

DOI: 10.58168/ATER2025_44-53

УДК 629.114.2.011.5:62

Затонский А.П.

кандидат техн. наук, конструктор ООО
«Агро-Гарант», г. Воронеж, РФ

Мерчалов С.В.

кандидат техн. наук, доцент кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Мураткин С.Е.

преподаватель кафедры автомобилей и
сервиса Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ

Zatonsky A.P.

Candidate of Technical Sciences, Designer of
Agro-Garant LLC, Voronezh, Russian
Federation

Merchalov S.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor at the
Department of cars and service, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

Muratkin S.E.

lecturer at the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ДВС ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL QUALITIES OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE THROUGH THE USE OF EXHAUST GAS PURIFICATION

Аннотация. В статье представлены результаты и проанализирована система очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Система состоит из основного угольный фильтра и дополнительного электростатического фильтра, для выделения сажевых частиц. Проведенная апробация предложенной системы фильтрации была осуществлена на двигателе ЗМЗ-40906. Анализ экспериментальных исследований показал, что электростатический фильтр эффективно выделяет крупные частицы сажи с радиусом от 40 до 100 мкм, степень очистки составляет от 0,84 до 0,99. Ниже результат выделения получен при выделении сажевых частиц размерами от 10 до 30 мкм, степень очистки которых составляет от 0,3 до 0,7.

Abstract. The article presents the results and analyzes the exhaust gas purification system of the internal combustion engine (ICE). The system consists of only the main carbon filter and an additional electrostatic filter to isolate particulate matter. Testing of the proposed filtration system was carried out on the ZMZ-40906 engine. Analysis of experimental studies showed that the electrostatic filter effectively emits large particles of soot with a radius of 40 to 100 microns, the degree of purification is from 0.84 to 0.99. Below, the extraction result is obtained by separating soot particles with size of 10 to 30 mcm, the degree of purification of which ranges from 0.3 to 0.7.

Ключевые слова: каталитические нейтрализаторы, электростатические фильтры, центральный электрод, адсорбционные фильтры, сажевые частицы, монооксид углерода, оксиды азота.

Keywords: catalytic converters, electrostatic filters, central electrode, adsorption filters, particulate matter, carbon monoxide, nitrogen oxides.

Введение

Развитие автомобильного транспорта в настоящее время привело к экологическим проблемам. Загрязнение атмосферы выбросами вредных веществ отработавшими газами ДВС, например, как угарный газ (CO), оксиды азота (NOx), сажа, бенз(а)пирен и другие включения влияют серьезно на здоровье человека. Они обладают высокой канцерогенной активностью и способствуют развитию ряда серьезных заболеваний, включая респираторные, сердечнососудистые патологии, а также онкологические заболевания [1,2].

Для решения данной проблемы необходимо разработать и внедрить концепцию экологически чистого двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

В течение длительного периода эволюции проблемы автотранспортных выбросов и их негативного воздействия на качество атмосферного воздуха был разработан широкий спектр инновационных решений, направленных на минимизацию объема выхлопных газов и снижение их токсичности. Эти подходы включают в себя разнообразные методы, технические решения и конструктивные модификации, которые демонстрируют высокую степень эффективности в контексте экологической безопасности.

В настоящее время, для уменьшения вредных веществ в отработавших газах ДВС используется метод нейтрализации ОГ в системе выпуска, который представляет собой высокоэффективное решение данной проблемы [3,4,7].

На рисунке 1 представлена схема устройства выпускной системы бензиновых двигателей современных автомобилей.

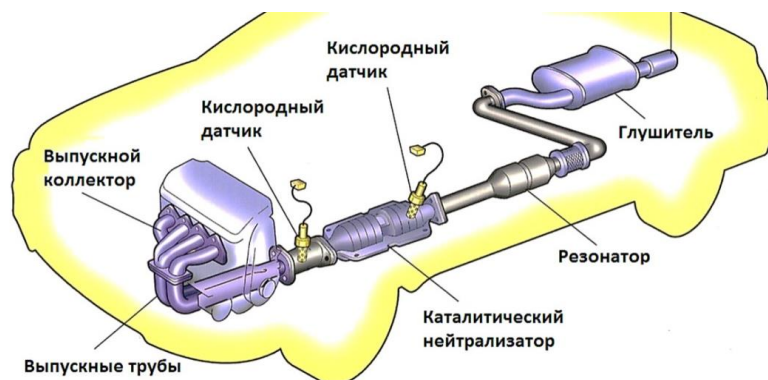


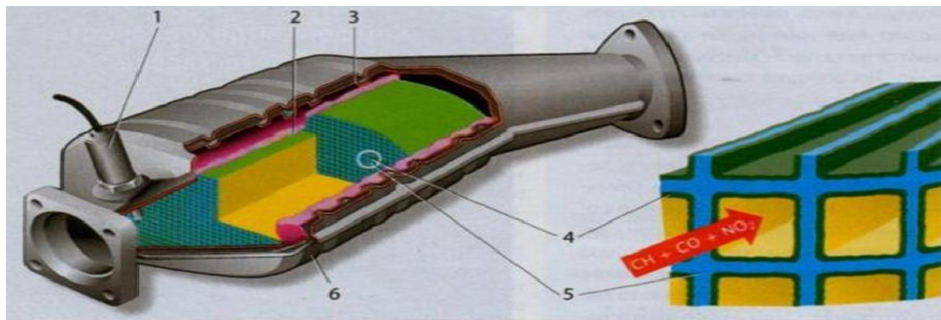
Рисунок 1 – Устройство выпускной системы отработавших газов бензиновых двигателей современных автомобилей

Каталитические нейтрализаторы, являются центральным элементом современных систем очистки выхлопных газов. Они делятся на окислительные нейтрализаторы и трехкомпонентные нейтрализаторы. Первые эффективны в снижении выбросов оксидов углерода (CO) и углеводородов (HC). Вторые также хорошо работают с выбросами CO, HC, а также с оксидами азота (NO_x).

В автомобилях с бензиновыми двигателями окислительные нейтрализаторы функционируют как катализаторы процесса дожигания продуктов неполного сгорания. Они оснащаются нагнетателями, пульсаторами или эжекторами для увеличения количества воздуха для улучшения каталитического процесса.

Для таких процессов необходимо контролировать состав горючей смеси. Регуляция состава смеси осуществляется с помощью лямбда-зонда, известного как датчик концентрации кислорода.

На рисунке 2 представлена конструкция каталитического трехкомпонентного нейтрализатора.



- 1 – кислородный датчик; 2 – цилиндр; 3 – терморасширительная прокладка;
4 – катализатор; 5 – керамический носитель; 6 – металлический корпус

Рисунок 2 – Конструкция каталитического трехкомпонентного нейтрализатора

Можно выделить следующие недостатки каталитических нейтрализаторов:

1. Имеют ограничения по применению, устанавливать их можно на двигателях внутреннего сгорания, работающих на бензине без содержания соединения свинца.
2. Каталитический нейтрализатор создает дополнительное сопротивление потоку выхлопных газов и способствует увеличению расхода топлива.
3. Необходимо соблюдать технико-эксплуатационные требования регулировки, установленные производителем, чтобы не ухудшить процесс нейтрализации и выхода из строя дорогостоящего компонента.
4. Благородные металлы платиновой группы значительно увеличивают

стоимость производства и эксплуатации транспортных средств, оснащенных каталитическими нейтрализаторами.

Дизельные агрегаты характеризуются высоким уровнем выбросов оксидов азота и твердых частиц, в частности сажи.

Конструкция сажевого фильтра, состоящую из множества параллельно расположенных каналов, заглушенных с одного конца, и обладающих пористыми стенками (рис.3). Выхлопные газы, проходя через эти пористые структуры, перемещаются из одного канала в другой, и в конечном итоге выходят с противоположной стороны через незаглушенный конец (рис.4). Для изготовления фильтров используются материалы с высокоразвитой пористой структурой, такие как пенокерамика и пенометалл, поскольку размеры их пор сопоставимы с размерами частиц дизельного сажевого загрязнения.



Рисунок 3 – Конструкция сажевого фильтра



Рисунок 4 – Сажевый фильтр заполненный

Цель работы

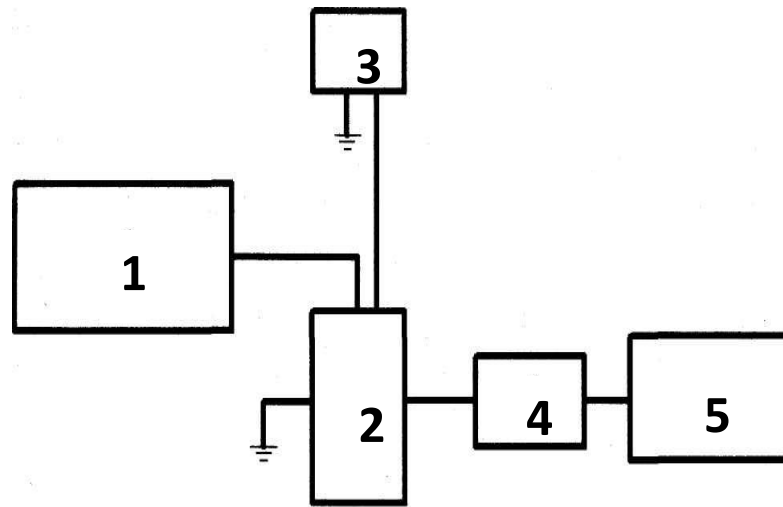
Целью данной работы является улучшение экологических показателей ДВС путем применения очистки отработавших газов.

В рамках решения данной проблемы предлагается улучшить систему очистки отработавших газов, установить в нее дополнительный электрофильтр, предназначенный для удаления сажевых частиц.

Объект исследования

В рамках текущего исследования была исследована схема очистки отработавших газов для двигателя ЗМЗ-40906 в условиях стендовых испытаний. Схема очистки отработавших газов представлена на рисунке 5. Для данного двигателя для очистки отработавших газов используется в основном угольный фильтр. В нашей схеме будет установлен дополнительный электростатический

ский фильтр перед угольным, который, по нашему мнению, может уменьшить содержание сажевых частиц в выхлопных газах и продлить срок службы основного.



1 – двигатель внутреннего сгорания (ДВС); 2 – электростатический фильтр; 3 – преобразователь напряжения электрофильтра; 4 – эжектор; 5 – адсорбционный фильтр

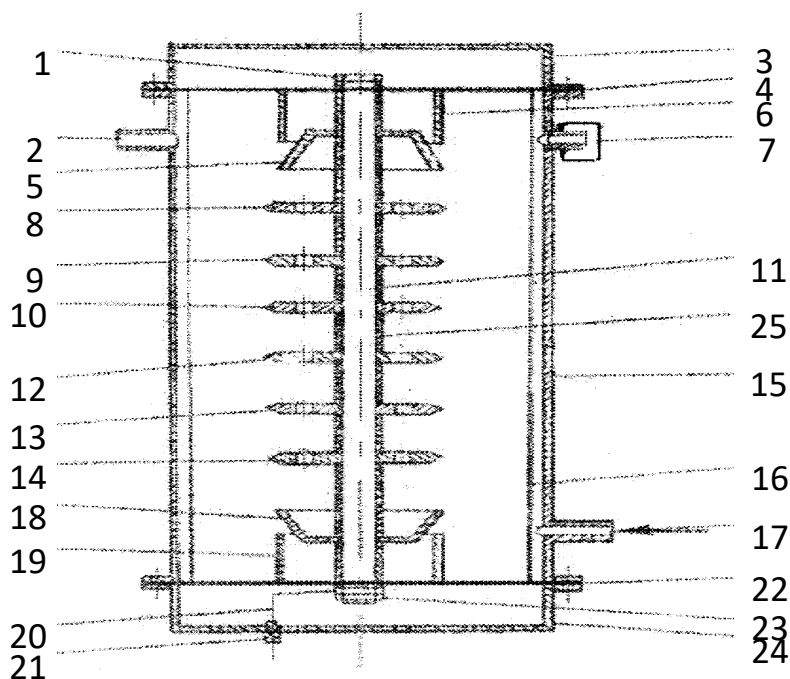
Рисунок 5 – Схема очистки отработавших газов ДВС с дополнительным электрофильтром

Принцип функционирования системы очистки выхлопных газов основан на комплексной физико-химической обработке выбросов двигателя внутреннего сгорания. В процессе работы двигателя 1 создается избыточное давление в выпускном коллекторе и отработанные газы поступают в систему очистки.

Из двигателя 1 выхлопные газы поступают в электростатический фильтр 2 (рис.6) и движутся радиально по отношению к центральному электроду фильтра, сталкиваясь с завихрителем 6 и 19. Завихрители придают газам вращательно- поступательное движение вдоль электрода, что приводит к снижению их скорости. При подаче высокого напряжения на центральный электрод электрофильтра возникает неоднородное электрическое поле между электродом и стенками устройства. При этом, при подаче высокого напряжения на центральный электрод электрофильтра возникает неоднородное электрическое поле между электродом и стенками устройства и происходит коронный электрический разряд, в результате которого формируются ионы. Частицы сажи, контактируя с электродом и взаимодействуя с ионами, подвергаются процессу электризации, то есть приобретают электрический заряд движущие от коронирую-

щего электрода в направлении стенок корпуса что способствует оседанию твердых частиц на поверхности электродов.

Под воздействием сил электрического поля и центробежных сил, эти заряженные частицы движутся к выпускной трубе, где, благодаря закрученному потоку, переносятся к сажесборнику 7.



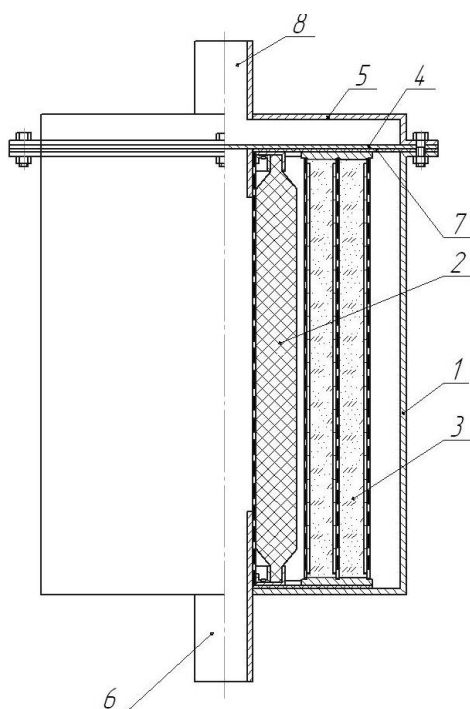
1, 23 – стяжные гайки центрального электрода; 2 – выходная труба (патрубок); 3 – верхняя крышка электрофильтра; 4, 22 – центрирующие диски; 5, 18 – тарельчатые коронирующие диски; 6, 19 – завихрители; 7 – сажесборник; 8, 9, 10, 12, 13, 14 – дисковые коронирующие диски; 11 – коронирующий центральный электрод; 15 – корпус электрофильтра; 16 – осадительный электрод; 17 – входная труба; 20 – питающий проводник; 21 – изолятор питающего проводника; 24 – нижняя крышка электрофильтра; 25 – междисковый изолятор распорник

Рисунок 6 – Электростатический фильтр

Механизм очистки в электрофильтре основан на комплексной электродинамической системе, включающей генерацию коронного разряда, ионизацию газа, электризацию частиц сажи и их последующее удаление из воздушного потока.

Электрофильтр даляет сажу из отработанных газов, после чего они посредством эжектора 4 поступают в адсорбционный фильтр 5 (рис. 8).

После прохождения двойной очистки, отработанные газы выводятся в атмосферу, обеспечивая значительное улучшение качества атмосферного воздуха и снижение экологической нагрузки.



1 – корпус; 2 – фильтр сажевый; 3 – фильтр адсорбционный; 4 – крышка корпуса;
5 – крышка прижимная; 6 – выходной патрубок; 7 – прокладка; 8 – входной патрубок

Рисунок 8 – Адсорбционный фильтр

Преобразователь напряжения для электрофильтра в виде схемы представлен на рисунке 9. Преобразователь состоит из транзисторов VT1 и VT2, а также трансформатора TV1.

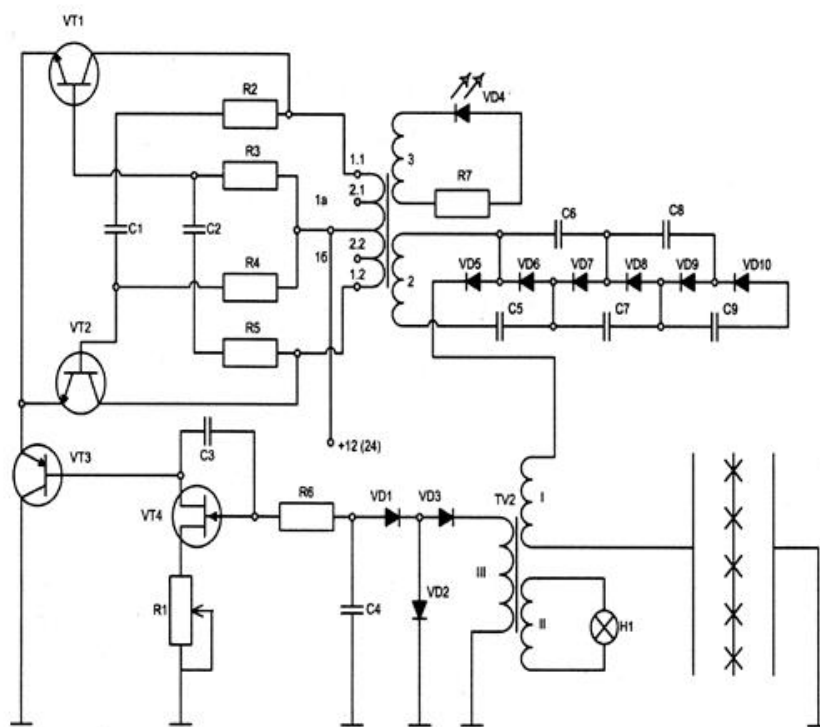


Рисунок 9 – Схема преобразователя напряжения

Генератор для преобразования постоянного тока в ток повышенной частоты выполнен из транзисторов VT1, VT2 и трансформатора TV1. Высоковольтная обмотка генератора питает схему утробения напряжения из конденсаторов C5 - C9 и высоковольтных диодов VD5 - VD10.

Ручная регулировку высокого напряжения выполняется вручную через транзистор VT3 и резистор R1.

Напряжению 24 соответствует положения 1.1 и 1.2 переключателя П1. Напряжению 12 В соответствует положения 2.1 и 2.2.

Результаты и обсуждения

Для исследования предлагаемой схемы и оценки эффективности очистки отработавших газов от сажевых включений электростатическим фильтром были проведены стендовые испытания для двигателя ЗМЗ-40906.

По удельной площади f , оценивалась степень осаждения сажевых частиц η электрофильтром

$$f = \frac{F}{Q_{\epsilon}}, \quad (1)$$

где F – площадь осадительного электрода, м^2 ; Q – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$F = 2\pi \cdot R_1 \cdot \ell, \quad (2)$$

где R_1 – радиус осадительного электрода, м , ℓ – длина электрического поля.

Показатель степени очистки η (таблица) определяли по гранулометрической характеристике каждой выделенной фракции, что позволило объективно оценить эффективность фильтрации на микроскопическом уровне.

Таблица– Степень очистки отработанных газов ДВС

Радиус частиц, мкм	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Содержание Ф, %	10	10	20	10	10	10	10	5	5	5
Степень очистки η , %	0,3	0,62	0,75	0,84	0,89	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99

Данный подход к анализу эффективности системы очистки является важным шагом в повышении экологической безопасности транспортных средств. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего совершенствования систем очистки и разработки новых технологий, направленных на снижение выбросов вредных веществ в атмосферу.

Анализ результатов демонстрирует высокую эффективность электрофильтра в осаждении крупных частиц сажи с радиусом от 40 до 100 мкм, характеризующуюся степенью очистки в диапазоне от 0,84 до 0,99. Эти частицы, благодаря своим размерам, обладают повышенной восприимчивостью к ионизации в электрическом поле, что способствует их более эффективному выделению из отработанных газов ДВС. Частицы с меньшими гранулометрическими размерами подвержены электростатическому воздействию слабее. Степень очистки последних (10-30 мкм) составляет от 0,3 до 0,7.

Выводы

1. Результаты исследований доказали работоспособность предлагаемой конструкции электрофильтра с преобразователем напряжения.

2. Эффективность в осаждении крупных частиц сажи с радиусом от 40 до 100 мкм характеризуется степенью очистки в диапазоне от 0,84 до 0,99.

3. Частицы с меньшими гранулометрическими размерами подвержены электростатическому воздействию слабее. Степень очистки последних (10-30 мкм) составляет от 0,3 до 0,7.

3. Повышенной восприимчивостью к ионизации в электрическом поле обладают частицы сажи с крупными размерами, что способствует их более эффективному выделению из отработанных газов ДВС.

Список литературы

1. Белоусов В.А. Снижение дымности отработавших газов автотракторных дизелей электрофильтром дожигателем / В.А. Белоусов // Автореф. дис.канд. техн. наук. – Минск, 2001. – 23 с.

2. Гришин А.П. Улучшение экологических показателей автотракторных дизелей путем применения нейтрализаторов отработавших газов / А.П. Гришин // Автореф. дис. канд. техн. наук. Саратов, 2002. – 20 с.

3. Гусев А.С. Стабилизация экологической обстановки и использование современных видов моторного топлива: Информационно-аналитические аспекты / А.С. Гусев, А.Н. Максимов, А.Ю. Матвеев, Л.М. Дунаев // Обзорная информация. – М.: СЭБ Инетернационал Холдинг, 2001. – С. 99-124.

4. Жегалин О.И. Снижение токсичности автомобильных двигателей / О.И. Жегалин, П.Д. Лупачев // Обзорная информация. М.: Транспорт, 1985. – С. 62-86.

5. Затонский А.П. К расчету скорости движения пылевых частиц в самоочищающемся воздухоочистителе / А.П. Затонский, А.С. Чернигин // Обеспечение эффективного функционирования производственного потенциала АПК России в условиях рыночных отношений: тез. докл. межрегион. науч. – практ. конф. мол. ученых и специалистов / ВГАУ им. К.Д. Глинки. – Воронеж, 1993. – С. 224.

6. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов – М.: Машиностроение, 1991. – 180 с.

7. Карабельников С.К. Снижение дымности отработанных газов дизелей путем научного обоснования, создания и применения сажеуловителей в системе выпуска / С.К. Карабельников // Автореф. дис. канд. техн.наук. Санкт - Петербургский аграрный университет 2002. – 25 с.

References

1. Belousov V.A. Reducing the smoke content of exhaust gases of tractor diesels by an electric afterburner filter / V.A. Belousov // Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. – Minsk, 2001. – 23 p.

2. Grishin A.P. Improving the environmental performance of tractor diesels by using exhaust gas neutralizers / A.P. Grishin // Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Saratov, 2002. – 20 p.

3. Gusev A.S. Environmental stabilization and the use of modern types of motor fuels: Information and analytical aspects / A.S. Gusev, A.N. Maksimov, A.Yu. Matveev, L.M. Dunaev // Overview information. Moscow: SEB International Holding, 2001. pp. 99-124.

4. Zhegalin O.I. Reducing the toxicity of automobile engines / O.I. Zhegalin, P.D. Lupachev // Overview information. Moscow: Transport, 1985. – pp. 62-86.

5. Zatonsky A.P. On calculating the speed of movement of dust particles in a self-cleaning air purifier / A.P. Zatonsky, A.S. Chernigov // Ensuring the effective functioning of the industrial potential of the Russian agro-industrial complex in market relations: thesis. dokl. mezregion. scientific and practical conference of young scientists and specialists / VGAU named after K.D. Glinka. Voronezh, 1993, p. 224.

6. Zvonov V.A. Toxicity of internal combustion engines / V.A. Zvonov– Moscow: Mashinostroenie, 1991, 180 p.

7. Karabelnikov S.K. Reducing the smoke content of exhaust gasesdiesel engines by scientific substantiation, creation and application of soot traps in the exhaust system / S.K. Karabelnikov // Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg Agrarian University, 2002. – 25 p.