

## Снижение концентрации оксидов азота в отработавших газах Дизелей рыболовного флота

## The reduction of nitrogen oxide in exhaust gases of fishing fleet Diesel engines

Oleh Klyus<sup>1</sup>, Igor Klyus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maritime University of Szczecin

70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1–2, e-mail: olegklus@o2.pl

<sup>2</sup> West Pomeranian University of Technology in Szczecin

70-310 Szczecin, al. Piastów 17

**Ключевые слова:** дизель, оксиды азота, топливная форсунка, предварительная обработка топлива, турбулизация топлива

### Резюме

В статье представлены результаты исследований по снижению концентрации оксидов азота в отработавших газах дизелей рыболовного флота. С этой целью использована конструкция распылителей дизельных форсунок с предварительной обработкой топлива в составе которого находилось до 2,5% воды.

**Key words:** Diesel engine, nitrogen oxide, preliminary fuel treatment

### Abstract

The article presented the results of the reduction of nitrogen oxide in exhaust gases of Diesel engines used in fishing boats and vessels. For this purposes was used preliminary fuel treatment that takes place directly in the fuel injector and mixture of Diesel oil with water.

### Введение

Снижение уровня эмиссии оксидов азота в выхлопных газах регламентированы соответствующими документами EURO и TIER (рис. 1) и касаются в первую очередь новых конструкций дизелей. Значительное сокращение допустимых значений концентрации  $\text{NO}_x$  связывается с использованием современных топливных систем, в первую очередь с электронным регулированием закона топливоподачи в виде многоэтапного впрыскивания, а так же каталитических реакторов в системах выхлопа. Однако, для судов, находящихся в эксплуатации, выполнение норм токсичности отработавших газов практически невыполнимы, поскольку уже существующие конструкции двигателей этих судов не позволяют установить

на них современную топливную аппаратуру и оборудование по окислению и редукации токсических веществ в отработавших газах.

Анализ состояния рыболовного флота Польши показывает, что на такого типа судах в большинстве используются маринизированные двигатели автомобильного класса, с различным способом организации рабочего процесса, в основном с непосредственным впрыскиванием топлива. Для этой группы дизелей снижение концентрации оксидов азота не является первоочередной нормативной задачей, значительно важнее для судовладельцев уменьшить путевые расходы топлива, что в свою противоречит условиям снижения эмиссии  $\text{NO}_x$ . Однако требования по охране окружающей среды должны учитывать снижение вредных выбросов и для этих судов.

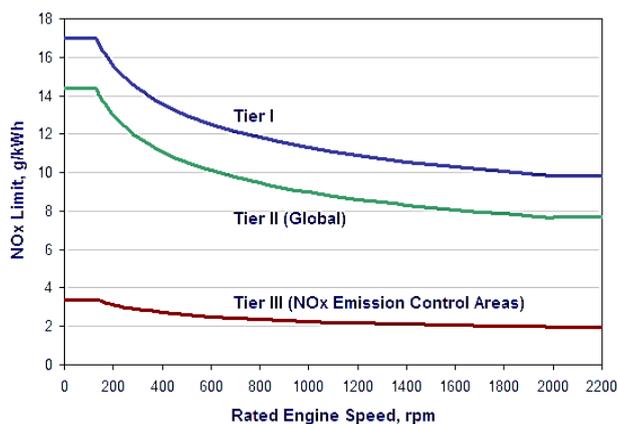


Рис. 1. Требования по уровню эмиссии оксидов азота в отработавших газах по нормам TIER [OOO]

Работы, проводимые в Щецинской морской академии, связанные с использованием предварительной обработки топлива в форсунках дизелей рыболовного флота, доказывают, что и для уже эксплуатируемых дизелей, снижение концентрации  $\text{NO}_x$  при одновременном увеличении эффективности возможно без дополнительных инвестиционных затрат [1].

### Предмет исследования

Достижение одновременного улучшения экономических и экологических параметров дизелей связано с использованием так называемой предварительной обработкой топлива, осуществляемой в распылителе форсунки. Понятие предварительной обработки топлива определяется воздействием катализаторов на топливо, протекающее вдоль кольцевого зазора между корпусом и иглой распылителя. При этом, в результате реакции гидрогенизации, парафиновая фракция топлива переходит в олефиновую с выделением свободного водорода, который благодаря своим свойствам, позволяет сократить период задержки воспламенения ( $\tau$ ). Сокращение  $\tau$  приводит к снижению максимальных температур цикла (снижение концентрации оксидов азота) и более полному выгоранию топлива (снижение удельного расхода топлива) [2]. Реализация предварительной обработки топлива осуществляется непосредственно в прецизионной паре: корпус распылителя – игла распылителя, на поверхность которой наносится катализатор (металлы платиновой группы), а кроме того, для увеличения эффективности воздействия катализатора на топливо, на этой же поверхности, выполняются турбулизационные каналы. Результаты исследований по использованию предварительной обработки топлива подтвер-

дили возможность одновременного улучшения как расходов топлива, так и токсичности отработавших газов дизелей [3].

Вместе с тем, во время инспекционных работ в портах Балтийского моря было установлено, что в топливных емкостях рыболовных судов может находиться вода в количестве до 2,5%. Поскольку впрыскивание воды является одним из возможных способов снижения эмиссии  $\text{NO}_x$  на главных судовых дизелях морского флота, была поставлена задача определения влияния определенного количества воды как на смазочные характеристики водо-топливной смеси, так и на возможность снижения концентрации  $\text{NO}_x$  в дизелях рыболовного флота при использовании предварительной обработки топлива, поскольку в этом случае каталитический и турбулизационный характер обработки увеличивается и эффектом гомогенизации.

В качестве опытного дизеля использовался двигатель типа 359, который был выбран из всей популяции дизелей рыболовных катеров и лодок – четырехтактный, с непосредственным впрыскиванием топлива. На рис. 2 показана игла топливной форсунки с предварительной обработкой топлива – на ее элементе, соединяющем прецизионную направляющую и запорный конус наносился каталитический материал методом электро-искрового легирования. Кроме того, на этой же поверхности, методом перекрестного врезания шлифовались лунки, образующие турбулизационную систему каналов.

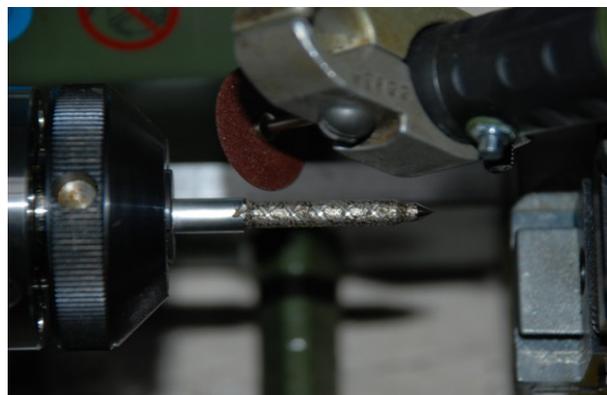


Рис. 2. Игла распылителя дизеля 359 с предварительной обработкой топлива

Программа исследований включала определение физических характеристик водо-топливной смеси (в основном смазывающая способность), а так же определение уровня эмиссии оксидов азота при работе дизеля 359 по скоростной характеристике.

### Исследования смазывающей способности водо-топливной смеси

Исследования по определению смазывающей способности смеси проводились на установке HFRR фирмы PCS Instruments, методом повторяющегося скольжения шара при малой скорости и высокой частоты. Аппарат HFRR состоит из двух основных блоков – механического и управляющего ним электронного (рис. 3). Для эксперимента была выбрана смесь дизельного топлива с содержанием 1,5, 2,0 и 2,5%. Такое количество воды было принято на основании анализа реальных данных, полученных непосредственно у судовладельцев.



Рис. 3. Аппарат по определению смазывающей способности топлив и масел типа HFRR фирмы PCS Instruments

След износа исследуемой поверхности анализировался на микроскопе типа HFR2 фирмы PCS Instruments, со 100 кратным увеличением и цифровым микрометром с ценой деления 1  $\mu\text{m}$  (рис. 4).

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Анализируя полученные данные можно отметить, что наличие воды хотя и снижает теплотворную способность топлива и его трибологические параметры, величины эти на превышают допустимых и могут быть использованы в качестве топлива в дизельных двигателях.

### Результаты стендовых испытаний

На предварительном этапе исследований был проведен анализ конструкций двигателей, установленных на катерах и лодках польского рыболовного флота. Большая часть этих судов оснащена четырехтактными высокооборотными дизелями с непосредственным впрыскиванием



Рис. 4. Микроскоп HFR2 фирмы PCS Instruments и измеряемый след износа

Таблица 1. Физические параметры смеси дизельного топлива (ДТ) и воды

| Параметр   | 100% ДТ | 98,5% ДТ + 1,5% H <sub>2</sub> O | 98,5% ДТ + 2,0% H <sub>2</sub> O | 98,5% ДТ + 2,5% H <sub>2</sub> O |
|--|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Теплотворная способность [J/g]                           | 43443   | 42989                            | 42980                            | 41289                            |
| Средняя величина диаметра следа износа [ $\mu\text{m}$ ] | 226,5   | 229                              | 272,5                            | 326,5                            |
| Коэффициент трения                                       | 0,135   | 0,153                            | 0,156                            | 0,157                            |

топлива. В качестве дизеля-представителя этой группы был выбран дизель типа 359 с открытой тороидальной камерой сгорания и разделенной топливной системой. Игла распылителя трехдырчатой топливной форсунки покрывалась тонким слоем композиции легированных элементов, в которой основным каталитическим материалом была платина. Используемый при этом метод электроискрового легирования незначительно повышал температуру иглы, в то же время катализатор в виде тонкого покрытия (метод ионной имплантации) на дополнительном носителе незначительно повышал стоимость форсунки с предварительной обработкой топлива. Выбор турбулизационных каналов в виде перекрестных лунок как и процесс нанесения катализатора определялся возможностью их выполнения непосредственно на борту судна. На рис. 5 представлены результаты испытаний дизеля типа 359 в виде концентрации оксидов азота в отработавших газах по скоростной характеристике. Серии 1–4 соответствуют составу топлива с 0,0; 1,5; 2,0 и 2,5% содержанием воды в ДТ.

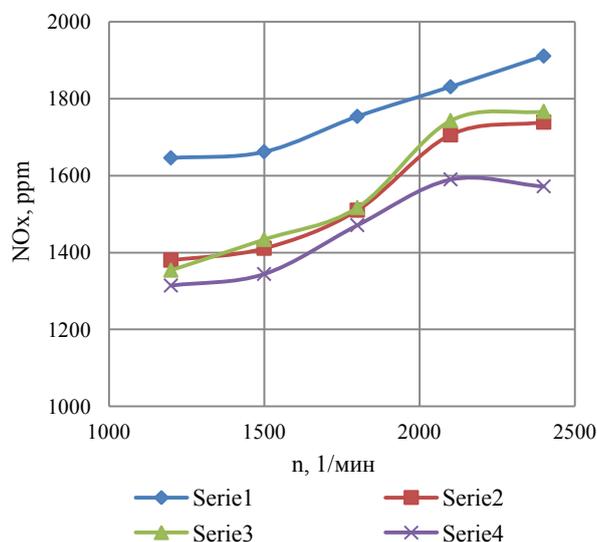


Рис. 5. Скоростная характеристика дизеля 359

## Выводы

Полученные результаты показывают, что снижение концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля с непосредственным впрыскиванием смеси дизельного топлива и 1,5–2,5% воды (рис. 5) возможно при использовании предварительной обработки топлива, происходящей непосредственно в распылителе дизельной форсунки. Изменение физических параметров такой смеси не превышает допустимых значений, однако рекомендации по ее использованию в дизелях должно быть подтверждено циклом эксплуатационных испытаний.

Разработанный технологический процесс изготовления распылителей с предварительной обработкой топлива возможен на борту судов, поскольку для его осуществления нет необходимости в использовании дорогостоящего оборудования, а квалификации обслуживающего персонала не требуют специальной подготовки.

## Литература

1. Ключ О.В., Минько А.А., Моторный А.В., Пухов В.В.: Предварительная обработка топлива в форсунках дизелей. Известия КГТУ, 25, 2012, Калининград, 173–179.
2. KLYUS O.: Catalytic and turbulizing treatment of biofuel in diesel engines. Journal Problems of Mechanics, Tbilisi, 2011, 34–40.
3. KLYUS O.: Simultaneous reduction of fuel consumption and toxic emission of exhaust gases of fishing fleet engines. CIMAC-2013, 13, 2013, Shanghai, 8p.