

Заключение

Совершенствование двигателей и систем нейтрализации при использовании альтернативных топлив может приводить к изменению уровня выбросов и появлению новых вредных веществ и парниковых газов. Это требует наличие датчиков по их обнаружению и применения мер по нейтрализации. Эффективным способом снижения выбросов NO_x является SCR, но он одновременно может являться источником образования парникового газа N₂O в нейтрализаторах.

Перспективными восстановителями в SCR являются топлива, которыми могут быть CH₄ и H₂.

Современные нейтрализаторы должны уменьшать не только вредные выбросы, но и парниковый ущерб от ОГ путем использования катализаторов нейтрализации остаточных газов-восстановителей и N₂O при наличии системы диагностирования.

Список литературы:

1. *Fuel economy and environmental characteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines* / J. Krahl, A. Munack, O. Schröder, H. Stein, A. Hassaneen // *Landbauforschung Völkenrode*. – 2005. – 2 (55). – S. 99–106. 2. Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И. П. Васильев. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – 237 с. 3. Walz Christian. *NO_x-Minderung nach dem SCR-Verfahren: Untersuchungen zum Einfluß des NO₂-Anteils: Doktors der Naturwissenschaften* / Christian Walz. – Karlsruhe, 2000. – 184 S. 4. Hausberger Stefan. *N₂O aus mobilen Quellen [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.accc.gv.at/pdf/no-hausberger.pdf – 10.12.2011.* 5. *Исследование механизмов образования оксидов азота в условиях камеры сгорания* / В. А. Звонов, М. П. Гуринович // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 1. – С. 29–33. 6. Wittzack Stefan. *Spektrometrische Bestimmung der NO₂-Konzentration im Abgas von Lastkraftwagen unter Verwendung eines elektrostatisch durchstimmbaren Fabry-Pérot-Filters zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der Schadstoff-*

femissionen: Doktors der Ingenieurwissenschaften / Stefan Wittzack. – Kassel. – 2010. – 192 S. 7. *Nitrogen oxide sensor – Wikipedia, the free encyclopedia. [Электронный ресурс] / Режим доступа en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_oxide_sensor /*. – 03.01.2011. 8. *Selective catalytic reduction of NO_x in real exhaust gas of gas engines using unburned gas. Catalyst deactivation and advances toward long-term stability* / J.A.Z. Pieterse, R.W. van den Brink, H. Top, F. Vollink K. Hoving // *Chemical Engineering Journal, ECN-RX – 06-053*. – 2006. – p. 23. 9. *Schott F.J.P. Entwicklung von Katalysatoren zur effizienten NO_x-Minderung bei tiefen Temperaturen im Abgas von Pkw-Dieselmotoren: Abschlussbericht Förderkennzeichen: BWI 23002 / F.J.P. Schott, S. Kureti // Universität Karlsruhe (TH) Institut für Technische Chemie und Polymerchemie. – Karlsruhe, 2007. – 47 S.*

Bibliography (transliterated):

1. *Fuel economy and environmental characteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines* / J. Krahl, A. Munack, O. Schröder, H. Stein, A. Hassaneen // *Landbauforschung Völkenrode*. – 2005. – 2 (55). – S. 99–106. 2. Vasylyev I. P. *Vlijanie topliv rastitel'nogo proishozhdenija na jekologicheskie i jekonomicheskie pokazateli dizelja: monografija* / I. P. Vasil'ev. – Lugansk: VNU im. V. Dalja, 2009. – 237 S. 3. Walz Christian. *NO_x-Minderung nach dem SCR-Verfahren: Untersuchungen zum Einfluß des NO₂-Anteils: Doktors der Naturwissenschaften* / Christian Walz. – Karlsruhe, 2000. – 184 S. 4. Hausberger Stefan. *N₂O aus mobilen Quellen [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: www.accc.gv.at/pdf/no-hausberger.pdf – 10.12.2011.* 5. *Issledovanie mehanizmov obrazovanija oksidov azota v uslovijah kamery sgoranija* / V. A. Zvonov, M. P. Girinovich // *Dvigateli vnutrennego sgoranija*. – Har'kov: NTU «HPI», 2008. – № 1. – S. 29–33. 6. Wittzack Stefan. *Spektrometrische Bestimmung der NO₂-Konzentration im Abgas von Lastkraftwagen mit Dieselmotor unter Verwendung eines elektrostatisch durchstimmbaren Fabry-Pérot-Filters zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der Schadstoffemissionen: Doktors der Ingenieurwissenschaften* / Stefan Wittzack. – Kassel. – 2010. – 192 S. 7. *Nitrogen oxide sensor – Wikipedia, the free encyclopedia. [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_oxide_sensor /*. – 03.01.2011. 8. *Selective catalytic reduction of NO_x in real exhaust gas of gas engines using unburned gas. Catalyst deactivation and advances toward long-term stability* / J.A.Z. Pieterse, R.W. van den Brink, H. Top, F. Vollink K. Hoving // *Chemical Engineering Journal, ECN-RX – 06-053*. – 2006. – p. 23. 9. *Schott F.J.P. Entwicklung von Katalysatoren zur effizienten NO_x-Minderung bei tiefen Temperaturen im Abgas von Pkw-Dieselmotoren: Abschlussbericht Förderkennzeichen: BWI 23002 / F.J.P. Schott, S. Kureti // Universität Karlsruhe (TH) Institut für Technische Chemie und Polymerchemie. – Karlsruhe, 2007. – 47 S.*

УДК 621.43.068.4

А. Н. Кондратенко, асп., А. П. Строков, д-р техн. наук, В. М. Семикин, инж.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ФИЛЬТРЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЯ. ЧАСТЬ 2: ДОПОЛНЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ ПО СВОЙСТВАМ МАТЕРИАЛОВ ФИЛЬТРА И РАБОЧЕГО ТЕЛА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ

Постановка проблемы и анализ литературных источников

В предыдущих публикациях авторами описаны разработанная новая конструкция и способ функционирования фильтра твердых частиц (ФТЧ)

дизеля. Также описана математическая модель процесса движения отработавших газов (ОГ) дизеля в полостях ФТЧ [1]. Для моделирования реальных процессов, происходящих в фильтрующем элементе (ФЭ) вышеупомянутую модель следует

усовершенствовать в аспектах, перечисленных как задачи данного исследования. В предыдущей части исследования было выполнено обоснование модернизации конструкции модуля ФЭ, а также дополнение базы данных по свойствам пористого тела [2].

Цель и постановка задачи исследования

Целью данного исследования является повышение точности математического моделирования тепло- и массообменных процессов в полостях ФЭ фильтра твердых частиц дизеля, за счет ее дополнения данными о свойствах материалов ФЭ и рабочего тела (РТ), а также краевых условий.

Задачами данной части исследования являются:

- 1) дополнение базы данных по свойствам реального рабочего тела (ОГ) в зависимости от их температуры;
- 2) анализ литературных данных о шероховатости поверхностей полостей и теплофизических свойствах материалов ФЭ;
- 3) дополнение базы данных по свойствам твердых частиц (ТЧ);
- 4) экспериментальное получение значений краевых условий, необходимых для моделирования процесса течения ОГ через ФТЧ.

Дополнение базы данных по свойствам реального рабочего тела

Программный комплекс CosmosFlo Works позволяет использовать различные рабочие тела (РТ) для расчета. База данных по свойствам РТ в указанном программном комплексе относится к, так называемой, «инженерной базе данных» и содержит информацию о термодинамических свойствах РТ. Для такого расчета необходимы следующие данные – постоянные величины и значения различных физических параметров РТ от их температуры. Для ОГ дизеля эти данные в используемом программном комплексе отсутствуют [3]. Они были получены из литературного источника [4, стр. 324] и представлены на рис. 1.

Данные о шероховатости поверхностей полостей и теплофизических свойств материалов ФЭ

В разработанной конструкции ФЭ используются три типа поверхностей:

- 1) стенка из стальной тканой сетки, проникаемая для ОГ;
- 2) стенка из стальной пластины с прилегающей к ней стальной тканой сеткой;

3) стенка из стальной пластины, подвергнутая пескоструйной обработке.

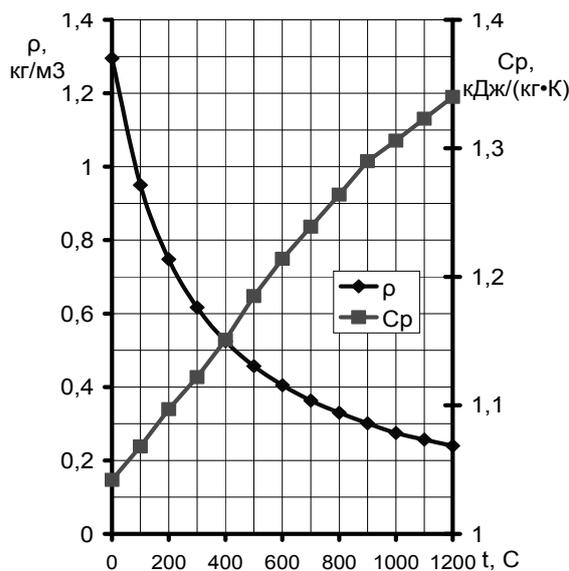


Рис. 1. Теплофизические свойства ОГ

В программном комплексе CosmosFlo-Works возможно учитывать шероховатость поверхностей неподвижного тела (используется параметр Rz в мкм), а также теплофизические свойства материала, из которого он изготовлен [3].

Пескоструйная обработка стальных поверхностей может создавать на них шероховатость в пределах Ra 30...80 мкм [5]. Для расчета принято Rz 160 мкм.

В виду того, что стальная тканая сетка в данном случае моделируется как пористое тело, то в первом приближении в расчете принята пористость стальной тканой сетки, равной отношению площади проходного сечения ячейки к площади повторяющегося элемента сетки (0,371). Шероховатость стальной проволоки, согласно [6], из которой изготавливают стальную тканую сетку, должна быть не более Rz 1,6 мкм. Это значение и принято для расчета.

Нержавеющая сталь, как и стальная тканая сетка, имеет значение коэффициента теплопроводности 22,4 Вт/(м·К) [7]. Значение коэффициента теплопроводности твердых частиц (ТЧ), основным компонентом которых является сажа, составляет 0,058 Вт/(м·К) [8].

Дополнение базы данных по свойствам твердых частиц

Программный комплекс CosmosFloWorks позволяет учитывать наличие ТЧ (в твердом или жидком агрегатном состоянии) в потоке текущей

среды. База данных по свойствам ТЧ в указанном программном комплексе содержит информацию о функции распределения размеров ТЧ и о теплофизических свойствах ТЧ. Для расчета значений параметров процесса течения ОГ в ФТЧ с учетом наличия в них ТЧ необходимы следующие данные – расход для каждой фракции ТЧ в распределении их по массе. Если предположить, что ТЧ всех фракций распределены в объеме потока ОГ равномерно, то достаточно определить функции распределения ТЧ по размерам. Для ТЧ в ОГ дизеля эти данные отсутствуют в [3]. К особенностям моделирования ТЧ в программном комплексе CosmosFloWorks, согласно [3], относятся следующие: так как массовая доля ТЧ в потоке ОГ не превышает 30 %, то наличие их в потоке пренебрежимо мало влияет на его параметры; ТЧ имеют сферическую форму, их масса предполагается неизменной, а температура определяется теплообменом с текучей средой. Моделируются как полное прилипание ТЧ к поверхностям (с учетом или без учета эрозии отложившегося слоя ТЧ на стенках поверхностей), а также отражение ТЧ от стенок поверхностей (идеальное или не идеальное) [3].

Распределение ТЧ в ОГ по размерам зависит от многих факторов – размерности и типа смесеобразования в дизеле, режима работы дизеля, уровня теплонпряженности деталей камеры сгорания, сорта топлива и моторного масла и др. [8]. Кроме того, ввиду наличия явления коагуляции ТЧ и конденсации продуктов неполного сгорания топлива на, так называемых, конденсатных зародышах ТЧ (0,1...0,3 мкм [8]), их распределение по размерам зависит от места взятия пробы ОГ по длине выпускного тракта дизеля.

Известно достаточно много способов определения функции распределения ТЧ по размерам (весу, количеству, площади поверхности), имеющих определенные недостатки и преимущества и дающих различные, а порой и противоречивые данные [8, 9]. Применение одного из указанных в [8, 9] методов для определения функции распределения ТЧ по размерам для дизеля 2С10,5/12 является предметом отдельного весьма объемного исследования. Поэтому для расчета будут использоваться данные из литературных источников [8, 9]. Так, например, для номинального режима работы дизеля КамАЗ 740 функция распределения размеров ТЧ, полученная в работе [9], представлена на рис. 2. Такое распределение принимаем для расчета.

Плотность ТЧ в среднем составляет около 1 г/см^3 [8].

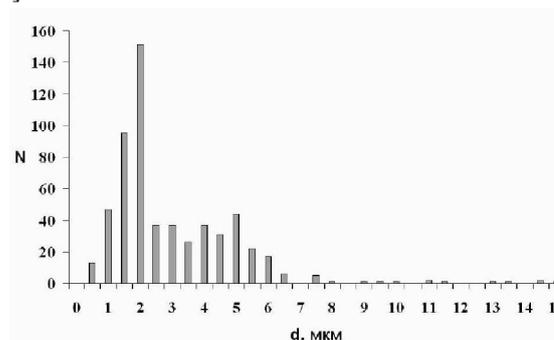


Рис. 2. Распределение ТЧ по размерам [9]

Экспериментальное получение значений краевых условий

Краевые условия, необходимые для моделирования тепло- и массообменных процессов в ФТЧ были перечислены в [1]. Их значения, характерные для реальных условий, наблюдаемых в выпускном тракте дизеля на определенном режиме его работы, можно получить экспериментальным путем.

Для проведения моторных испытаний действующего прототипа ФТЧ с различными новыми вариантами конструкции его фильтрующего элемента, моторный испытательный стенд с дизелем 2С10,5/12, описанный в [12], был модернизирован. Изменения коснулись выпускной системы стенда и системы отбора проб ОГ на токсичность и дымность. Схема отбора проб приведена на рис. 3. Внешний вид стенда после модернизации представлен на рис. 4.

Система выпуска ОГ дополнена новой деталью – макетоудерживающей вставкой. Ее эскиз и внешний вид приведены на рис. 5 и 6. Вставка оснащена двумя штуцерами для подключения дифманометра для измерения перепада давления на макете ФЭ, а также двумя штуцерами для подключения датчиков температуры (термопары ТХА), для измерения перепада температур на макете ФЭ.

Проба ОГ отбирается в середине сечения выходного фланца макетоудерживающей вставки. Проба подается на вход 4-х позиционного крана аллонжа. Аллонж имеет два конуса с фильтродержателями на концах, один из которых используется для продувки системы отбора проб и подачи пробы ОГ для дымомера ИНА-109, а второй – для отбора пробы ОГ на дымность по методу фильтрации выхлопа, описанного в [10] и применявшемуся в [11]. Для обеспечения идентичности проб в схеме присутствуют расходомер газа, регулировочный кран,

таймер. Объем пробы соответствует таковому в дымомерах фирмы Bosch, он пропускается сквозь специальный фильтр, установленный в фильтродержателе аллонжа. Аллонж также имеет два выхода без конусов: один используется для измерения

противодавления системы выпуска ОГ моторного стенда дифманометром, а второй – для измерения параметров токсичности ОГ 5-ти компонентным газоанализатором.

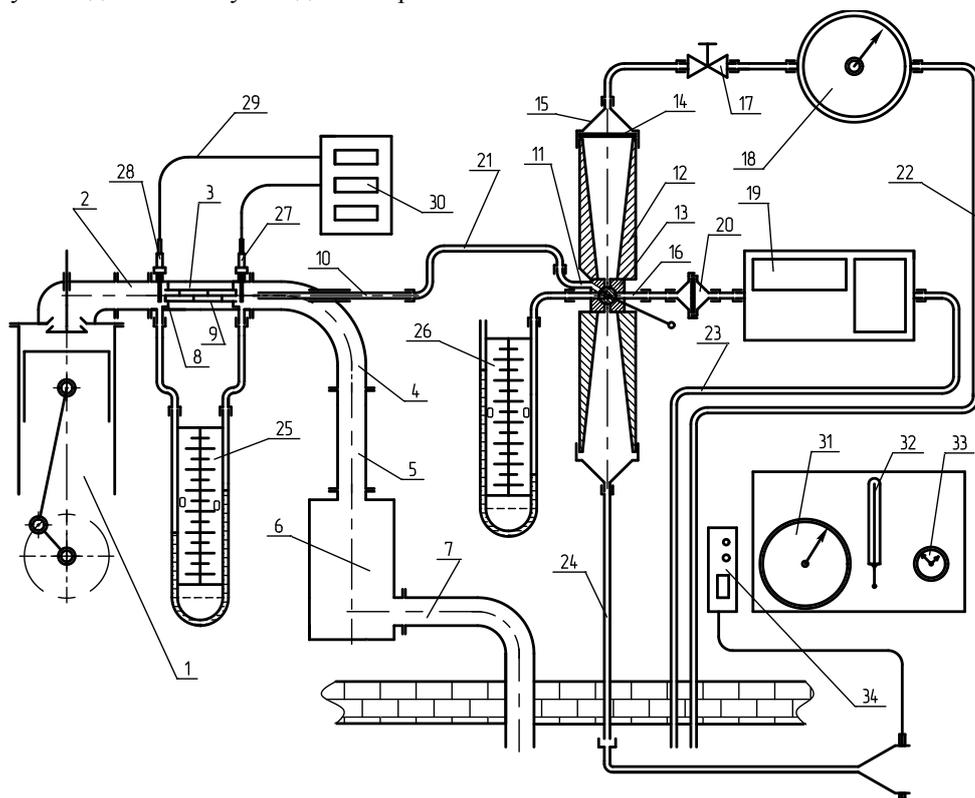


Рис. 3. Схема отбора проб моторного испытательного стенда:

1 – дизель 2Ч10,5/12; 2 – выпускной коллектор дизеля; 3 – макетоудерживающая вставка; 4 – “колено”; 5 – гибкий трубопровод; 6 – глушитель шума; 7 – газовыводящая труба; 8 – держатель макета ФТЧ; 9 – макет ФТЧ; 10 – трубка – пробоотборник; 11 – входной штуцер аллонжа; 12 – конус аллонжа; 13 – четырехходовой кран аллонжа; 14 – сменный фильтр; 15 – колпак аллонжа; 16 – выходной штуцер аллонжа; 17 – регулировочный кран; 18 – расходомер газа; 19 – пятикомпонентный газоанализатор с печатающим устройством; 20 – защитный фильтр с держателем; 21 – соединительный трубопровод; 22, 23, 24 – выводные трубопроводы; 25, 26 – дифманометр ДМ; 27, 28 – датчик термометрический ТХА; 29 – электропровод; 30 – прибор ОВЕН ТРМ 200; 31 – барометр aneroid БА; 32 – термометр ртутный; 33 – таймер; 34 – дымомер ИНА-109

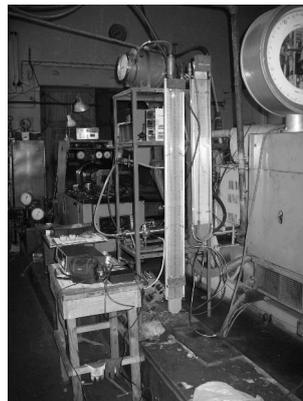
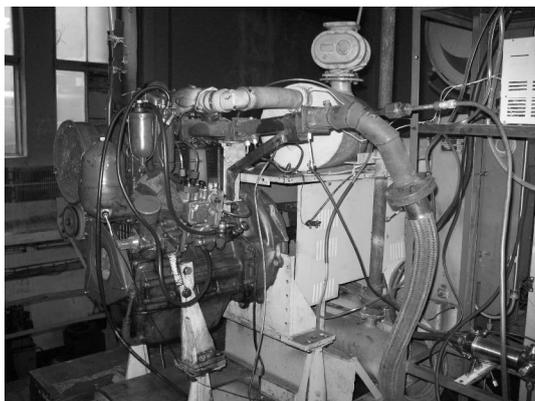


Рис. 4. Внешний вид моторного стенда

Проведен обзор литературных данных по вопросам шероховатости поверхностей полостей ФЭ и теплофизических свойств материалов ФЭ.

Описана подготовка экспериментального исследования по получению значений краевых условий математической модели тепло- и массообменных процессов в ФТЧ.

Список литературы:

1. Строков А. П. Расчетная оценка гидравлического сопротивления модуля фильтра твердых частиц быстроходного дизеля / А. П. Строков, А. Н. Кондратенко // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – 2011. Выпуск 28. – С. 48-54. 2. Кондратенко А. Н. Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 1: модернизация конструкции фильтра и дополнение базы данных по свойствам пористого тела / А. Н. Кондратенко, А. П. Строков, А. Н. Авраменко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. - №1. – С. 86-90. 3. Алямовский А. А. Компьютерное моделирование в инженерной практике. / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с. 4. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. 5. ГОСТ 9.402-2004. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. М.: Национальные стандарты. – 2006. – 41 с. 6. ГОСТ 15598-70. Проволока стальная струнная. Технические условия. М.: Национальные стандарты. – 2003. – 41 с. 7. Теплопроводности веществ. Сайт-справочник [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://conductivity.at.ua/publ/teploprovodnost_metallov/teplovodnost_stalej/7-1-0-8. 8. Звонов В. А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В. А. Звонов, Г. С. Корнилов, А. С. Козлов, Е. А. Симонова. – М.: Издательство Прима-Пресс-М, 2005, – 312 с. 9. Бразовский В. В. Распределение твердых частиц выхлопных газов по размерам / В. В. Бразовский, В. А. Вагнер, В. В. Евстигнеев, В. И. Пролубников, Н. П. Тупалов // Ползуновский вестник. – 2006. – №4. – С. 187-193. 10. Варшавский И. Л. Токсичность дизельной сажи и измерение сажеобразования дизельного выхлопа / И. Л. Варшавский, Ф. Ф. Мачульский // Сборник трудов

ЛАНЭ. – 1969. – С. 120–157. 11. Бганцев В. Н. Результаты испытаний дизеля на смесях дизельного топлива и биодобавки из побочных продуктов масложирового и спиртового производств / В. Н. Бганцев, В. П. Марahrenovский, С. П. Хожашинов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. - №1. – С. 119-123. 12. Вивчення енергоекологічних характеристик біодизельного палива на основі етанолу та соняшникової олії: звіт про НДР / ППМаш НАНУ; кер. А. Левтеров.– Харків, 2011.– 34 с.– № ДР 0111U001430.

Bibliography (transliterated):

1. Strokov A. P. Raschetnaja ocenka gidravlicheskogo soprotivlenija modulya fil'tra tverdyh chastic bystrohodnogo dizelja / A. P. Strokov, A. N. Kondratenko // Avtomobil'nyj transport: sbornik nauchnyh trudov. – 2011. Vy-pusk 28. – S. 48-54. 2. Kondratenko A. N. Modelirovanie teplo- i massoobmennyyh processov v fil'tre tverdyh chastic dizelja. Chast' 1: modernizacija konstrukcii fil'tra i dopolnenie bazy dannyh po svojstvam poristogo tela / A. N. Kondratenko, A. P. Strokov, A. N. Avramenko // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2012. - №1. – S. 86-90. 3. Aljamovskij A. A. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike. / A. A. Aljamovskij, A. A. Sobachkin, E. V. Odincov, A. I. Haritonovich, N. B. Ponomarev – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 800 s. 4. Miheev M. A. Osnovy teploperedachi. Izd. 2-e, steriotip. / M. A. Miheev, I. M. Miheeva. – M.: Jenergija, 1977. 5. GOST 9.402-2004. Pokrytija lako-krasochnye. Podgotovka metallicheskih poverh-nostej k okrashivaniju. M.: Nacional'nye standarty. – 2006. – 41 s. 6. GOST 15598-70. Provoloka stal'naja strunnaja. Tehnicheskie uslovija. M.: Nacional'nye standarty. – 2003. – 41 s. 7. Teploprovodnosti vewestv. Sajt-spravocnik [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://conductiity.at.ua/publ/teploprovodnost_metallov/teploprovodnost_stalej/7-1-0-8. 8. Zvonov V. A. Ocenka i kontrol' vybrosov dispersnyh chastic s otrabotavshimi gazami dizelej / V. A. Zvonov, G. S. Kornilov, A. S. Kozlov, E. A. Simonova. – M.: Izdatel'stvo Prima-Press-M, 2005, – 312 s. 9. Brazovskij V. V. Raspredelenie tverdyh chastic vyhlopnyyh gazov po razmeram / V. V. Brazovskij, V. A. Vagner, V. V. Evstigneev, V. I. Prolubnikov, N. P. Tupalov // Polzunovskij vestnik. – 2006. – №4. – S. 187-193. 10. Varshavskij I. L. Toksichnost' dizel'noj sazhi i izmerenie sazheobrazovanija dizel'nogo vyhlopa / I. L. Varshavskij, F. F. Machul'skij // Sbornik trudov LANJe. – 1969. – S. 120–157. 11. Bgancev V. N. Rezul'taty ispytanij dizelja na smesjah dizel'nogo topliva i biodobavki iz pobochnyyh produktov maslozhirovogo i spirtovogo proizvodstv / V. N. Bgancev, V. P. Marahrenovskij, S. P. Hozhainov // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2009. - №1. – S. 119-123. 12. Vivchennja energoekologichnih harakteristik biodizel'nogo paliva na osnovi etanolu ta sonjashni-kovoї oliї: zvit pro NDR / IPMash NANU; ker. A. Levterov.– Harkiv, 2011.– 34 s.– № DR 0111U001430.

УДК 66.074.33: 621.43.68

В.М. Горбов, канд. техн. наук, В.С. Митенкова, канд. техн. наук

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА СУДОВЫМИ ДИЗЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Вступление

Общий вклад водного транспорта в глобальное экологическое загрязнение напрямую зависит от количества потребляемого топлива, в первую очередь нефтяного. По данным Международной группы изменений климата (IPCC) в период с 2010 по 2050 гг. объем выбросов для CO₂ со стороны

международного судоходства увеличится на 70 %. За данный отрезок времени вклад в глобальное загрязнение атмосферы диоксидом углерода для судов возрастет с 2,7 до 3,5 % [1]. Инструментом для снижения выбросов диоксида углерода является индекс энергоэффективности для строящихся судов (EEDI – Energy Efficiency Design Index). Огра-