

# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.43.06

**Н. Н. Зиненко,**  
канд. техн. наук,  
ФГБОУ ВПО «Государственный морской  
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

**Н. И. Николаев,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Государственный морской  
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»;

**В. Е. Панамарев,**  
начальник технического отдела  
ООО «СКФ Новошип технический менеджмент»

## МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СОСТАВА ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ СУДОВЫХ МАЛОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

### METHODOLOGY OF CONTROL OF EXHAUST GASES COMPOSITION OF SHIP LOW SPEED ENGINES IN OPERATION

*Действующие в настоящее время международные, национальные и региональные документы поэтапно ужесточают требования нормативных документов к составу отработанных газов судовых двигателей. Для судоходных компаний становится актуальным контроль состава и подсчет выбросов отработанных газов двигателей в эксплуатации. В статье приводится методика и результаты инструментального замера газоанализатором "TESTO-340" выбросов  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$  в отработанных газах судового главного малооборотного двигателя танкера MAN 6S60MC в широком диапазоне нагрузок танкера.*

*Actual international, local and regional documents gradually enforce requests to content of engine's exhaust gases. And thus control of content and calculation of engine's exhaust gases in operation is very important for ships owners. Article describes procedure and results of content of  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$  in exhaust gases of tanker's main low speed engine MAN 6S60MC recorded by gas analyzer "TESTO-340" in wide load range.*

*Ключевые слова: состав, газы, двигатель, контроль, МАРПОЛ, S3ES-Novoship.*

*Key words: content, gases, engine, control, MARPOL, S3ES-Novoship.*

**В** НАСТОЯЩЕЕ время актуальность вопросов экологии как в мире, так и в судоходстве чрезвычайно высока. Это связано с растущим во всем мире пониманием важности сохранения окружающей среды и подтверждается постоянным ужесточением как национальных, так и международных нормативов выбросов.

В связи с этим актуальны вопросы сбора и анализа информации по качественному и количественному составу выбросов отработанных газов судовых двигателей, котлов, разработки различных способов и систем снижения выбросов. Действующая в настоящее время Международная конвенция МАРПОЛ 73/78 с ее приложениями I–VI регулирует управление сбросами с судов. С 1 июля 2010 г. вступила в силу новая редакция Приложения VI, предусматривающая более жесткие требования к судам по выбросам оксидов азота ( $NO_x$ ), серы ( $SO_x$ ), летучих органических соединений (VOC):

— изменен контроль замеров выбросов  $SO_x$  (окислов серы) — с 1 июля 2010 г. для назначенных районов (ECA), с 1 января 2012 г. для всего мирового пространства — Пр. 14 [1];

— изменен контроль замеров выбросов  $NO_x$  (окислов азота) и схемы сертификации двигателей — с 1 января 2011 г.

В компании ОАО «Новошип» в отношении природоохраны действует Руководство по экологическому менеджменту. Благодаря действующей в компании системе мониторинга энергоэффективности и экологической безопасности судов “S3ES-Novoship” [10] ежедневно производится мониторинг и обработка результатов работы судов. Данная система автоматически производит расчеты ежедневных выбросов отработанных газов судовых двигателей внутреннего сгорания и вспомогательных котлов в атмосферу, автоматически создает отчеты по выбросам отработанных газов по любому судну/всему флоту за любой промежуток времени.

Базируясь на ежедневных отчетах с судов, программа автоматически рассчитывает массовый и удельный выбросы главных компонентов выпускных газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  по следующим алгоритмам:

—  $\text{CO}_2$  — по рекомендованной формуле ИМО [3], рассчитывая эксплуатационный индекс энергетической эффективности судна;

—  $\text{NO}_x$  — по данным, взятым из [2];

—  $\text{SO}_x$  — по формуле, рекомендованной International Ship Managers Association (Inter Manager) [5], так как в настоящий момент действующая редакция Приложения VI МАРПОЛ 73/78 устанавливает только ограничения по содержанию серы в используемом топливе.

С 2008 г. в ОАО «Новошип» проводятся энергетические аудиты сервисными инженерами компании. Энергетические аудиты проводятся на каждом судне не реже одного раз в пять лет, а также внепланово в случае необходимости, как, например, после проведения на судне модернизационных работ, затрагивающих энергетическое оборудование судна, либо внеплановых технических инспекциях судна.

Целью аудитов является оценка энергетической и природоохранной эффективности использования установленного на судне оборудования с выдачей рекомендаций по их эффективному использованию. Рекомендации энергетических аудитов оформляются как «Несоответствия», с обязательным их исполнением судном, либо офисом.

Одним из разделов аудита является вопрос *контроля выбросов отработанных газов* судовых двигателей в атмосферу на основе инструментального замера и сравнение их с действующими международными нормативами.

Для примера рассмотрим результаты аудита, проведенного в августе 2011 г. на одном из танкеров компании дедвейтом 106 тыс. тонн по результатам инструментального замера выбросов отработанных газов (ОГ) с установленным на нем главным двигателем (ГД) MAN 6S60MC максимальной мощностью 11 327 кВт при частоте вращения 97 мин<sup>-1</sup>. Компания оперирует 13 судами данной серии.

Методика контроля состава ОГ учитывает требования [1; 6–8].

**1. Измеряемые параметры.** На каждом режиме испытаний двигателя измерению подлежат следующие теплотехнические параметры:

— эффективная мощность  $N_e$ , кВт;

— частота вращения коленчатого вала  $n$ , мин<sup>-1</sup>;

— расход воздуха, приведенный к нормальным атмосферным условиям ( $P_0 = 101,3$  кПа,  $T_0 = 273$  К) —  $V_{air}$ , м<sup>3</sup>/ч;

— концентрация в ОГ оксида углерода  $C_{CO}$ , об.%; оксида азота (в приведении к  $\text{NO}_2$ ) —  $C_{NOx}$ , об.%; оксида серы (в приведении к  $\text{SO}_2$ ) —  $C_{SOx}$ , об.%; суммы углеводородов (в приведении к  $\text{CH}_{1,85}$ ) —  $C_{CH}$ , об.%.

Испытательные циклы и состав режимов испытаний соответствуют [7]. При нахождении двигателя на соответствующем режиме испытания значение частоты вращения и мощности установлены с точностью по [8].

**2. Метод определения нормируемых параметров.** Удельный средневзвешенный выброс  $i$ -го вредного вещества рассчитывается по формуле [6]:

$$e_i^P = 0,446\mu_i \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij} V_{exhj} W_j}{P_{en} \sum_{j=1}^m \bar{P}_{ej} W_j},$$

где  $\mu_i$  — молекулярная масса  $i$ -го вредного вещества либо его эквивалент по приведению ( $\mu_{NO_2} = 46$ ,  $\mu_{CO} = 28$ ,  $\mu_{CH_{1,85}} = 13,85$ ), кг/кмоль;

$m$  — количество режимов испытаний в испытательном цикле;

$j$  — порядковый номер режима испытаний в испытательном цикле;

$i$  — индекс вредного вещества;

$C_{ij}$  — измеренная при испытаниях в  $j$ -м заданном режиме концентрация  $i$ -го вредного вещества в ОГ, об.%;

$V_{exhj}$  — объемный расход ОГ, приведенный к нормальным атмосферным условиям ( $P_0 = 101,3$  кПа,  $T_0 = 273$  К), м<sup>3</sup>/ч, во «влажном» или «сухом» состоянии;

$\bar{P}_{ej}$  — отношение эффективной мощности дизеля на данном режиме испытаний к номинальной эффективной мощности;

$W_j$  — весовой коэффициент режима;

$P_{en}$  — номинальная эффективная мощность дизеля, кВт.

### 3. Места отбора отработанных газов и оборудование для проведения испытания.

Отбор и анализ отработанных газов осуществлялся из штатных мест (рис. 1) выхлопного коллектора двигателя, установленных при постройке судна, согласно Техническому кодексу по контролю выбросов окислов азота из судовых дизелей.

Испытания проводились газоанализатором TESTO 340. Технические характеристики приведены в табл. 1, 2. Обнуление и калибровка осуществлялись автоматически перед началом эксплуатации в течение 30 с. Газоанализатор TESTO 340 внесен в Государственный реестр средств измерений РФ, номер 13340-92.



Рис. 1. Место отбора отработавших газов главного двигателя

Таблица 1

**Технические данные прибора TESTO 340**

| Тип зонда                            | Диапазон измерения | Погрешность                                                                                             |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Измерение температуры.<br>Тип К      | –40–1200 °C        | ± 0,5 °C (0–99 °C)<br>± 0,5 % от измер. значения в остальном диапазоне.<br>Разрешение — 0,1 °C          |
| Измерение дифференциального давления | –200–200 гПа       | ± 0,5 гПа (–49,9–49,9 гПа)<br>± 1,5 % от измер. значения в остальном диапазоне.<br>Разрешение — 0,1 гПа |
| Измерение тяги                       | –40–40 гПа         | ± 0,03 гПа (–2,99–2,99 гПа)<br>± 1,5 % от измер. значения в остальном диапазоне                         |
| Измерение NO                         | 0–300 ppm          | ± 2 ppm (0–39,9 ppm)<br>± 5 % от измер. значения в остальном диапазоне                                  |

Таблица 2

**Диапазоны измерения прибора TESTO 340**

| Измеряемые параметры газов                        | Диапазон измерений         |
|---------------------------------------------------|----------------------------|
| Температура                                       | –40–1200 °C                |
| O <sub>2</sub> (кислород)                         | 0–25 об.% O <sub>2</sub>   |
| CO (оксид углерода) с H <sub>2</sub> компенсацией | 0–10000 ppm CO             |
| CO (оксид углерода) низкое                        | 0–500 ppm CO               |
| NO (оксид азота)                                  | 0–3000 ppm NO              |
| NO (оксид азота) низкое                           | 0–300 ppm NO               |
| NO <sub>2</sub> (диоксид азота)                   | 0–500 ppm NO <sub>2</sub>  |
| SO <sub>2</sub> (диоксид серы)                    | 0–5000 ppm SO <sub>2</sub> |
| Вес прибора                                       | 960 гр                     |

Система пробоотбора газа состоит из пробоотборного зонда и пробоотборной магистрали с устройствами пробоподготовки (фильтрации) для очистки пробы газов и дальнейшей передачи ее на анализ. В анализатор встроен мощный мембранный насос с автоматическим управлением для отбора газов из выхлопного коллектора при отрицательном и положительном давлениях (от –200 до +50 мбар). Также анализатор оснащен кислородным сенсором O<sub>2</sub> и есть возможность использовать одновременно еще до трех дополнительных сенсоров из перечисленных ниже: NO<sub>2</sub> (диоксид азота), SO<sub>2</sub> (диоксид серы), CO<sub>низ</sub> (угарный газ, низкие значения), NO (оксид азота), NO<sub>низ</sub> (оксид азота, низкие значения). Возможна передача данных в режиме реального времени через Bluetooth® 2.0 непосредственно на ноутбук/ПК для хранения и дальнейшего анализа. Этот режим и использовался при измерениях.

Измерение выбросов вредных веществ ОГ судового двигателя проводились согласно [8].

Мощность

Мощность для расчета удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ определялась несколькими способами и различными приборами:

— установленным на судне торсиомером KYMA Shaft Power Meter (Корея);

- прибором для индицирования типа Maihak 50;
- установленной на судне диагностической системой Doctor;
- электронным индикатором EPM-XP.

#### Частота вращения

Частота вращения ГД задавалась электронным регулятором и проверялась по данным торсиометра и штатного счетчика частоты вращения.

#### Топливо

При испытаниях двигатель работал на тяжелом топливе, качество топлива соответствовало топливу RMG 380 по стандарту ISO 8217-2005, анализ которого был заранее произведен в лаборатории компании “DNV PS”. Результаты анализа представлены в табл. 3. Замеры расхода топлива осуществлялись объемным методом, температура с точностью до 0,1 °C.

Таблица 3

Элементарный анализ топлива, представленный лабораторией компании “DNV PS”

| Параметр             | Единицы измерения  | Значение |
|----------------------|--------------------|----------|
| H (ALF)              | % массы,           | 11,22    |
| C (BET)              | % массы            | 87,38    |
| N (DEL)              | % массы            | 0,28     |
| O (EPS)              | % массы            |          |
| S (GAM)              | % массы            | 1        |
| Плотность при 15 °C  | кг/л               | 0,9906   |
| Вязкость при 50 °C   | мм <sup>2</sup> /с | 263,2    |
| Механические примеси | % массы            | 9        |
| Вода                 | % объема           | 0,01     |

#### Атмосферные условия

Как до испытания, так и во время испытания были зафиксированы атмосферные условия, такие как температура перед ТК и атмосферное давление. По требованию нормативных документов все объемные расходы газов были приведены к температуре 273 К и давлению 101, 3 кПа.

По результатам измерений рассчитывался параметр атмосферных условий  $F$ :

- согласно [6] для двигателя с наддувом от свободного турбокомпрессора:

$$-F = \left( \frac{99}{P_a} \right)^{0,7} \cdot \left( \frac{T_a}{298} \right)^{1,5};$$

— результаты испытаний считают достоверными, если в течение времени проведения испытаний параметр  $F$  остается в пределах [6]:

$$0,98 \leq F \leq 1,02.$$

Испытания проводились согласно испытательному циклу E3 [2], применяемому к главным и вспомогательным двигателям, работающим по винтовой характеристике. Замеры проводились на нагрузке 25, 50, 75 и 85 % от MCR (максимальной мощности двигателя). Испытания проводились при снижении мощности ГД, начиная, как рекомендует [6], с максимально возможной мощности при условии чистого корпуса (судно вышло из дока 1 апреля 2011 г.) и неполной загрузки судна (85 % MCR) и согласно программе снижения частоты вращения до полного маневренного режима (75 мин<sup>-1</sup>) и далее в маневренном режиме до полной остановки. Снижение частоты враще-

ния ГД осуществлялось приблизительно с частотой один оборот каждые пять минут, при этом с обязательной фиксацией мощности, а в ключевых точках, таких как 85, 75, 50 и 25 % мощности MCR производилась запись и расчет теплотехнических параметров: средневзвешенной мощности, расхода топлива, всех атмосферных параметров и параметров ГД, которые обычно снимаются при индицировании ГД. При маневрировании ГД отработал на каждом режиме не менее 10 мин. Запись состава отработанных газов производилась в онлайн-режиме с частотой записи каждые 10 с (рис. 5). Температура воздуха на входе и выходе из воздушного холодильника, температура выхлопных газов на выходе из ТК, температура воздуха в ресивере измерялись штатно установленными приборами. Температура воздуха на входе в ТК, окружающей среды и температура топлива на расходомере измерялась пирометром с точностью до 0,1 °С. Давление выпускных газов, продувочного воздуха и атмосферное давление измерялось штатно установленными приборами. Отбор пробы осуществлялся в 10 м от УК и в 15 м от выхода отработанных газов в атмосферу. Выхлопная труба в месте отбора пробы диаметром 1000 мм, температура выхлопных газов не менее 190 °С.

Для расчета средневзвешенных удельных выбросов использовались методики, описанные в [2; 6]. Замер топлива осуществлялся по штатному расходомеру с точностью до 0,1 л, время периода замеров — с точностью до 1 с, температура на счетчике — с точностью до 0,1 °С. Так как значение  $NO_x$  зависит от состояния параметров окружающего воздуха, то применяются следующие поправочные коэффициенты: поправочный коэффициент влажности  $NO_x$  для дизельных двигателей ( $K_{hd}$ ), поправочный коэффициент впускного воздуха ( $K_a$ ), сухой/влажный поправочный коэффициент ( $K_w, r$ ), которые для выпускных газов рассчитывались по формулам из [2].

Количество отработанных газов рассчитывалось по формулам ИМО по универсальному методу и методу углеродно-кислородного баланса [2]. Результаты замеров отработанных газов ( $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ) ГД в широком диапазоне нагрузок были обработаны и подсчитаны, результаты расчетов массовых и удельных выбросов замеренных газов помещены в сводную табл. 4, а также представлены в виде графиков зависимости от нагрузки двигателя (рис. 2–4).

Таблица 4

Результаты замеров отработанных газов ГД

| Параметр                              |                   | Номер испытания |             |             |             |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
|                                       |                   | 1               | 2           | 3           | 4           |
| Время работы на режиме                |                   | 9:14–10:17      | 10:57–11:42 | 13:23–13:59 | 14:21–15:04 |
| Время записи                          |                   | 9:20–10:15      | 11:00–11:40 | 13:23–13:59 | 14:21–15:04 |
| Мощность ГД                           | % MCR             | 85              | 75          | 50          | 25          |
|                                       | кВт               | 9553            | 8460        | 5638        | 2968        |
| Частота вращения ГД                   | мин <sup>-1</sup> | 97              | 93          | 81          | 65          |
|                                       | % макс            | 93,68           | 89,9        | 78,4        | 63,2        |
| Максимальное давление сгорания        | бар               | 121,37          | 111,87      | 85          | 66,02       |
| Давление сжатия                       | бар               | 102,57          | 94,33       | 70,15       | 47,73       |
| Среднее эффективное давление          | бар               | 15,85           | 14,52       | 11,18       | 7,32        |
| Температура выхлопных газов после ГТН | °С                | 285             | 279         | 291         | 290         |
| Частота вращения ГТН                  | мин <sup>-1</sup> | 12 300          | 11 400      | 9400        | 6100        |

Таблица 4  
(Окончание)

| Параметр                                                      |         | Номер испытания |          |          |          |
|---------------------------------------------------------------|---------|-----------------|----------|----------|----------|
|                                                               |         | 1               | 2        | 3        | 4        |
| Данные окружающей среды                                       |         |                 |          |          |          |
| Давление в ресивере                                           | кгс/см² | 2,1             | 1,9      | 1,1      | 0,4      |
| Атмосферное давление                                          | кПа     | 103,4           | 103,4    | 103,4    | 103,4    |
| Относительная влажность                                       | %       | 28,8            | 25       | 32       | 32       |
| Абсолютная влажность                                          | г/кг    | 9,9             | 8,57     | 10,41    | 10,41    |
| Температура окружающей среды                                  | °C      | 35              | 35       | 34       | 34       |
| Температура продувочного воздуха                              | °C      | 43              | 42       | 38       | 38       |
| Регулятор                                                     |         |                 |          |          |          |
| Индекс топливных насосов                                      | мм      | 81              | 79,6     | 65,67    | 49,67    |
| Топливо                                                       |         |                 |          |          |          |
| Замеренный расход топлива                                     | кг/ч    | 1918,8          | 1730,5   | 1199,9   | 649,2    |
| Воздух                                                        |         |                 |          |          |          |
| Расход воздуха                                                | кг/ч    | 96 546          | 81970,49 | 53699,22 | 33305,31 |
| Выпускные газы                                                |         |                 |          |          |          |
| Поток выпускных газов                                         | кг/ч    | 98464,77        | 83700,96 | 54899,15 | 33954,51 |
| Данные замеров выбросов                                       |         |                 |          |          |          |
| Концентрация CO <sub>2</sub>                                  | %       | 4,3             | 4,58     | 4,84     | 4,18     |
| Концентрация O <sub>2</sub>                                   | %       | 15,38           | 15,01    | 14,57    | 15,41    |
| Концентрация NO <sub>2</sub>                                  | ppm     | 19,76           | 19,25    | 11,63    | 11,97    |
| Концентрация NO <sub>x</sub>                                  | ppm     | 848,27          | 829,31   | 646,7    | 666,96   |
| Поправочные коэффициенты                                      |         |                 |          |          |          |
| NO <sub>x</sub> влажный/температурный поправочный коэффициент |         | 1,033485        | 1,005141 | 1,025041 | 1,040235 |
| Сухой/влажный поправочный коэффициент                         |         | 0,952275        | 0,952376 | 0,947547 | 0,952068 |
| Выбросы NO <sub>x</sub>                                       |         |                 |          |          |          |
| Массовый выброс NO <sub>x</sub>                               | кг/ч    | 127,85          | 105,46   | 54,73    | 35,59    |
| Удельный выброс NO <sub>x</sub>                               | г/кВтч  | 13,38           | 12,47    | 9,71     | 11,99    |
| Весовой коэффициент                                           |         | 0,2             | 0,5      | 0,15     | 0,15     |
| Удельный выброс NO <sub>x</sub>                               | г/кВтч  | 13,38           | 12,47    | 9,71     | 11,99    |
| Мощность ГД                                                   | кВт     | 9553            | 8460     | 5638     | 2968     |

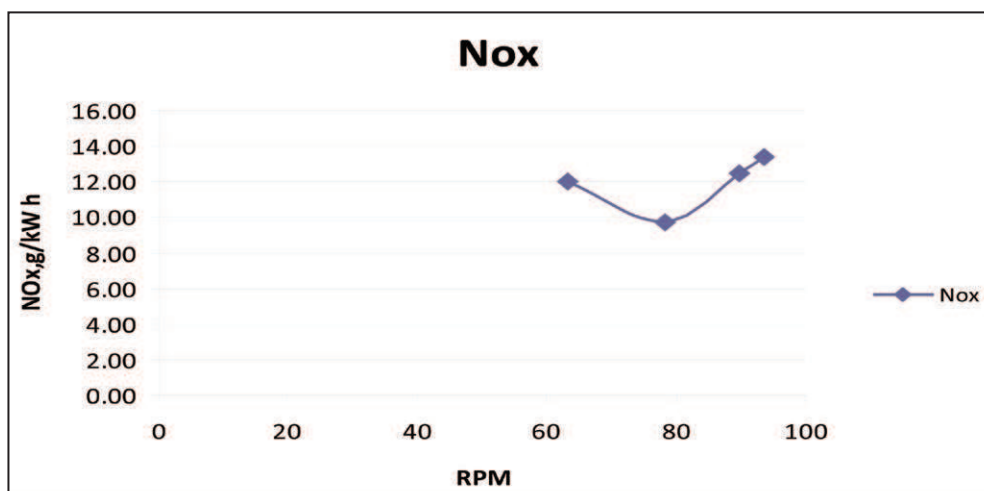


Рис. 2. Зависимость удельных выбросов  $\text{NO}_x$  с отработанными газами от частоты вращения главного двигателя 6S60MC

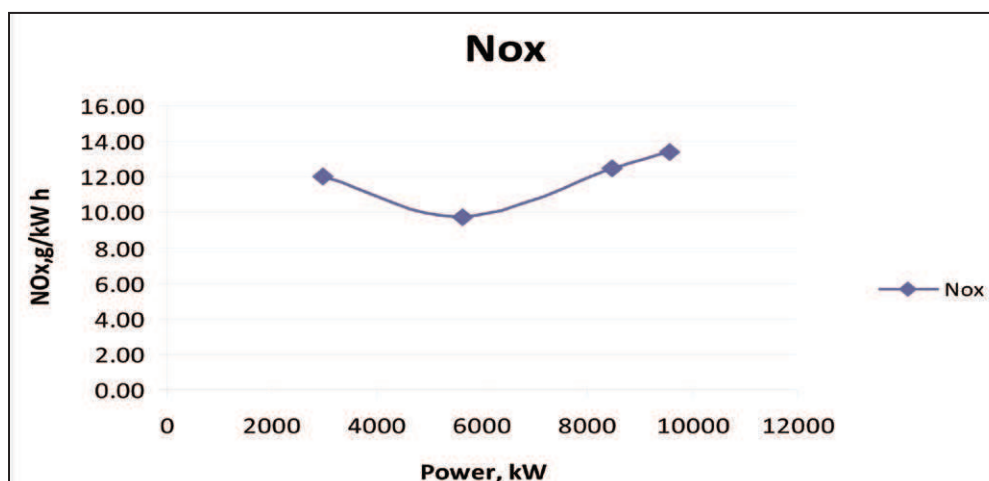


Рис. 3. Зависимость удельных выбросов  $\text{NO}_x$  с отработанными газами от мощности главного двигателя 6S60MC

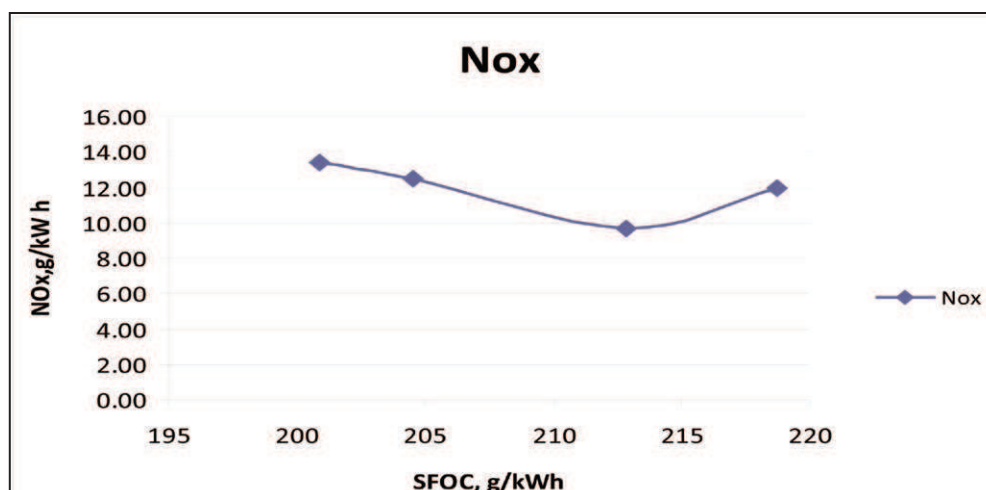


Рис. 4. Зависимость удельных выбросов  $\text{NO}_x$  с отработанными газами от удельного расхода топлива главного двигателя 6S60MC

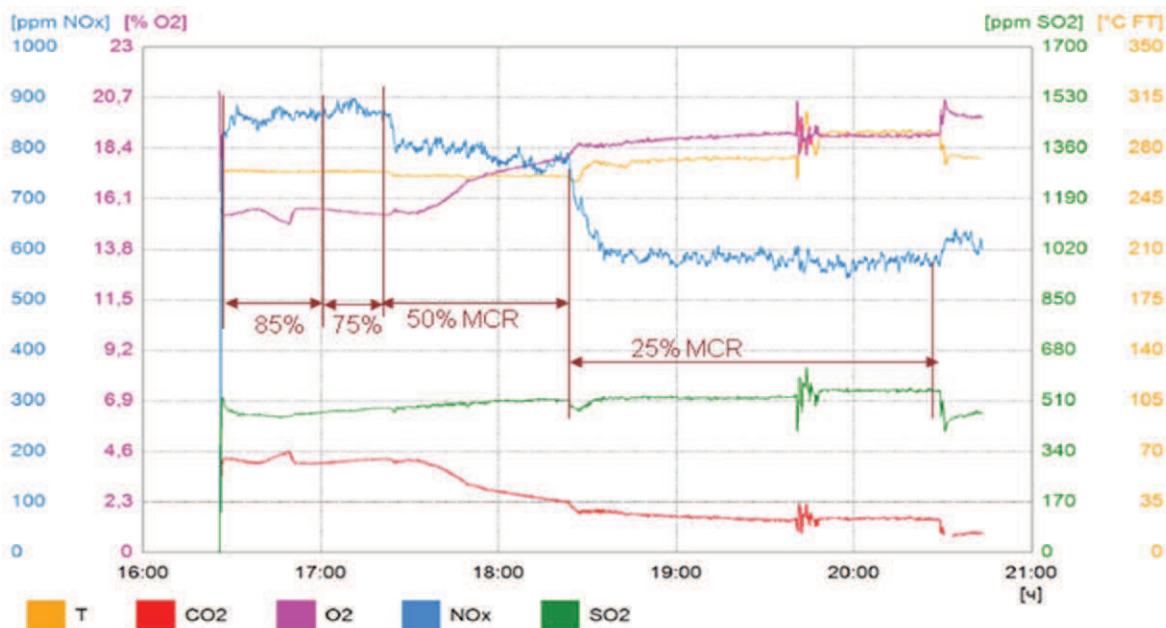


Рис. 5. Состав отработанных газов главного двигателя 6S60MC в широком диапазоне нагрузок дизеля: 85–25 % MCR

В результате выполненного Энергетического аудита по разработанной в СКФ «Новошип» методике контроля получены следующие данные для дизеля 6S60MC:

- 1) главный двигатель танкера B&W 6S60MC на всех режимах мощности соответствует действующим международным нормативам по выбросам окислов азота ( $\text{NO}_x$ ) в отработанных газах;
- 2) выбросы  $\text{CO}_2$  главного двигателя использованы для расчета EEOI (оперативного индекса энергетической эффективности), который составил в 2011 г. 8,82 г/тонно-милю при среднем значении для судов данного класса 8,77 г/тонно-милю и плановом показателе работы судов флота на 2011 г. 11,8 г/тонно-милю;
- 3) выбросы компонента  $\text{SO}_x$  в отработанных газах главного двигателя используются для учета масс выбросов отработанных газов в атмосферу судами компании и расчетов KPI природоохраны (Key performance indicator), являющегося одним из показателей энергетической эффективности работы компании [9, с. 12–14].

### Список литературы

1. Международная конвенция МАРПОЛ 1973 г., изм. протоколом 1978 г. МАРПОЛ 73/78 / ЦНИИМФ, ООО «МОРСАР». — СПб., 2008. — 760 с.
2. Резолюция II конференции МЕРС ИМО. Технический кодекс по контролю за выбросами окислов азота из судовых дизельных двигателей. — СПб.: Гипрорыбфлот, 2009.
3. Guidelines for voluntary use of the ship Energy Efficiency Operational Indicator / International Maritime Organization (IMO). МЕРС. 1/Circ. 684, Ref. T5/1.01. — L., 2009. — 12 p.
4. IMO Technical File. Hyundai B&W 6S60MC, Certified as 'Parent engine'. Identification/approval number Hyundai B&W 6S60MC 2006-04-AA1669 / Hyundai Heavy Industries Co., LTD. — Ulsan, Korea, 2006. — P. 33-8.
5. International Ship Managers Association (InterManager). Shipping KPI. Final Report. — 2009. — Vol. 1.1.

6. ГОСТ Р 51249-99. Государственный стандарт Российской Федерации. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения / Госстандарт России. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. — 17 с.

7. ГОСТ 30574-98. Межгосударственный стандарт. Дизели судовые тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Цикл испытаний. — Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1999. — 90 с.

8. ГОСТ 10448-80. Межгосударственный стандарт. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Приемка. Методы испытаний. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. — 38 с.

9. Зиненко Н. Н. Решение проблем охраны окружающей среды в компании «СКФ Новошип» / Н. Н. Зиненко // Материалы IX науч.-техн. конф., 17–18 декабря 2010 г. / МГА им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — Новороссийск, 2011.

10. Пат. 110068 РФ. Система мониторинга энергоэффективности и экологической безопасности судов (S3ES-Novoship) / Зиненко Н. Н., Пруцков А. Г., Бордунов Б. В., Букаренко Ю. Г., Мартынович Е. С., Яременко Е. В., Панамарев В. Е.; патентообладатель ОАО «Новошип». — 2011.

**УДК 502.3**

**М. А. Вострикова,**  
канд. техн. наук,  
ФГБОУ ВПО «Краснодарский государственный  
университет культуры и искусств»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОКСИДОВ СЕРЫ ОТ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

### **MODELING REDUCTION OF AIR POLLUTION EMISSIONS OF SULFUR OXIDES FROM SHIPS POWER PLANTS**

*В статье рассматривается проблема снижения выбросов оксидов серы от судовых энергетических установок путем применения установки поглощения газовых выбросов (УПГВ) с двухступенчатой очисткой. Приводится полученная при помощи метода планирования эксперимента математическая модель.*

*The article deals with the problem of reducing sulfur oxide emissions from ship power plants through the use of the installation of the absorption of gas emissions with two-stage cleaning. Provides obtained using the method of experiment planning mathematical model.*

*Ключевые слова: морские суда, выбросы, токсичность, атмосфера, загрязняющие вещества, оксид серы, топливо, способы очистки.*

*Key words: ships, emissions, toxicity, atmosphere, pollutant, sulfur oxide, fuel, cleaning method.*

**Р**АСТУЩИЕ масштабы распространения загрязняющих веществ над океаном в результате сжигания топлива, особенно эмиссия в атмосферу оксидов серы, вызывают все большие опасения, и данная проблема усугубляется по мере роста мирового флота и растущих глобальных масштабов потребления бункерного топлива [1].

Одним из перспективных способов очистки продуктов сгорания от выбросов соединений серы с судовых энергетических установок является применение установок поглощения газовых