O.M. Kondratenko, S.O. Vambol', O.P. Strokov // *Naukovyj zhurnal «Ekologichna bezpeka»*, 2014. – Vyp. 1 (17). – S. 25 – 30. 4. Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja: serija pidruchnykiv u 6 tomah. T.5. Ekologizacija DVZ / A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, L.L. Tovazhnjans'kyj, A.F. Shehovcov; za red. A.P. Marchenko ta A.F. Shehovcova. – Kharkiv: Prapor, 2004. – 360 s. 5. Markov V.A. Toksichnost' otrabotavshih gazov dizelej. 2-e izd. pererab. i dop. / Markov V.A., Bashirov R.M., Gambitov I.I. – M.: Izdvo MGTU im. M.E. Baumana, 2002. – 376 s. 6. Parsadanov I.V. Pidvyshhennja jakosti i konkurentospromozhnosti dyzeliv na osnovi kompleksnogo palyno-ekologichnogo kryteriju: Monografija / I.V. Parsadanov – Kharkiv: Vydavnychj centr NTU «KhPI», 2003. – 244 s. 7. Ocenka i kontrol' vybrosa dispersnyh chastic s otrabotavshimi gazami dizelej / V.A. Zvonov, G.S. Kornilov, A.V. Kozlov, E.A. Simonova. – M.: Izdatel'stvo Prima-Press-M, 2005. – 312 s. 8. Kanilo P.M. Avtomobil' ta navkolyshnje seredovyshhe. / P.M. Kanilo, I.S. Bej, O.I. Rovens'kyj – Kh.: Prapor, 2000. – 304 s. 9. Kanilo P.M. Avtotransport. Toplivno-jekologicheskie problemy i perspektivy: monografija / P.M. Kanilo – Har'kov: izd-vo HNADU, 2013. – 270 s. 10. Sarry L.O. Zashhita vozduha ot vybrosov avtotransporta. Analiticheskaja spravka. – Riga: Latvijiskij informacionnyj centr, 1991. – 16 s. 11. Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines / K. Mollenhauer, H. Tschoke. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 634 p. 12. Heywood John B. Internal combustion engine fundamentals / John B. Heywood // New York: McGraw-Hill inc., 1988. – 485 p. 13. Aleksandrov A.A. Al'ternativnye topliva dlja dvigatelej vnutrennego sgoranija / A.A. Aleksandrov, I.A. Irharov, V.V. Bagrov i dr. Pod red. A.A. Aleksandrova, V.A. Markova. – M.: OOO NIC "Inzhener", OOO "Oniko-M", 2012. – 791 s. 14. Grehov L.V. Toplivnaja apparatura i sistemy upravlenija dizelej / L.V. Grehov, N.A. Ivashhenko, V.A. Markov. – M.: Legion-Avtodata, 2004. – 344 s. 15. BOSCH. Avtomobil'nyj spravochnik: perevod s anglijskogo / Robert Bosch GmbH. – M.: ZAO KZHI "Za rulem", 2002. – 896 s. 16. BOSCH. Sistemy upravlenija dizel'nymi dvigateljami. Perevod s nemetskogo. Pervoe russkoe izdanie / Robert Bosch GmbH. – M.: ZAO «KZHI «Za rulem», 2004. – 485c. 17. Straus V. Promyshlennaja oshchistka gazov: Per. s angl. / V. Straus // M.: Himija, 1981. – 616 s. 18. Nejtralizacija otrabotavshih gazov dizelej s pomoshh'ju plazmennoj tehnologii / Ju.S. Borodin, P.Ja. Pererva, A.P. Kudrjash, V.P. Marahovskij, V.M. Semikin // *Aviakosmicheskaja tehnika i tehnologija*, 2000. – Vyp. 19. – S. 11 – 13. 19. Semikin V.M. Analiz oblasti primenenija zhidkostnoj nejtralizacii otrabotavshih gazov dizelej / V.M. Semikin // *Avtomobil'nyj transport*, 2008. – Vyp. 22. – S. 28 – 130. 20. Manus W. Electrostatic particulate filter for nanoparticle reduction / Wolfgang Manus, Rolf Bruck, Jan Hodgson, Christian Vorssman // *MTZ* – Vol. 72 – 02.2011 – p. 22 – 27. 21. Twigg M.V. Advanced Exhaust Emissions Control. A selective review of the Detroit 2000 SAE World Congress / M.V. Twigg // *Platinum Metals Review*. – 2000 – № 44 (2). – pp. 67 – 71. 22. Shehovcov Ju.I. Issledovanie termokataliticheskoj regeneracii sazhevogo fil'tra dizelej / Ju.I. Shehovcov, L.S. Zaigraev // *Dvigateli vnutrennego sgoranija*. – 2004. – №2. – S. 57 – 59. 23. Antonov V.P. "Chistye" vilochnye pogruzchiki [Elektronnyj resurs] / V.P. Antonov // *Sklad i Tehnika*. – 2005. – № 6. – Rezhim dostupa: [http://www.logist.com.ua/warehouse/tehnika/clean\\_forklifts.htm](http://www.logist.com.ua/warehouse/tehnika/clean_forklifts.htm). 24. Nikitin R.M. Nejtralizatory: evro ne pahnet [Elektronnyj resurs] / R.M. Nikitin // *Za rulem – Ukraina*. – 2001. – № 1. – Rezhim dostupa: <http://old.uzr.com.ua/pbs.php?pbaction=view&pblid=615>. 25. Oficial'nyj sayt kompanii LIQUI MOLY [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://liquimoly.ua/Dizelnyj-sagevyj-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>. 26. Oficial'nyj sayt kompanii Volks-Wagen [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.volkswagen.ua>. 27. Oficial'nyj sayt kompanii Isuzu [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://isuzu.com.ua>. 28. Oficial'nyj sayt kompanii OTC [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.otctools.com/products/otc-portable-diesel-particulate-filter-cleaner>. 29. Oficial'nyj sayt kompanii FSX [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.fsxinc.com>. 30. Oficial'nyj sayt kompanii Boshart Engineering. Econix Next Generation® DPF-A [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://econixdpf.com>. 31. Oficial'nyj sayt kompanii DPG [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.cambustion.com/products/dpg>. 32. Oficial'nyj sayt kompanii Woodward [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.woodward.com/emissioncontrols.aspx>.

Поступила в редакцию 11.06.2014

**Кондратенко Александр Николаевич** – канд. техн. наук, вед. инж. отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков, Украина, e-mail: kharkivjanun@i.ua.

**Строков Александр Петрович** – доктор техн. наук, проф., зав. отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков, Украина, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua.

**Вамболь Сергей Александрович** – доктор техн. наук, доц., зав. кафедры Прикладной механики Национального университета гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина, e-mail: sergvambol@gmail.com.

**Семикин Виталий Максимович** – ведущий инженер отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков, Украина, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua.

## РЕГЕНЕРАЦІЯ ФІЛЬТРІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛІВ

*О. М. Кондратенко, О. П. Строков, С. А. Вамболь, В. М. Семикин*

Проведені результати аналізу інформації з науково-технічних літературних джерел, авторських свідоцтв і патентів щодо особливостей перебігу процесу регенерації фільтрів твердих частинок (ФТЧ) дизельних двигунів, а також способів організації такого процесу, систем та пристроїв, що ці способи реалізують. За результатами аналізу отриманих даних складено класифікацію сучасних методів та засобів реалізації процесу регенерації ФТЧ дизелів. Виявлено, що такий процес слід принципово поділяти на регенерацію I і II роду, відповідно на очищення ФЕ від окислюваних та неокислюваних фракцій твердих частинок.

## REGENERATION OF DIESEL PARTICULATE MATTER FILTERS

*A. N. Kondratenko, A. P. Strokov, S. A. Vambol, V. M. Semikin*

Present paper describes a results of analysis of information from scientific and technical literature, inventors certificates and patents on issues of features of the process of regeneration of particulate matter filters diesel engines (DPF), as well as ways of organizing of that process, systems and devices, which implementing these methods. According to the analysis of the obtained data compiled classification of modern methods and means to implementation of the process of regeneration of DPFs. Revealed that such a process should be fundamentally divided into regeneration 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> kind – correspondingly by cleaning the FE from the oxidisable and non-oxidisable fractions of particulate matters.