

Применение модифицированного топлива в двигателях внутреннего сгорания для снижения поллютантов в отработанных газах

Д. В. Панов^{1}, В. П. Зайцев^{1,2}, О. В. Рослякова¹, А. Ю. Кудряшов¹*

¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск
Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: d.v.panov@nsawt.ru

Аннотация. Настоящая работа представляет результаты исследования влияния воды в растворенном состоянии в дизельном топливе, а также в виде водотопливной эмульсии. Рассматривается вопрос целесообразности использования модифицированного дизельного топлива. Данные эксперимента показывают, что снижение интенсивности образования оксидов азота происходит по причине перевода работы дизеля с мазута на водотопливную эмульсию. Применение эмульсии дает эффект сокращения объема активных зон образования оксидов азота, а также уменьшает максимальные локальные температуры газа. В результате проведенных исследований водотопливных систем на двигателе 1Ч 15/18, в котором молекулы воды находились в растворенном состоянии в виде истинных растворов. Для улучшения растворимости воды в дизельное топливо вводили модификаторы различной природы (высокомолекулярный спирт и соль четвертичного аммониевого основания). В процессе исследований было обнаружено, что присутствие растворенной воды в модернизированном топливе приводит к уменьшению количества токсичных поллютантов CO и NOx в отработанных газах.

Ключевые слова: водотопливная эмульсия, оксиды азота, неводные растворы, дизельное топливо, поллютанты, камера сгорания

Application of modified fuel in internal combustion engines to reduce pollutants in exhaust gases

D. V. Panov^{1}, V.P. Zaitsev^{1,2}, O. V. Roslyakova¹, A. Y. Kudryashov¹*

¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: d.v.panov@nsawt.ru

Abstract. This work presents the results of the study of the effect of water in the dissolved state in diesel fuel, as well as in the form of a water-fuel emulsion. The question of the expediency of using modified diesel fuel is being considered. Experimental data show that a decrease in the intensity of nitrogen oxides formation occurs due to the transfer of diesel fuel from fuel oil to a water-fuel emulsion. The use of an emulsion has the effect of reducing the volume of active zones of nitrogen oxide formation, and also reduces the maximum local gas temperatures. As a result of the conducted studies of water-fuel systems on the 1H 15/18 engine, in which water molecules were in a dissolved state in the form of true solutions. To improve the solubility of water, modifiers of various nature (high-molecular alcohol and quaternary ammonium base salt) were introduced into diesel fuel. During the research, it was found that the presence of dissolved water in the upgraded fuel leads to a decrease in the amount of toxic pollutants CO and NOx in the exhaust gases.

Keywords: water-fuel emulsion, nitrogen oxides, non-aqueous solutions, diesel fuel, pollutants, combustion chamber

Введение

В настоящее время продукты переработки нефти – это основное топливо практически для всего современного транспорта. В соответствии с этим, выбросы транспорта по качественному составу создают однотипное воздействие на природные комплексы. Все виды транспорта в совокупности используют атмосферный кислород и участвуют в увеличении объема токсичных газов: оксидов углерода, азота и полициклических ароматических углеводородов. Наличие воды в топливных системах, позволяет уменьшить количество вредных веществ выбрасываемых в атмосферу. Водно-топливные смеси могут существовать в эмульсионном, мицеллярном состояниях и в виде истинных растворов, это расширяет границы их результативного использования. Результативное использование доказывается исследованием состояния воды в неводных растворах в топливе [1– 4]. Надо отметить, что есть и направления исследований, отмеченных в работах [5–10] с разработкой добавок к дизельному топливу и применения биотоплива, работы по исследованию оценки судов, работающих на сжиженном природном газе [11]. В свою очередь много научных работ посвящено вопросам исследования, связанных с применением различных методов, не влияющих на организацию рабочего процесса дизеля, а применительно к непосредственной очистке выхлопных газов [12–15]. Цель настоящей работы заключается в изучении воздействия воды в различных водно-топливных системах на уменьшение ядовитых выбросов двигателя внутреннего сгорания.

Методы и материалы

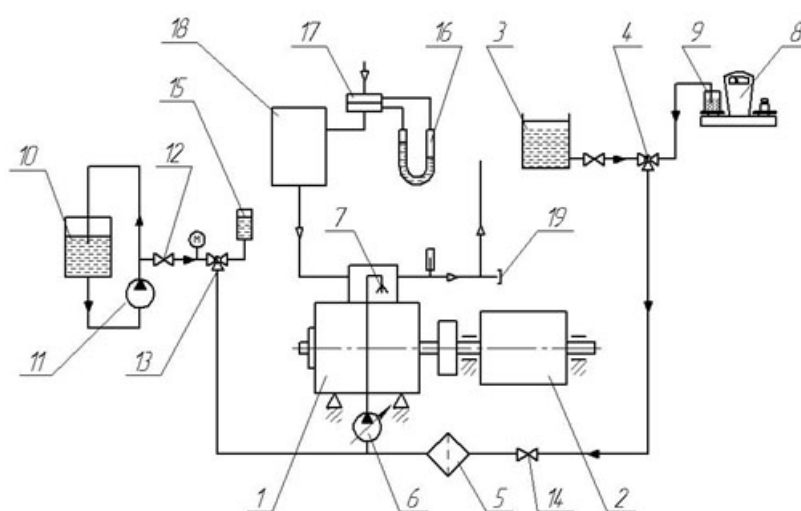
Проведенные исследования были сосредоточены на изучении воздействия воды в топливных системах на количество поллютантов оксидов азота (NO_x) в отработанных газах. Оксид азота (NO_x) является одним из самых токсичных компонентов в выхлопных газах дизельных двигателей. Для водного транспорта речного флота такие эксперименты много значимы. Исследования проводились на двигателях внутреннего сгорания, с небольшим износом деталей. Для изучения состава отработанных газов (ОГ) был использован газоанализатор ПЭМ-2М. Газоанализаторы данного типа позволяют определять концентрацию загрязняющих веществ в отработанных газах двигателя внутреннего сгорания. При переводе работы дизеля с мазута на водотопливную эмульсию была выявлена одна из причин. Данная причина влияет на снижения образования оксидов. При использовании эмульсии значительно уменьшается объем активной зоны камеры сгорания, где происходит процесс образование поллютантов NO_x . Для зоны камеры сгорания характерно наличие больших концентраций кислорода и высоких температур рабочего тела [1]. Экспериментальные установки дизелей модели 1Ч 15/18 и модели Ч 10,5/12 обладают следующими характеристиками. Характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические параметры экспериментальных установок дизелей

Тип двигателя	
1Ч 15/18	Ч 10,5/12
Агрегатная мощность (кВт)	
18,5	22,5
Частота вращения коленчатого вала (об/мин.)	
1500	1800
Диаметр цилиндра (мм.)	
150	105
Ход поршня (мм.)	
180	120
Степень сжатия	
14-15	14-15
Удельный расход топлива г/(кВт·ч)	
250	241
Способ смесеобразования	
объемный	объемный

Принципиальная схема лабораторных установок была одинаковой (рис.1). Водотопливная эмульсия (ВТЭ) изготавливается на универсальном лабораторном стенде, разработанном для проведения испытания насосов высокого давления.



- 1 – двигатель; 2 – нагрузочное устройство; 3 – расходный бак; 4 – трехходовой кран;
 5 – топливный фильтр; 6 – ТНВД; 7 – форсунка; 8 – весы; 9 – емкость; 10 – бак;
 11 – шестеренный насос; 12, 13, 14 – кран; 15 – емкость;
 16 – дифференциальный манометр; 17 – диафрагма; 18 – демпфер; 19 – узел для отбора проб.

Рис. 1 Схема экспериментальной установки

Результаты

На рисунке 2 представлена зависимость величины $\overline{NO_x} = \frac{NO_x}{NO_{x_0}} \cdot 100$, от концентрации C_w воды в водотопливной эмульсии для двигателя внутреннего сгорания модели 1Ч 15/18.

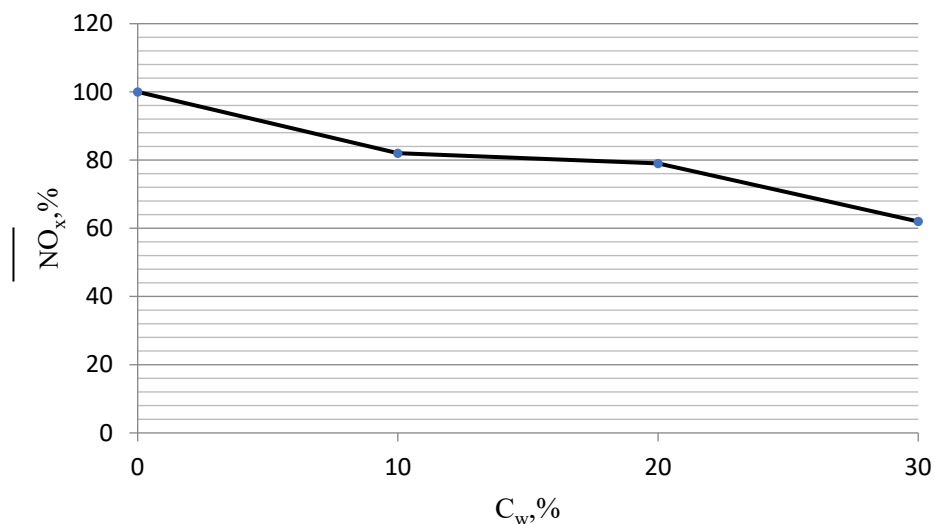


Рис. 2 Зависимость выбросов $\overline{NO_x}$ оксидов азота от концентрации C_w воды во ВТЭ

График на рисунке 2 демонстрирует, что с ростом C_w $\overline{NO_x}$ уменьшается.

На рисунке 3 показано влияние присадки воды на удельный эффективный расход горючего. Анализируя график можно увидеть, что при номинальной величине $C_w \approx 20$ % наблюдается снижение расхода горючего на 10 %.

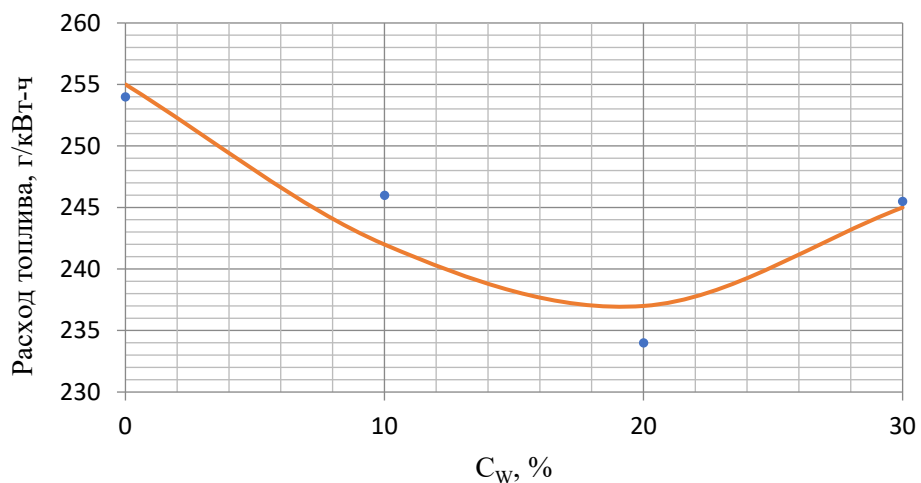


Рис. 3 Зависимость удельного эффективного расхода топлива от содержания воды во ВТЭ

На основании полученных результатов можно утверждать, что применение водотопливной эмульсии в двигателе внутреннего сгорания модели 1Ч 15/18 приводит к существенному снижению выбросов поллютантов NO_x и уменьшению расхода горючего двигателем внутреннего сгорания. В результате лабораторных исследований было выявлено, что повышенное содержания воды в водотопливной эмульсии, сокращает выбросы поллютанта оксида азота.

В этом направлении было проведено еще две серии экспериментов. Одно исследование проводилась с присадкой мочевины к водотопливной эмульсии, а второе исследование проходила с применением присадки аммиака.

Лабораторное испытание проводилось на двигателе модели 1Ч 15/18. Результаты испытаний представлены на рисунке 4.

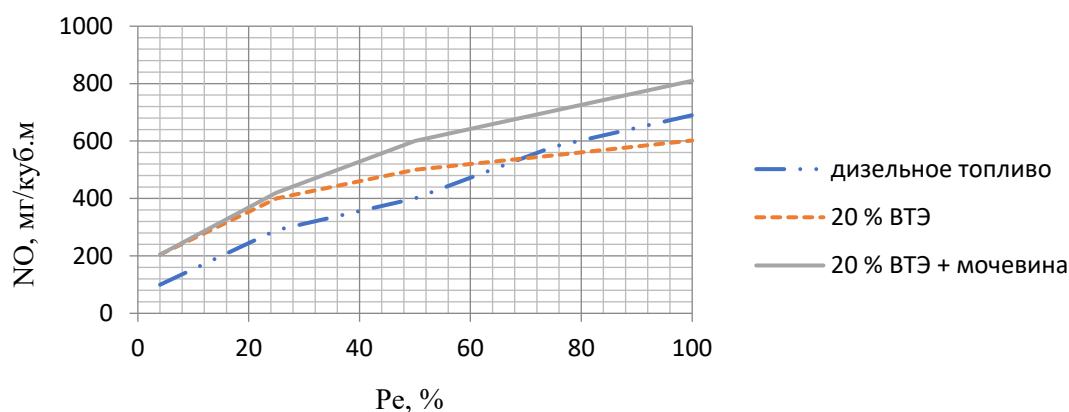


Рис. 4 Влияние присадок на концентрацию оксидов азота

Графики на рисунке 4 показывают, что переход с чистого горючего на водотопливную эмульсию уменьшает выбросы поллютантов оксида азота. При использовании мочевины в водной фазе водотопливной эмульсии, на долевых нагрузках больше 50 % от номинальной нагрузки идет существенное уменьшение выбросов поллютантов NO . И напротив при долевых нагрузках меньше 50 % выбросы поллютантов оксида азота возрастают. Из полученных результатов видно, что представленный метод приемлем и применим для вспомогательных двигателей, которые большую часть времени работают на долевых нагрузках.

Удельные расходы горючего в процессе исследования на номинальном режиме работы двигателя внутреннего сгорания представлены на рисунке 5.

По полученным данным, можно сделать вывод, что применение водотопливных эмульсий при работе двигателя внутреннего сгорания приводит к уменьшению выбросов поллютантов NO_x и увеличивает экономичность двигателя по расходу топлива. В процессе исследования было установлено, что добавка к водной фазе водотопливной эмульсии мочевины снижает выбросы поллютантов оксида азота по сравнению с использованием аналогичной чистой эмульсии. А при мощности более 50 % от номинала экологические показатели двигателя ухудшаются по сравнению с исходным вариантом. Исходя из проведенного исследова-

ния, данный метод можно рекомендовать для вспомогательных двигателей внутреннего сгорания. Добавление к водной фазе водотопливной эмульсии аммиака дает возможность уменьшить количество выбросов поллютанта азота и экономить горючее. Производство водотопливной эмульсии происходит в закрытой системе, это позволяет обеспечить безопасную работу обслуживающего персонала. Кроме плюсов водотопливная эмульсия обладает и минусами, такими как небольшая устойчивость, низкая дисперсность и большая вязкость. Слабая устойчивость эмульсий приводит к объединению капель воды с образованием водной фазы в дизельном топливе.

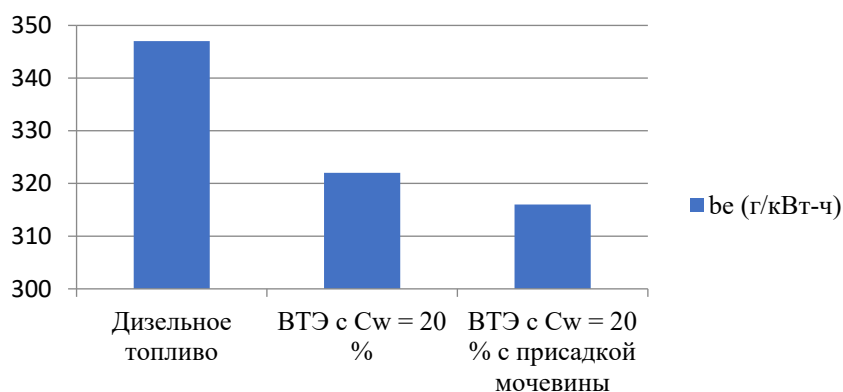


Рис. 5 Расходы топлива

В результате этого были проведены лабораторные исследования водотопливных систем, где вода находилась в виде истинных растворов, которые представляют собой однородные системы и лишены вышеуказанных недостатков.

Повышение растворимости воды в дизельном топливе было достигнуто добавлением присадок различного происхождения. Добавка присадок приводит к увеличению содержания воды в топливе. Для изучения были выбраны соли четвертичных аммониевых оснований (ЧАО) и высокомолекулярные спирты.

Обсуждение

Эксперименты, направленные на изучение состояния воды в неводных растворах в топливе, расширяют области эффективного использования водотопливных смесей в эмульсионном и в мицеллярном состоянии, а также в виде истинных растворов. Объектом изучения были выбраны соли четвертичных аммониевых оснований (ЧАО). Данные соли, в сравнении с солями аминов, значительно эффективнее извлекают воду в органическую фазу в результате гидратации [3]. В процессе изучения солей четвертичных аммониевых оснований (ЧАО) в неводных растворах было зафиксировано повышение растворимости воды в органической фазе в ряду анионов.

По данным полученным в процессе исследования можно сделать вывод, что для дальнейшего изучения целесообразнее обратить внимание на соль триалкилбензиламмонийкарбонат (ТАБАК). Соль триалкилбензиламмонийкарбонат

согласно, ряда анионов, является высокогидратируемой, при температурном распаде аниона CO_3^{2-} не образуются поллютанты угарного газа CO и в отличие от других ионов, не вносятся в состав отработанных выхлопных газов новые загрязняющие вещества [16].

Соль триалкилбензиламмонийкарбонат (ТАБАК) произведена путем анионообменных межфазных реакций из товарной соли триалкилбензиламмонийхлорид растворенной в дизельном топливе. Апробация такого трансформированного топлива проводилась на двигателе внутреннего сгорания модели Ч 10,5/12 при частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин.

Улучшение растворимости воды в дизельном топливе достигалось за счет использования добавок различного происхождения, приводило к повышению содержания воды в топливе. Для сравнения в исследованиях был использован высокомолекулярный спирт – гексанол-1, который обладает высокой растворимостью в дизельном топливе. В зависимости от концентрации спирта молекулы воды могут существовать в неводных растворах от моногидратов до тетрагидратов спирта [17, 18]. Модернизация топлива значительно улучшает экологические характеристики двигателя внутреннего сгорания, без внесения изменений в его конструкцию и регулировки. Обнаружено, что наличие триалкилбензиламмонийкарбонатной соли и следов воды в модернизированном дизельном топливе приводит к уменьшению концентрации загрязняющих веществ в отработанных газах двигателя внутреннего сгорания.

В отличие от водотопливных эмульсий модифицированное топливо представляет собой структурно организованную среду, частицы которых представляют чрезвычайно развитую границу раздела фаз (вода:масло) при высокой их устойчивости и подвижности, что в свою очередь увеличивает реакционную способность наночастиц.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования дают основание говорить, что катализатором окисления угарного газа до безвредного углекислого газа является наличие воды в топливе. Уменьшение концентрации оксидов азота обусловлено снижением количества кислорода, который участвует в процессе окисления азота воздуха в камере двигателя внутреннего сгорания.

Следовательно, наличие растворенной воды в горючем существенно улучшает экологические характеристики двигателя внутреннего сгорания без его изменения и регулировок. Улучшение экологических характеристик двигателя доказывает актуальность проводимых исследований топливных систем, насыщенных водой и водотопливных эмульсий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев О.Н., Зайцев В.П., Юр Г.С., Рослякова О.В. Влияние воды в топливных системах на снижение образования оксидов азота в судовых дизелях// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, НГАВТ, 2009 г., № 2, с.230-232.

2. Зайцев В.П., Рослякова О.В. Снижение образования оксидов азота в судовых дизелях при добавлении воды, мочевины и четвертичных аммониевых оснований // Сибирский научный вестник / Новосибирский научный центр «Ноосферные знания и технологии» Российской Академии естественных наук. Вып. XIII. Новосибирск: Изд. ФГОУ ВПО НГАВТ, 2010, с. 213-216.

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. Зайцев В.П. Юр Г.С., Усова Н.В., Сибриков Д.А., Карабанцев А.В., Карпушин М.Н. Перспективы использования солей четвертичных аммониевых оснований для улучшения экологических характеристик двигателя внутреннего сгорания // Труды 3-й Междун. науч.-техн. конф. «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт. – Омск: Иртышский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ», 2007. – С. 261 – 262.

5. Manzoore Elahi M. Soudagar, Nik-Nazri Nik-Ghazali, Md. Abul Kalam, I.A. Badruddin, N.R. Banapurmath, Naveed Akram, The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics, Energy Conversion and Management, Vol. 178, 2018, Pages 146-177, ISSN 0196-8904, doi:10.1016/j.enconman.2018.10.019.

6. Mohd Faridzuan Majid, Hayyiratul Fatimah Mohd Zaid, Chong Fai Kait, Khairulazhar Jumbri, Lim Chiau Yuan, Sarrrthesvaarni Rajasuriyan, Futuristic advance and perspective of deep eutectic solvent for extractive desulfurization of fuel oil: A review, Journal of Molecular Liquids, Vol. 306, 2020, 112870, ISSN 0167-7322, doi:10.1016/j.molliq.2020.112870

7. J.F. Izquierdo, M. Montiel, I. Palés, P.R. Outón, M. Galán, L. Jutglar, M. Villarrubia, M. Izquierdo, M.P. Hermo, X. Ariza, Fuel additives from glycerol etherification with light olefins: State of the art, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, Issue 9, 2012, p. 6717-6724, ISSN 1364-0321, doi:10.1016/j.rser.2012.08.005.

8. Zhenbin Yang, Chunxiao Ren, Siqi Jiang, Yangyang Xin, Yufeng Hu, Zhichang Liu, Theoretical predictions of compatibility of polyoxymethylene dimethyl ethers with diesel fuels and diesel additives, Fuel, Vol. 307, 2022, 121797, ISSN 0016-2361, doi:10.1016/j.fuel.2021.121797.

9. Bhavin Mehta, Dattatraya Subhedar, Gaurang Patel, Rugnesh Patel, Abhishek Swarnkar, Effect of ethylene glycol monoacetate as an oxygenated fuel additive on emission and performance characteristics of diesel engine fueled with diesel-cottonseed biodiesel, Materials Today: Proceedings, 2021, ISSN 2214-7853, doi:10.1016/j.matpr.2021.08.308.

10. M. Vijay Kumar, S. Sai Gowtham Reddy, Study on the performance and emissions of diesel engine by fish methyl ester and DEE additive in a diesel engine fuel, Materials Today: Proceedings, Volume 45, Part 2, 2021, p. 3323-3327, ISSN 2214-7853, doi:10.1016/j.matpr.2020.12.648.

11. Jiaojun Deng, Xiaochen Wang, Zhilong Wei, Li Wang, Chenyu Wang, Zhenbin Chen. A review of NO_x and SO_x emission reduction technologies for marine diesel engines and the potential evaluation of liquefied natural gas fuelled vessels. Science of The Total Environment, Vol. 766, 14431, (2021) doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144319.

12. Ibrahim S. Seddiek, Mohamed M. Elgohary. Eco-friendly selection of ship emissions reduction strategies with emphasis on SO_x and NO_x emissions. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 6, (2014) doi:10.2478/IJNAOE-2013-0209.

13. Shaolong Yang, Xinxiang Pan, Zhitao Han, Dongsheng Zhao, Bojun Liu, Dekang Zheng, Zhijun Yan. Removal of NO_x and SO₂ from simulated ship emissions using wet scrubbing based on seawater electrolysis technology. Chemical Engineering Journal, Vol. 331, (2018) doi:10.1016/j.cej.2017.08.083

14. Ming Zhenga, Graham T. Readerb J., Gary Hawleyc. Diesel engine exhaust gas recirculation—a review on advanced and novel concepts. Energy Conversion and Management, Vol. 45, (2004) doi:10.1016/S0196-8904(03)00194-8

15. Jiaojun Deng, Xiaochen Wang, Zhilong Wei, Li Wang, Chenyu Wang, Zhenbin Chen. A review of NO_x and SO_x emission reduction technologies for marine diesel engines and the potential evaluation of liquefied natural gas fuelled vessels. Science of The Total Environment, Vol. 766, 14431, (2021) doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144319
16. Неницеску К. Общая химия – М.: Мир., 1968. – 816 с.
17. Иванов И.М., Зайцев В.П. Гидратация и сольватация солей четвертичных аммониевых оснований в экстракционных системах // Известия СО РАН. Сер. хим. наук. -1978. - № 4. – Вып. 2. – с. 18 – 26.
18. Иванов И.М., Зайцев В.П. ИК-спектроскопическое исследование гидратации солей четвертичных аммониевых оснований в неводных растворах // Известия СО РАН. Сер. хим. наук. -1981. -№4. –Вып. 6. – с.58 – 66 .

© Д. В. Панов, В. П. Зайцев, О. В. Рослякова, А. Ю. Кудряшов, 2022