

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-626435>

Оригинальное исследование



Улучшение состояния воздушной среды кабин транспортных средств

Е.В. Сотникова¹, Н.Ю. Калпина²

¹ Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация;

² Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Аргументировано применение инновационной орошаемой насадки для очистки воздуха в кабинах тракторов малого класса. Последнее позволяет комплексно решить проблему состояния воздушной среды при эксплуатации тракторов в условиях ограниченного воздухообмена.

Цель работы — снижение содержания в воздухе кабины тракторов малого класса вредных веществ.

Методы. Учтены физико-химические процессы, при которых в насадке воздухоохладителя может протекать очистка воздуха кабины от вредных веществ.

Результаты. Созданная для воздухоохладителей кабин указанных тракторов орошаемая насадка дает возможность очистить отработавшие газы от вредных примесей.

Заключение. Насадки регулярной структуры, орошаемые водой с растворенными в ней бикарбонатом натрия и перманганатом калия, позволяют комплексно решить проблему улучшения состояния воздушной среды при эксплуатации тракторов малого класса в условиях ограниченного воздухообмена.

Ключевые слова: сельскохозяйственные тракторы; кабина; оператор; очистка воздуха от твердых и газообразных вредных примесей; орошаемая насадка адиабатного увлажнения.

Как цитировать:

Сотникова Е.В., Калпина Н.Ю. Улучшение состояния воздушной среды кабин транспортных средств // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 4. С. 394–399. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-626435>

Рукопись получена: 03.02.2024

Рукопись одобрена: 31.08.2024

Опубликована online: 20.09.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-626435>

Original Study Article

Improving the air environment of vehicle cabins

Elena V. Sotnikova¹, Nina Yu. Kalpina²¹ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation;² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The use of an innovative irrigated nozzle for air purification in the cabins of small class tractors is justified. The use of it makes it possible to comprehensively solve the problem of the state of air environment in the case of tractors operation in conditions of limited air exchange.

AIM: Reduction of the content of harmful substances in the air of small tractors' cabins.

METHODS: Physical and chemical processes –chemical processes, during which the cabin air can be purified from harmful substances in the air cooler nozzle, are taken into account.

RESULTS: The irrigated nozzle developed for the air coolers of the cabins of the mentioned tractors makes it possible to clean the exhaust gases from harmful impurities.

CONCLUSION: Nozzles of a regular structure, irrigated with water with sodium bicarbonate and potassium permanganate dissolved in it, make it possible to comprehensively solve the problem of improving the state of air environment in the case of small class tractors operation in conditions of limited air exchange.

Keywords: agricultural tractors; cabin; operator; air purification from solid and gaseous harmful impurities; irrigated nozzle of adiabatic humidification.

To cite this article:

Sotnikova EV, Kalpina NYu. Improving the air environment of vehicle cabins. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(4):394–399.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-626435>

Received: 03.02.2024

Accepted: 31.08.2024

Published online: 20.09.2024

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших требований к качеству современных сельскохозяйственных тракторов является обеспечение безопасности жизнедеятельности операторов путём соблюдения санитарных норм по чистоте воздуха на рабочем месте.

При эксплуатации тракторов класса 0,9 и ниже в парниках, животноводческих комплексах, внутрицеховых территориях окружающая среда и воздух кабины загрязняются отработавшими газами их дизелей. Несмотря на существующие нормативные требования по снижению вредных выбросов дизелей таких тракторов, установка на них нейтрализаторов не предусматривается. Поэтому в настоящее время весьма актуальным является вопрос обеспечения в кабинах качественно очищенного приточного воздуха.

Отработавшие газы представляют собой многокомпонентную смесь газов, паров воды и аэрозолей твёрдых частиц. Эта смесь на 99–99,9% состоит из продуктов полного сгорания топлива (CO_2 и H_2O) и воздуха с пониженным содержанием кислорода. Поэтому токсичность отработавших газов определяется остальным объёмом, в который входят оксиды азота NO_x , а также продукты неполного сгорания топлива.

Установки кондиционирования воздуха не в состоянии очистить воздух от пыли мелких фракций [1]. Так, вероятность проскока частиц пыли размером даже 5 мкм у серийных картонов достигает 18%, а эффективность таких фильтров в начальный период работы не превышает 72...75%. По мере накопления на поверхности фильтра частиц пыли эффективность очистки от мелкодисперсной пыли повышается, но это сопровождается резким увеличением аэродинамического сопротивления, что приводит к падению производительности установки кондиционирования воздуха. Кроме того, фильтр из картона не может очистить воздух от газообразных примесей и даже активированный уголь не в состоянии уловить оксид углерода. Для улавливания диоксида азота и углеводородов требуется, чтобы скорость движения очищаемого воздуха через фильтр составляла не более 0,25 м/с [2], что обуславливает необходимость увеличения фронтального размера устройства очистки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Нормативный показатель качества воздушной среды — предельно допустимая концентрация вредных

веществ, в данном случае в рабочей зоне приведён в табл. 1. При сертификации отечественных дизелей тракторов, работающих в условиях ограниченного воздухообмена, предельно допустимые выбросы токсичных веществ считают соответствующими стандарту, если за испытательный цикл не превышены нормы по CO , NO_x и C_nH_m [3]. В связи с этим необходимо рассмотреть возможность снижения содержания в воздухе кабины именно этих компонентов.

МЕТОДЫ

Сажа в чистом виде относительно нетоксична, однако, в силу весьма высокой дисперсности и активной адсорбционной способности её частицы несут на своей поверхности газообразные вредные вещества, глубоко проникающие в лёгкие человека. В связи с этим в ГОСТ 17.2.2.02 определены допустимые нормы дымности отработавших газов тракторных дизелей, что обуславливает необходимость качественной очистки воздуха кабины трактора от аэрозвеси сажи.

Как известно [4], очистка воздуха от газообразных примесей может быть осуществлена в процессах адсорбции и хемосорбции. Адсорбция заключается в разделении смеси газов на составные части путём поглощения её вредных газовых компонентов (абсорбатов) жидким поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора. Процесс протекает тем быстрее, чем больше поверхность раздела фаз «воздух — жидкость» и турбулентность воздушного потока. Поэтому при выборе конструкции аппарата для осуществления процесса абсорбции особое внимание было уделено организации контакта воздушного потока (в смеси с газообразными компонентами) с абсорбентом и выбору последнего. При этом решающее условие — растворимость в нем извлекаемого летучего компонента и её зависимость от температуры, при понижении которой растворимость газов, как правило, возрастает.

Хемосорбция в нашем случае основана на поглощении летучих компонентов воздуха активным жидким поглотителем с образованием малолетучих или малорастворимых (выпадающих в осадок) химических соединений. Большинство реакций, протекающих в процессе хемосорбции, экзотермические и обратимые. Поэтому при повышении температуры раствора образующиеся химические соединения могут разлагаться с выделением исходных элементов, что также было учтено при выборе поглотителя.

Таблица 1. Нормы предельно допустимой концентрации токсичных веществ в рабочей зоне, мг/м³

Table 1. Standards for maximal permissible concentrations of toxic substances in the work area, mg/m³

Оксиды азота			Соединения углерода			Альдегиды		
NO_x	NO_2	NO	C	CO	БП	C_nH_m	акролеин	формальдегид
5	9	30	3,5	20	$15 \cdot 10^{-5}$	30	0,7	0,5

Возникает вопрос, в какой мере рассмотренный технический приём может быть использован для очистки отработавших газов в жидком нейтрализаторе.

Исследования по применению жидкостного нейтрализатора в своё время вели довольно широко как у нас в стране, так и за рубежом [1]. При этом подавляющее большинство разрабатываемых жидкостных нейтрализаторов относилось к барботажным, в которых отработавшие газы пропускаются через слой жидкого нейтрализующего раствора. В действительности подобные относительно громоздкие устройства применяли на подземном самосвале МоАЗ-6401-9598, бульдозерах Д-108 и Д-535, на самосвалах шведского производства, а также подземном дизельном оборудовании в США, Франции, Японии, Канаде. Возможность применения таких жидкостных нейтрализаторов на тракторах малых классов не рассматривали ввиду громоздкости их конструкций.

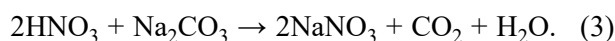
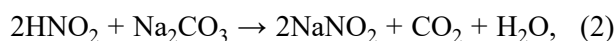
ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЫБРОСОВ

В охладителе воздуха кабин тракторов была применена насадка регулярной структуры из пористых пластмассовых пластин (мипласта), в которой процесс тепломассо-обмена между развитой орошаемой водой поверхностью и обрабатываемым потоком воздуха интенсифицирован [5]. При этом в силу испарительного охлаждения температура орошающей воды близка к температуре обрабатываемого воздуха по мокрому термометру, что существенно ниже начальной температуры по сухому термометру. Следовательно, аппарат за счёт понижения температуры повышает эффективность процессов адсорбции и хемосорбции. Если же учесть, что в насадке происходит качественная «мокрая» очистка воздуха от высокодисперсных твёрдых аэрозвесей, то такой аппарат функционально пригоден, в первую очередь, для защиты оператора от дыма.

Рассмотрим физико-химические процессы, при которых в насадке воздухоохладителя может протекать очистка от газообразных компонентов NO_x , CO и C_nH_m . Из источника [4] известно, что оксид азота NO и углерода CO плохо поглощаются и удерживаются чистой водой. В то же время диоксид азота NO_2 хорошо растворяется в воде с образованием смеси азотной и азотистой кислот:



Однако, эта смесь неустойчива и для того, чтобы итоговая реакция была необратимой, требуется нейтрализовать кислоты в водном растворе, например, недефицитной технической соды — бикарбоната натрия Na_2CO_3 :

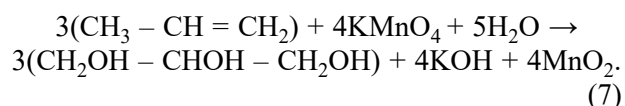
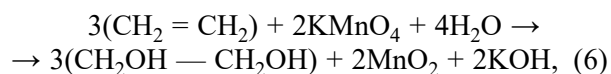
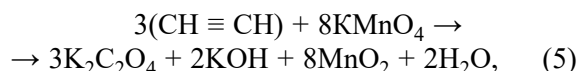


Что же касается малорастворимого в воде NO , то он легко, практически мгновенно, окисляется кислородом воздуха до диоксида азота NO_2 . Поэтому, хотя NO и присутствует в отработавших газах (на выходе из выхлопной трубы дизеля), непосредственно через окружающий воздух в кабину попасть практически не может. Таким образом, при обработке в водном растворе Na_2CO_3 вредные выбросы NO_x нейтрализуются с образованием нитрата и нитрита натрия и воды, а также выделяющегося в воздух относительно безвредного диоксида углерода.

Для нейтрализации CO и C_nH_m необходимо осуществить реакцию их окисления, для чего в водном растворе должен присутствовать соответствующий ингридиент. В соответствии с рекомендациями относительно доступным сильным окислителем является водный раствор перманганата калия KMnO_4 (марганцовка). При его взаимодействии с оксидом углерода будет происходить необратимая химическая реакция:



Относительно C_nH_m по данным [3] в ОГ отработавшие газы содержатся лёгкие углеводороды: метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 (или $\text{CH} \equiv \text{CH}$), этилен C_2H_4 (или $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) и пропилен C_3H_6 (или $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2$). Три последние относятся к непредельным (ненасыщенным) углеводородам, которые могут окисляться перманганатом калия KMnO_4 :



Таким образом, эти три компонента при взаимодействии с водным раствором KMnO_4 образуют накапливающийся здесь оксалат калия ($\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$), этиленгликоль ($\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2\text{OH}$), глицерин ($\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHOH} - \text{CH}_2\text{OH}$), диоксид марганца (MnO_2), гидроксид калия (KOH) и воду. Необходимо отметить, что этиленгликоль представляет определенную опасность для человека, поскольку ядовит. Однако это проявляется только в случае его попадания внутрь организма.

Гидроксид калия — это щёлочь, которая в растворе вступает в реакцию с азотистой и азотной кислотами:



В результате в нем образуются и накапливаются нитрит и нитрат калия, а также вода.

Метан по данным [5] относится к предельным (насыщенным) углеводородам и при обычных условиях перманганатом калия не окисляется. Однако, в силу своей устойчивости он индифферентен [6] и может вызвать отравление человека лишь в очень высоких концентрациях, обуславливающих понижение процентного содержания кислорода в воздухе. По этой причине в перечне предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов этот компонент отсутствует. Отметим, что в отработавших газах дизелей максимальное содержание метана составляет $7,9 \cdot 10^{-6}\%$ [4], то есть присутствуют лишь его следы, что никак не может снизить содержание кислорода в воздухе окружающей среды до критического уровня. Следовательно, в данном случае метан, по существу, безвреден.

Необходимо оценить компактность и аэродинамическое сопротивление аппарата с учетом его размещения в выхлопном тракте после глушителя. Для этого определим условный расход L отработавших газов для четырёхтактных двигателей [1]:

$$L = \frac{1}{2} V \cdot n, \quad (10)$$

где V — рабочий объем цилиндров дизеля, л; n — частота вращения коленчатого вала, с^{-1} .

В качестве примера расчёта рассмотрим универсально-пропашной трактор Т — 25А кл. 0,6 с дизелем Д-21А1 мощностью 18,3 кВт, $V = 2,08$ л, $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ (30 с^{-1}). В этом случае $L = 31,2$ л/с ($112,3 \text{ м}^3/\text{ч}$). Расчёт с использованием данных [5] показывает, что высота насадки должна составлять 130 мм, ширина 160 мм, глубина по ходу потока отработавших газов 140 мм. Эффективность очистки отработавших газов от частиц сажи будет на уровне 0,98, а аэродинамическое сопротивление не превысит 120 Па, что с учетом требований [3] практически не повлияет на работу дизеля, а габаритные размеры насадки позволяют применить жидкостной нейтрализатор на указанном тракторе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Созданная для воздухоохладителей кабин указанных тракторов орошаемая насадка регулярной структуры позволяет рассмотреть проблему с новых современных позиций. То, что в жидкостном нейтрализаторе с насадкой, орошаемой водным раствором Na_2CO_3 и KMnO_4 , в принципе возможно очистить отработавшие газы от вредных примесей, сомнения не вызывает.

ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо иметь в виду, что NO будет окисляться до NO_2 в самой насадке при контакте с KMnO_4 , а не с кислородом воздуха. Вопрос здесь в первую

очередь заключается в материале для изготовления пластин насадки, так как мипласт в этом случае может не выдержать высокой температуры отработавших газов при работе в режиме без орошения. Пластины необходимой конфигурации могут быть выполнены из пористой керамики, рецептура и технология изготовления которой в достаточной мере отработаны при производстве керамических сажеуловителей отработавших газов дизелей. Следовательно, технологические предпосылки создания такого насадного жидкостного нейтрализатора имеются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение насадок регулярной структуры, орошаемых водой с растворенными в ней бикарбонатом натрия и перманганатом калия, позволяет комплексно решить проблему улучшения состояния воздушной среды при эксплуатации тракторов малого класса в условиях ограниченного воздухообмена.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.В. Сотникова — научное руководство, формирование структуры статьи, анализ и доработка текста, утверждение финальной версии; Н.Ю. Калпина — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. E.V. Sotnikova — scientific supervision, formation of the article structure, analysis and revision of the text, approval of the final version; N.Yu. Kalpina — literature review, collection and analysis of literature sources, preparation and writing text of the manuscript. The authors confirm their authorship compliance with the ICMJE international criteria (all authors made a significant contribution to the conceptualization, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.А., Сотникова Е.В., Калпина Н.Ю. Экологические системы защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса. М.: ИНФРА-М, 2022.
2. Юшин В.В., Попов В.М., Кривошеин Д.А. Техника и технология защиты воздушной среды. М.: Высшая школа, 2005.
3. Михайлов В.А., Трелина К.В. Снижение токсичности выбросов дизелей малых классов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 3. С. 18–20.
4. Сотникова Е.В., Дмитренко В.П., Сотников В.С. Теоретические основы процессов защиты среды обитания. Санкт-Петербург: Лань, 2021.
5. В.А. Михайлов. Орошаемые насадки воздухоохладителей машин для запылённых условий эксплуатации // Тракторы и сельхозмашины. 1996. №11. С. 21–24.
6. Дмитренко В.П. Сотникова Е.В., Кривошеин Д.А. Экологическая безопасность в техносфере. Санкт-Петербург: Лань, 2022.

REFERENCES

1. Mikhailov VA, Sotnikova EV, Kalpina NYu. *Environmentally friendly systems for protecting the air environment of motor transport facilities*. Moscow: INFRA-M; 2022. (In Russ.)
2. Yushin VV, Popov VM, Krivoshein DA. *Equipment and technology of air protection*. Moscow: Vysshaya shkola; 2005. (In Russ.)
3. Mikhailov VA, Trelina KV. Reducing the toxicity of emissions from small-class diesel engines // *Tractors and agricultural machinery*. 2003;3:18–20. (In Russ.)
4. Sotnikova EV, Dmitrenko VP, Sotnikov VS. *Theoretical foundations of environmental protection processes*. St. Petersburg: Lan; 2021. (In Russ.)
5. Mikhailov VA. Irrigated nozzles of air coolers of machines for dusty operating conditions // *Tractors and agricultural machinery*. 1996;11:21–24. (In Russ.)
6. Dmitrenko VP, Sotnikova EV, Krivoshein DA. *Environmental safety in the techno-sphere*. St. Petersburg: Lan; 2022. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Сотникова Елена Васильевна,

канд. хим. наук,
доцент кафедры «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности»;
адрес: Российская Федерация, 125993, Москва,
Волоколамское ш., д. 4;
ORCID: 0009-0002-7022-7633;
eLibrary SPIN: 1789-9816;
e-mail: ev.sotnikova@yandex.ru

Калпина Нина Юльевна,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Экологическая безопасность технических систем»;
ORCID: 0009-0002-7176-1002;
eLibrary SPIN: 3464-1621;
e-mail: kalpina@list.ru

AUTHORS' INFO

* Elena V. Sotnikova,

Cand. Sci. (Chemistry);
Associate Professor of the Ecology, Life Support Systems and Life Safety Department;
address: 4 Volokolamskoe highway, 125993 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0009-0002-7022-7633;
eLibrary SPIN: 1789-9816;
e-mail: ev.sotnikova@yandex.ru

Nina Yu. Kalpina,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Environmental Safety of Technical Systems Department;
ORCID: 0009-0002-7176-1002;
eLibrary SPIN: 3464-1621;
e-mail: kalpina@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author