

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Валерий Павлович Зайцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор химических наук, профессор кафедры экологии и природопользования, тел. (383)361-08-86, e-mail: kaf.ecolog@ssga.ru

Оксана Вячеславна Рослякова

Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, тел. (383)201-49-96, e-mail: kzvchs@nsawt.ru

Ирина Ивановна Бочкарева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, тел. (383)361-08-86, e-mail: family_i@mail.ru

Анна Игоревна Кирилюк

Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, старший преподаватель кафедры физики, химии и инженерной графики, тел. (383)222-19-11, e-mail: kphch@nsawt.ru

В работе представлены экспериментальные результаты о влиянии воды в дизельном топливе на экологические характеристики двигателя внутреннего сгорания. Предложен новый способ использования зоогумуса на основе личинок *Musca Domestica* в качестве сорбента для очистки воды от нефтепродуктов. Проведено тестирование биоцидного действия гидродинамической кавитации на кишечную и сенную палочки, пекарские дрожжи. Установлено, что процент выживания микроорганизмов зависит от скорости схлопывания пузырьков, размера зоны кавитации, а также от температуры и pH воды.

Ключевые слова: водный транспорт, экология, водотопливная эмульсия, оксиды азота, окись углерода, соль четвертичного аммониевого основания, неводные растворы, дизельное топливо, нефтепродукты, зоогумус, сорбция, кавитация

ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN WATER TRANSPORT AND THEIR SOLUTIONS

Valerij P. Zaicev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc. Professor, Department of Ecology and Environmental Management, phone: (383)361-08-86, e-mail: kaf.ecolog@ssga.ru

Oksana V. Roslyakova

Siberian State University of Water Transport, 33 Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Technosphere Safety, phone: (383)201-49-96, e-mail: kzvchs@nsawt.ru

Irina I. Bochkareva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Management, phone: (383)361-08-86, e-mail: family_i@mail.ru

Anna I. Kirilyuk

Siberian state University of Water Transport, 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia, Senior Lecturer, Department of Physics, Chemistry and Engineering Graphics, phone: (383)222-19-11, e-mail: kphch@nsawt.ru

This work presents experimental results of influence of water in heating systems – in a form of water-fuel emulsion and in the form of solution in diesel fuel. A new method of using *Musca Domestica* larvae-based zoohumus as a sorbent for water purification from oil products has been proposed. The biocidal effect of hydrodynamic cavitation on intestinal and seade sticks, baker's yeast, has been tested. It has been established that the survival rate of microorganisms depends on the speed of bubble scan, the size of the cavitation zone, as well as the temperature and pH of water

Keywords: Water-fuel emulsion, nitrogen oxides, carbon oxide, quaternary ammonium salt, non-aqueous solutions, diesel fuel, oil products, sorption, zoohumus, purification

Введение

Загрязнение окружающей среды водным транспортом происходит по двум направлениям: во-первых морские и речные суда загрязняют биосферу отходами, получаемыми в результате их эксплуатационной деятельности, и во-вторых вследствие аварий судов с токсичными грузами, в основном нефтью и нефтепродуктами. К основным эксплуатационным загрязнителям от судов водного транспорта можно отнести нефтесодержащие и сточные воды, мусор и выбросы в атмосферу выхлопных газов судовых двигателей

В связи с этим можно сделать вывод, что деятельность водного транспорта оказывает отрицательное воздействие на состояние окружающей среды. Поэтому одним из основных научных направлений многих исследователей является разработка способов снижения вредного воздействия водного транспорта на окружающую среду.

Результаты и обсуждение

Практически весь современный транспорт в качестве топлива использует продукты переработки нефти, следовательно, по качественному составу выбросов он будет оказывать однотипное воздействие на природные комплексы. В совокупности все виды транспорта потребляют атмосферный кислород, участвуют в пополнении объема токсичных газов: оксидов углерода, азота и полициклических ароматических углеводородов. Существенное влияние на снижение выбросов в атмосферу оказывает вода в топливных системах [1, 2].

Были проведены исследования влияния воды в топливных системах на выбросы одного из самых токсичных компонентов выхлопных газов дизелей – ок-

сидов азота (NO_x). Указанные исследования имеют большое значение для судов водного транспорта, поскольку они преимущественно оборудованы этими двигателями.

На основании экспериментальных результатов, проводимых на двигателе 1Ч15/18 установлена одна из причин снижения интенсивности образования оксидов азота при переводе работы дизеля с мазута на водотопливную эмульсию (ВТЭ). Она определяется тем, что при использовании эмульсии существенно сокращается объем активной зоны камеры сгорания (КС), где возможно образование NO_x . Эти зоны характерны тем, что в них имеют место высокие значения концентраций кислорода и температур рабочего тела [1].

По результатам экспериментов можно отметить, что с увеличением содержания воды во ВТЭ выбросы оксидов азота существенно сокращаются на всех режимах работы двигателя. На рис. 1 в качестве примера, представлена зависимость величины $\overline{\text{NO}}_x = \frac{\text{NO}_x}{\text{NO}_{x_0}} \cdot 100$, от концентрации C_w воды во ВТЭ для двигателя

1Ч15/18. Здесь обозначено: NO_x , NO_{x_0} , текущая концентрация оксидов азота и та же величина при $C_w=0$. Опыты проводились на номинальном режиме. Содержание оксидов азота в отработанных газах определяли при помощи газоанализатора ПЭМ – 2М. Из рис. 1 следует, что в данных условиях величина $\overline{\text{NO}}_x$ с ростом C_w практически линейно снижается.

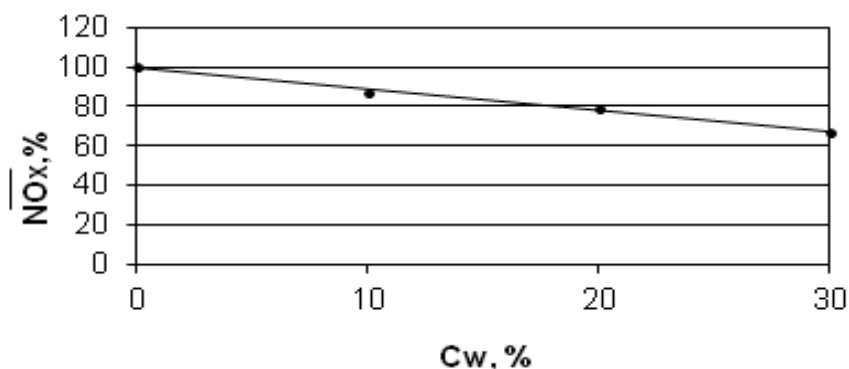


Рис. 1. Зависимость снижения выбросов $\overline{\text{NO}}_x$ оксидов азота от концентрации C_w воды во ВТЭ

Рис. 2 иллюстрирует влияние присадки воды на удельный эффективный расход топлива. Из рисунка следует, что при номинальной величине $C_w \cong 20\%$ наблюдается снижение расхода топлива примерно на 10 %.

Таким образом, можно констатировать, что применение ВТЭ в двигателе 1Ч15/18 ведет к существенному снижению выбросов NO_x и повышению экономичности дизеля по расходу топлива.

Однако к недостаткам ВТЭ можно отнести малую устойчивость эмульсий, которая приводит к коалесценции капель воды с образованием водной фазы

в дизельном топливе. Воднотопливные эмульсии также имеют невысокую дисперсность и значительную вязкость.

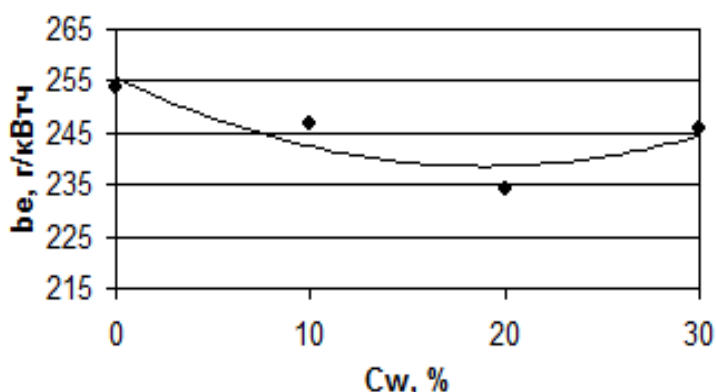


Рис. 2. Зависимость удельного эффективного расхода топлива от содержания воды во ВТЭ

Исследование состояния воды в неводных растворах, в частности в топливе расширяет границы эффективного использования воднотопливных смесей, которые могут существовать не только в эмульсионном состоянии, но и в мицеллярном состоянии и в виде истинных растворов. Последние представляют собой гомогенные системы и лишены вышеуказанных недостатков ВТЭ.

Растворимость воды в топливе в значительной степени зависит от присутствия в топливе модификатора. Были исследованы различной природы модификаторы: соли четвертичных аммониевых оснований, высокомолекулярные спирты и их способность растворять воду в неводных растворах [2-4].

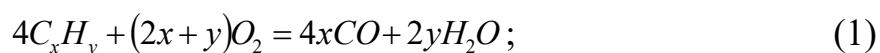
В таблице приведены экспериментальные результаты, полученные при работе дизеля 1Ч10,5/12 на топливе насыщенном водой в присутствии высокомолекулярного спирта гексанол-1 и соли триалкилбензиламмоний карбонат (ТАБАК).

Экологические показатели токсичных компонентов выхлопных газов

Модификатор	Снижение NO_x , %	Снижение CO , %
Гексанол-1	10	20
Соль ТАБАК	28	40

Результаты проведенных исследований показывают, что присутствие растворенной воды в модифицированном топливе приводит к снижению токсичных компонентов выхлопных газов NO_x и CO [2-3, 5], При этом температура отработанных газов, а также удельный эффективный расход топлива не изменился.

Механизм действия воды, содержащейся в топливе, на процесс сгорания топлива можно объяснить тем, что процесс сгорания протекает в две стадии



Первая стадия сгорания топлива протекает быстро с выделением угарного газа CO. Вторая стадия окисления угарного газа до безвредного углекислого газа протекает медленно. Присутствие воды в топливе в качестве катализатора способствует протеканию реакции (2). На этой реакции основано использование окиси углерода в качестве топлива [6]. В конечном итоге полнота сгорания топлива существенно снижает участие кислорода в окислении азота.

Таким образом, модификация дизельного топлива посредством добавления в него воды заметно улучшает экологические характеристики дизеля без его модификации и регулировок.

Отдельного внимания требует проблема загрязнения гидросферы нефтью и нефтепродуктами. Своевременная и эффективная очистка водных источников от нефтяных загрязнений является основной экологической задачей нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, железнодорожного, водного и автомобильного транспорта, автозаправочных комплексов и станций

К нефтесодержащим водам относятся льяльные, балластные воды и вода, которая была собрана при разливах нефти и нефтепродуктов. Как правило, на судах и станциях по очистки воды от нефти и нефтепродуктов первоначальная очистка производится гравитационными или флотационными установками, обеспечивающие содержание нефти и нефтепродуктов в очищенной воде не менее 1000 мг/л. Наиболее трудноудаляемыми являются тонкодисперсные нефтеводяные эмульсии и растворенные частицы нефтепродуктов, которые удаляются на второй стадии очистки адсорбционной фильтрацией. В качестве фильтрующего материала используются угольные и синтетические сорбенты. Однако указанные сорбенты с трудом утилизируются и продукты утилизации являются токсичными.

Наиболее перспективными сорбентами для ликвидации нефтяных загрязнений являются природные и органические сорбенты [7]. В связи с этим были исследованы возможности использования зоогумуса в качестве нового сорбирующего материала нефтепродуктов, полученного при обработке свиного навоза или куриного помета личинками *Musca Domestica* [8-10]. Данный зоогумус используется в качестве высокоэффективного удобрения.

По результатам проведенной исследований были построены изотермы адсорбции зоогумусом машинного масла и дизельного топлива, которые представлены на рис. 3.

Анализ изотерм показал, что зоогумус по отношению к исследуемым нефтепродуктам обладает положительной адсорбционной активностью: изотермы имеют выпуклую форму [11, 12]. Из сравнения данных рис. 3 можно сделать вывод, что зоогумус имеет наибольшую сорбционную активность по отношению

к дизельному топливу, чем по отношению к машинному маслу. Степень извлечения нефтепродуктов составляла 97–98 %, что позволяет провести доочистку нефтесодержащих вод до требуемых международных норм.

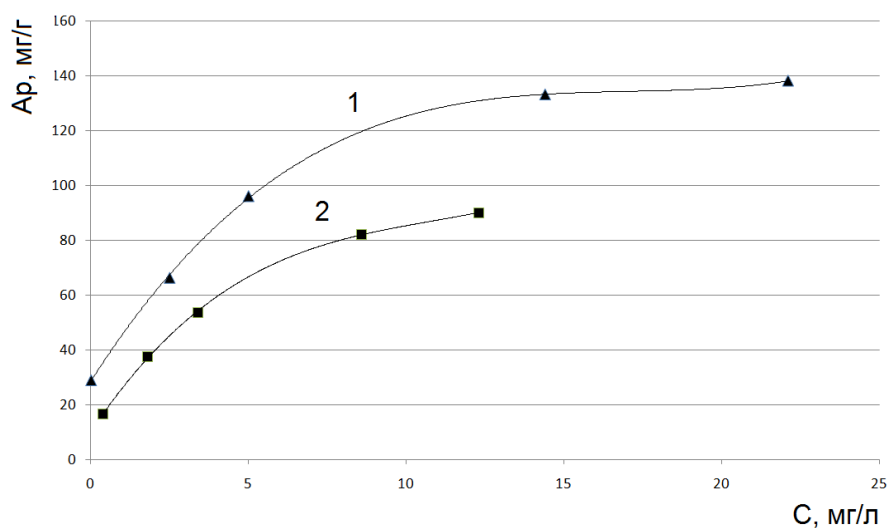


Рис. 3. Изотермы адсорбции нефтепродуктов зоогумусом:
1 – дизельное топливо; 2 – машинное масло

Насыщенный нефтепродуктами зоогумус может быть утилизирован как топливный материал или в качестве удобрения. Зоогумус содержит аммонифицирующие группы микроорганизмов в 15-20 раз больше, чем перегной, что способствует биохимическому воздействию микроорганизмов на компоненты нефтепродуктов

Необходимо отметить, что в состав сорбента входят до 15% гуминовых кислот и их соли [10]. Для полной оценки сорбционных свойств зоогумуса были исследованы ионообменные свойства сорбента для очистки воды от ионов тяжелых металлов [13], что может быть использовано для очистки технологических растворов.

Фекальные и хозяйственно-бытовые стоки вызывают биологическое загрязнение гидросферы в связи с наличием в воде бактерий, грибов и других микроорганизмов. Некоторые микроорганизмы в воде могут повлечь за собой болезни, и даже смерть человека. В связи с этим обеззараживание стоков является крайне важным этапом в подготовке воды для сброса в водный источник.

Существует многообразие методов обеззараживания воды [14]. Одним из перспективных методов является метод гидродинамической кавитации. Важной особенностью этого метода является безреагентное обеззараживание больших объемов сточной воды.

Принцип обеззараживания воды методом гидродинамической кавитации происходит за счет механических сил, связанных с образованием и схлопыванием кавитационных пузырьков. В момент схлопывания пузырьков давление

и температура газа могут достичь значительных величин (до 100 МПа и до 10000 °С) [15-16]. Выделяющейся в процессе схлопывания пузырька энергии достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ внутри кавитационной полости. В результате чего гидродинамическая кавитация вызывает распад молекул воды с образованием сильных окислителей таких как, озон, перекись водорода, атомарный кислород [16-20].

Тестирование биоцидного действия гидродинамической кавитации проводилось на культурах, обладающих различной устойчивостью: прокариотические микроорганизмы – кишечная и сенная палочки; аукариотические микроорганизмы – пекарские дрожжи. Было установлено, что процент выживания микроорганизмов зависит от скорости схлопывания пузырьков, которая зависит от размеров зоны кавитации, а также от температуры и рН воды при различных режимах работы кавитатора.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что использование модифицированного дизельного топлива в присутствии воды приводит к снижению токсичных компонентов выхлопных газов, что заметно улучшает экологические характеристики дизеля без его модификации и регулировки.

Анализ изотерм адсорбции показал, что степень извлечения нефтепродуктов зоогумусом *Musca Domestica* составляет 97 – 98%. Это позволяет проводить доочистку нефтесодержащих вод до требуемых международных норм.

Методом гидродинамической кавитации проведено обеззараживание микроорганизмов в воде, таких как кишечная и сенная палочки, пекарские дрожжи. Было установлено, что процент выживания микроорганизмов зависит от скорости схлопывания пузырьков и размера зоны кавитации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рослякова О.В. Снижение интенсивности образования оксидов азота в судовых дизелях: автореферат канд. дис. – НГАВТ. – Новосибирск, 2005. – 17 с.
2. Зайцев В.П., Юр Г.С., Усова Н.В., Сибриков Д.А., Карabanцев А.В., Карпушин М.Н. Перспективы использования солей четвертичных аммониевых оснований для улучшения экологических характеристик двигателя внутреннего сгорания // Тр. 3-й Междун. Науч.-техн. конф. «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт». – Омск: Иртышский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ», 2007. – С. 261 – 262.
3. Зайцев В.П., Усова Н.В. Исследование состояния воды в неводных растворах солей четвертичных аммониевых оснований применительно к топливным системам // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2005. - № 1-2. С. 109 – 113.
4. Иванов И.М., Зайцев В.П. Гидратация и сольватация солей четвертичных аммониевых оснований в экстракционных системах // Изв.СОАН СССР. Сер.хим.наук. 1978, № 4. Вып. 2. С.16-26.
5. Зайцев В.П., Титов С.В., Юр Г.С. Результаты экспериментального исследования присадки к дизельному топливу на основе высокомолекулярного спирта // Мат. Междунар. научно-практической конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития водного транспорта». Новосибирск. НГАВТ. -2013. –С. 69-70. ISBN 978-5-8119-0534-8.

6. Неницеску К. Общая химия – М.: Мир., 1968 – 816 с.
7. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: химия и экология. – 2008. - №1. – С.19 – 25.
8. Зайцев В.П., Клименко М.В., Голомянов А.И. Доочистка судовых нефтесодержащих вод зоогумусом // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. - №1-2. – С. 353 – 355.
9. Зайцев В.П. Клименко М.В. Исследование сорбции нефтепродуктов зоогумусом на основе личинок *Musca Domestica* // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2016. Т. 2. – С. 174 – 179.
10. Гудилин И.И., Кондратов А.Ф. и др. Биотехнология переработки органических отходов и экология / ред. И.И. Гудилина, А.Ф. Кондратова / Новосибирское книжное издательство. – 1999. – 393 с.
11. Когановский А.М., Клименко Н.А. Адсорбция органических веществ из воды. -СПб.: Химия, 1996. - 256 с.
12. Фролов В.А. Процессы и аппараты химической технологии. – СПб.: Химиздат, 2003. 608 с.
13. Клименко М.В., Зайцев В.П., Голомянов А. Сорбция ионов тяжелых металлов зоогумусом // Сибирский научный вестник. – 2014. – №18. – С. 171 – 172.
14. Ивчатов А.Л., Малов В.И. Химия воды и микробиология. М.: ИНРА-М. 2006. – 218 с.
15. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация: пер. с англ. –М. Мир. 1974. -678 с.
16. Промтов М.А., Алешин А.В., Колесникова М.М., Карпов. Обеззараживание сточных вод кавитационной обработкой // Вестник ТГТУ. -2015. Том.21. - С. 105 – 111.
17. Arrojo S., Benito Y., Martinez A. Parametrical Study of Disinfection with Hydrodynamic Cavitation // Sonochemistry. -2007/ -No. 15. –Р. 903-908.
18. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение-1. -2001. -260 с.
19. Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 170. № 3. – С. 263–287.
20. Petkovsck M., et al. Rotation Generator of Hydrodynamic Cavitation for Water Treatment // Separation and Purification Technology. – 2013. – Vol. 118. – Р. 415–423

© В. П. Зайцев, О. В. Рослякова, И. И. Бочкарева, А. И. Кирилук, 2021