

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЯ НА РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМАХ

В статье рассмотрена возможность использования вихревой трубы для обеспечения оптимальной температуры наддувочного воздуха при работе поршневого ДВС на различных скоростных и нагрузочных режимах. Приведены результаты расчета вихревой трубы для охлаждения наддувочного воздуха дизеля ЯМЗ-8424 и схема системы стабилизации температуры наддувочного воздуха с использованием вихревой трубы. Результаты проиллюстрированы на примере этого двигателя.

Введение

Наддув, как средство повышения мощности и экономичности силовых установок мобильного транспорта при всех имеющихся достоинствах имеет и ряд недостатков. Прежде всего, это широкий диапазон изменения температуры свежего заряда воздуха, связанный как с режимом работы двигателя, так и с параметрами окружающей среды. Это приводит к тому, что на режимах больших нагрузок температура воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, может достигать до 220 °С, в результате чего понижается плотность свежего заряда, уменьшается эффективность теплоиспользования вследствие меньшего количества сгоревшего топлива, падает мощность и ухудшается экономичность двигателя. При работе же комбинированных двигателей на режимах малых нагрузок и холостого хода существенно изменяются условия организации и протекания рабочего процесса: появляется нестабильность топливоподачи в последовательно протекающих циклах, ухудшается распыл топлива, снижается температура рабочего тела в цилиндре и поверхностей деталей, образующих внутрицилиндровое пространство. В условиях низкой температуры окружающего воздуха указанные выше проблемы работы двигателей на частичных нагрузках и холостом ходу особенно обостряются.

Таким образом, можно тезисно констатировать, что недостатком двигателей с наддувом являются: снижение экономических и мощностных показателей, а также их надежности при работе на режимах больших, малых нагрузок и на режиме холостого хода

Современные исследователи сходятся во мнении о необходимости стабилизации температуры свежего заряда воздуха в определенных пределах [1, 2, 3 и др.]. Широко применяемое в настоящее время охлаждение наддувочного воздуха (НВ), которое было предложено еще Р. Дизелем, не является достаточно эффективным решением проблемы обеспечения стабильности температурных параметров воздухообеспечения.

На наш взгляд, решение проблемы поддержания температуры НВ в оптимальных пределах для обеспечения эффективного протекания рабочего процесса и повышения надежности комбинированных двигателей при работе на любых эксплуатационных режимах представляется принципиально возможным за счет использования вихревых труб [4] (которые в рассматриваемом аспекте могут играть роль «стабилизатора температуры наддувочного воздуха» – СТНВ), устанавливаемых во впускном тракте комбинированного ДВС после компрессора.

Экспериментальная часть

На рис. 1 показана предложенная авторами система стабилизации температуры НВ с использованием вихревой трубы.

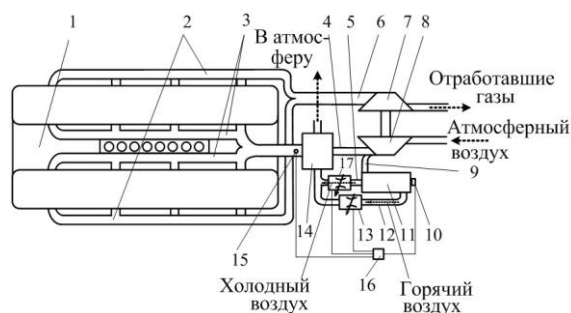


Рис. 1. Принципиальная схема системы стабилизации температуры наддувочного воздуха при работе двигателя на различных режимах с использованием вихревой трубы:

1 – поршневой ДВС; 2 – выпускные коллекторы; 3 – впускные коллекторы; 4 – трубопровод; 5 – трубопровод холодного воздуха; 6 – выхлопная труба; 7 – газовая турбина; 8 – компрессор; 9 – патрубок; 10 – дроссельный вентиль; 11 – вихревая труба; 12 – трубопровод теплого воздуха; 13 – клапан регулирования количества теплого воздуха; 14 – воздухо-воздушный ОНВ; 15 – датчик температуры; 16 – клапан регулирования количества холодного воздуха

Принцип действия предлагаемой системы заключается в следующем.

Отработавшие газы поршневого ДВС по выхлопной трубе поступают в газовую турбину, которая приводит в действие компрессор.

Компрессор сжимает атмосферный воздух и по трубопроводу подает его в воздухо-воздушный ОНВ, откуда попадает в цилиндры поршневого ДВС через впускные коллекторы. Часть сжатого в компрессоре воздуха по патрубку подается в вихревую трубу, разделяется в ней на два потока (холодный и теплый) и по трубопроводам холодного воздуха и теплого воздуха направляется в воздухо-воздушный ОНВ.

Установленный на выходе из ОНВ датчик температуры передает информацию на регулирующее устройство, которое воздействуя на клапаны регулирования количества холодного воздуха и теплого воздуха, а также на управляющий дроссельный вентиль обеспечивает такой режим работы вихревой трубы, который обеспечивает оптимальную температуру НВ на входе в цилиндры поршневого ДВС.

С помощью разработанной математической модели [5], авторами были выполнены расчет и оптимизация конструктивных размеров устройства с вихревой трубой для стабилизации температуры НВ в оптимальных пределах для обеспечения эффективного протекания рабочего процесса и повышения надежности при работе дизеля ЯМЗ-8424. Установленные в работах [6, 7, 8, 9, 10, 11] закономерности изменения показателей дизеля ЯМЗ-8424 в зависимости от температуры НВ позволяют утверждать, что целесообразные значения температуры НВ с точки зрения «компромисса» между мощностными, экономическими показателями, механической, тепловой нагруженностью и дымностью отработавших газов для этого двигателя лежат в диапазоне 66–81 С.

Расчеты показали, что система охлаждения НВ должна содержать несколько отдельных вихревых труб.

Схема размещения вихревых труб в кассете вихревого аппарата представлена на рис. 2.

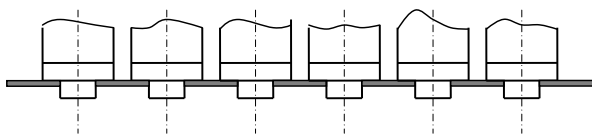


Рис. 2. Схема размещения вихревых труб в кассете вихревого аппарата

На рис. 3 показана схема охладителя наддувочного воздуха состоящего из вихревого аппарата с воздухо-воздушным теплообменником.

Основные конструктивные характеристики вихревого аппарата для системы стабилизации температуры наддувочного воздуха дизеля ЯМЗ-8424 приведены в табл. 1

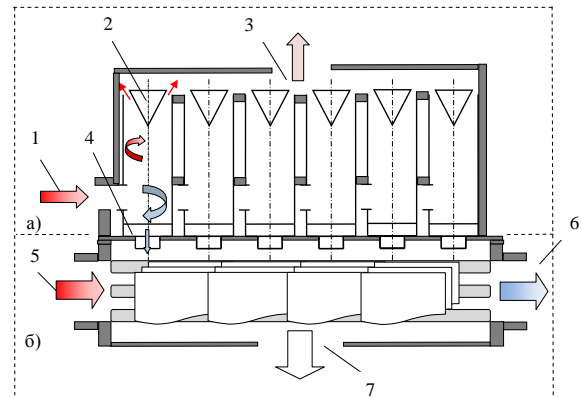


Рис. 3. Схема охладителя наддувочного воздуха, состоящего из вихревого аппарата с воздухо-воздушным теплообменником:

а – вихревой аппарат (1 – патрубок входа воздуха в вихревой аппарат; 2 – дроссельный клапан; 3 – патрубок выхода потока подогретого воздуха; 4 – патрубок выхода потока охлажденного воздуха к теплообменнику). б – воздухо-воздушный теплообменник (5 – входной патрубок потока наддувочного воздуха в теплообменник; 6 – выходной патрубок подвода охлажденного наддувочного воздуха к цилиндрам двигателя; 7 – охлаждающий воздух на выходе из теплообменника)

Таблица 1. Основные конструктивные характеристики вихревого аппарата для системы стабилизации температуры наддувочного воздуха дизеля ЯМЗ-8424

Конструктивная характеристика	Единица измерения	Величина
Количество вихревых труб в аппарате	шт.	6
Длина корпуса вихревой трубы	м	0,16
Внутренний диаметр патрубка входа воздуха в вихревой аппарат	м	0,06
Наружный диаметр канала для выхода потока охлажденного воздуха	м	0,024
Внутренний диаметр канала для выхода потока подогретого воздуха	м	0,038
Площадь входного патрубка воздуха в завихритель	м ²	0,028 · 10 ⁻²

При помощи математической модели [5], авторами с использованием исходных данных из работ [7, 9, 11] был выполнен математический эксперимент, который показал возможность обеспечения стабилизации температуры НВ в оптимальных пределах (66–81 С) для обеспечения эффективного протекания рабочего процесса и повышения надежности при работе дизеля ЯМЗ-8424 на различных эксплуатационных режимах с помощью предложенной системы стабилизации температуры НВ.

Анализ результатов

Оценку эффективности работы предложенной системы авторы сочли возможным провести, используя результаты, приведенные в работах [7–11]

Режимные условия соответствовали эксплуатации грузового автомобиля в городе (рис. 6) [12], где цифры в квадратах без скобок указывают процент времени работы на данном режиме, в скобках курсивом – порядковый номер режима в процессе стендовых испытаний.

Продолжительность работы на каждом режиме определяли из соотношения – 1 % = 30 с.

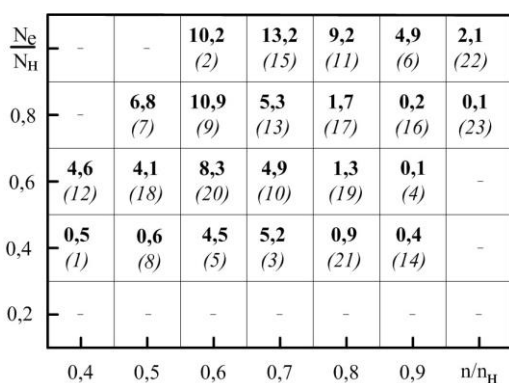


Рис. 4. Режимы работы двигателя грузового автомобиля в условиях городской эксплуатации

Результаты проведенного пересчета процентов в секунды показаны на гистограмме (рис. 5). Совокупность 23 режимов, представленных на рис. 5, составляла один цикл испытаний продолжительностью практически 50 мин.

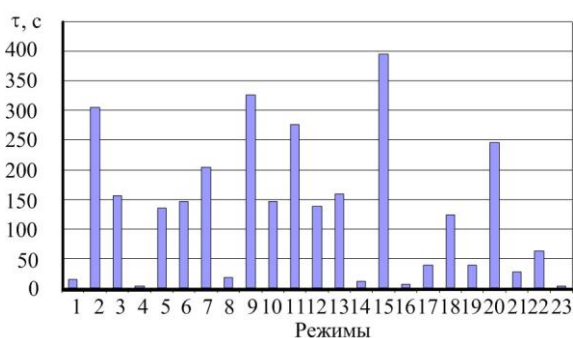


Рис. 5. Распределение времени работы дизеля

ЯМЗ-8424 на переменных режимах в течение одного цикла

Испытания представляли собой две серии из трех последовательно повторяющихся циклов, каждый из которых характеризовался своей частотой вращения коленчатого вала, своей нагрузкой и своей продолжительностью (табл. 2). В одной серии исследовалась работа дизеля ЯМЗ-8424 при работе в штатной комплектации, во второй – с опытным образцом системы стабилизации температуры НВ (ССТНВ). В первой серии проводились испытания двигателя в штатной комплектации. Дизель был укомплектован ОНВ типа «вода-воздух» со 186 оребренными накаткой медными трубками с внутренним диаметром 5 мм.

Таблица 2. Характеристика режимов одного цикла

Режим	Скоростной режим, $n, \text{мин}^{-1}$	Мощность, кВт	Продолжительность, с
1	840	24	15
2	1260	215	306
3	1470	105	156
4	1890	177	3
5	1260	86	135
6	1890	295	147
7	1050	100	204
8	1050	50	18
9	1260	172	327
10	1470	157	147
11	1680	285	276
12	840	36	138
13	1470	210	159
14	1890	117	12
15	1470	262	396
16	1890	236	6
17	1680	228	39
18	1050	75	123
19	1680	171	39
20	1260	129	246
21	1680	114	27
22	2100	295	63
23	2100	246	3

Рис. 6 иллюстрирует полученные результаты.

Для оценки эффективности систем, предназначенных для изменения температуры НВ перед его поступлением в цилиндры двигателя, был введен новый показатель – коэффициент стабилизации температуры НВ. Этот коэффициент показывает степень отклонения фактической температуры НВ перед впускными органами от ее целесообразного значения и определяется по формуле:

$$K_{cm} = \frac{T_{к'} - |T_u|}{T_u},$$

где T_k – фактическая температура воздуха, поступающего в цилиндры, $T_{ц}$ – целесообразное значение температуры свежего заряда.

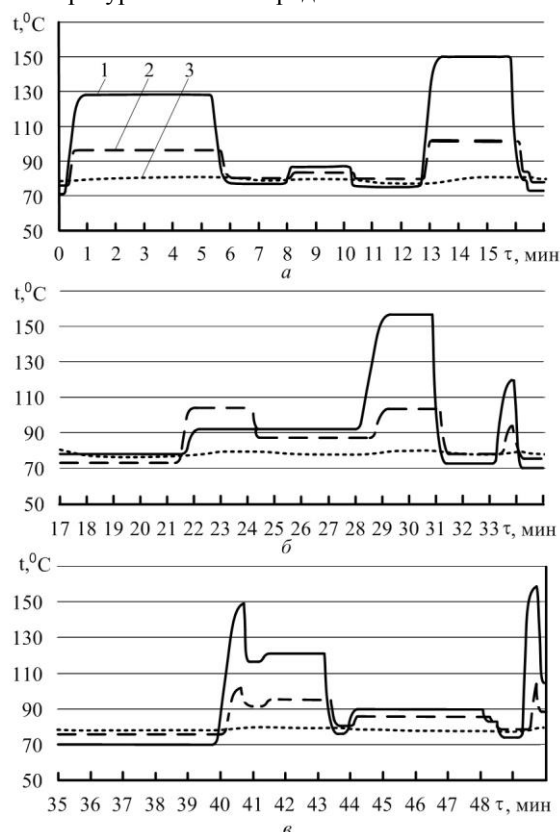


Рис. 6. Изменение температуры наддувочного воздуха при работе дизеля ЯМЗ 8424 в одном из испытательных циклов:

1 – температура наддувочного воздуха на выходе из компрессора; 2 – температура наддувочного воздуха на выходе из штатного охладителя наддувочного воздуха; 3 – температура наддувочного воздуха на выходе из опытного стабилизатора температуры наддувочного воздуха

Как дополнительные характеристики, позволяющие составить более полное представление о системе изменения температуры НВ (но не говорящие об эффективности выполнения ею основной функции – обеспечения целесообразного значения температуры, а значит, и плотности свежего заряда в момент его поступления в цилиндры двигателя) может быть использована степень повышения плотности НВ.

Как видно, штатный ОНВ значительно снижает температуру НВ на режимах, где она после компрессора достигает 150 и более градусов Цельсия.

Однако при этом наблюдаются значительные колебания температуры на различных режимах и существенное превышение уровня целесообразной температуры, которое в некоторых случаях достигает 29 °С.

Штатный ОНВ обеспечивает некоторое (до 3 °С) повышение температуры НВ в тех случаях, когда ее величина после компрессора ниже 80 °С. Максимальный размах колебания температуры НВ на входе в штатный ОНВ составил 88 °С, после него – 31 °С. Среднее значение коэффициента стабилизации температуры НВ составило практически 6 % (5,99 %).

Замена штатного ОНВ на опытную ССТНВ существенно изменила картину. Максимальное снижение температуры НВ на режимах больших нагрузок доходит до 73 °С. Колебания его температуры составляют только 3–4 °С, а отклонения от уровня целесообразной температуры не превышает 2 °С. Максимальный размах колебания температуры НВ после ССТНВ в процессе проведенных испытаний не превышал 5 °С. Среднее значение коэффициента стабилизации температуры НВ оказалось равным 1,48 %, т.е. в четыре раза меньше, чем при использовании штатного ОНВ. Степень повышения плотности в нем на режиме максимальной мощности составил 1,683.

Оценка возможности стабилизации температуры НВ на установленном целесообразном уровне при работе дизеля ЯМЗ-8424 на режимах малых нагрузок проводилась при частоте вращения коленчатого вала $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ и эффективной мощности 2 кВт.

Прежде всего, были проведены эксперименты на дизеле, оборудованном штатным ОНВ, затем двигатель останавливали и заменяли ОНВ на ССТНВ и проводили повторные испытания. Характерной особенностью этих экспериментов было то, что они проводились зимой в холодном боксе при температуре окружающего воздуха 8 °С.

Перед началом каждого эксперимента двигатель прогревали и выходили на стабилизированный тепловой режим, который в обоих случаях устанавливался при температуре охлаждающей жидкости на выходе ее из рубашки охлаждения, равной 74 °С. На этом режиме двигатель каждый раз работал по 30 мин. Полученные результаты приведены на рис. 7.

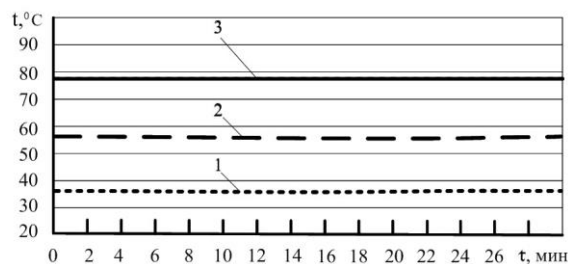


Рис. 7. Значения температуры наддувочного воздуха при работе дизеля ЯМЗ 8424 на режиме $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ и $N_e = 2 \text{ кВт}$:

1 – воздуха после компрессора; 2 – температура наддувочного воздуха после штатного охладителя наддувочного воздуха; 3 – температура наддувочного воздуха после стабилизатора его температуры

Обработка результатов показала, что колебания температуры НВ ходе каждого эксперимента практически отсутствовали. На входе в ОНВ и в ССТНВ температура составляла 37 °С.

При использовании штатного ОНВ прохождение через него охлаждающей жидкости привело к повышению температуры НВ до 56 °С. В результате степень отклонения его фактической температуры перед впускными органами от ее целесообразного значения составила 28,2 %. При использовании ССТНВ удалось получить температуру НВ перед его поступления в цилиндры двигателя равную 77 °С, т.е. обеспечить степень отклонения фактической температуры перед впускными органами от ее целесообразного значения 1,3 %.

Заключение

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что, используя предлагаемую в настоящей работе систему стабилизации температуры НВ с помощью вихревой трубы, можно обеспечить требуемую температуру свежего заряда и, следовательно, избежать негативных последствий, сопутствующих работе дизеля на всех нагрузочных режимах и на холостом ходу.

Список литературы:

1. Автомобильные двигатели с турбонаддувом [Текст] / Н.С. Ханин и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
2. Костин А.К. Эксплуатационные режимы транспортных дизелей [Текст] / А.К. Костин, Е.Б. Еркембаев. – Алма-Ата: Наука, 1988. – 192 с.
3. Патрахальцев Н.Н. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом [Текст] / Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 174 с.
4. Суслов А.Д. Вихревые аппараты [Текст] / А.Д. Суслов, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин и др. М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
5. Кукис В.С. Физико-математическая модель вихревых труб для регулирования температуры наддувочного воздуха / В.С. Кукис, Д.В. Шабалин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. – Вып. 1. – Новосибирск : ФГБОУ ВПО «СГУВТ». 2015. – С. 129–132.
6. Романов В.А. Повышение эффективности наддува за счет стабилизации температуры воздуха, поступающего в цилиндры дизеля, работающего на переменных режимах / В.А. Романов, Ю.Л. Попов // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков – 2007. – № 2. – С. 39–43.
7. Кукис В.С. Результаты сравнительных испытаний дизеля ЯМЗ-8424 при работе с различными системами воздействия на температуру наддувочного воздуха / В.С. Кукис, В.А. Романов, Ю.Л. Попов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 7. – Том 4. – Мелітополь, 2007. – С. 130–136.
8. Романов В.А. Оптимизация температуры наддувочного воздуха в дизеле ЯМЗ-8424 при работе на переменных режимах / В.А. Романов // Военная техника, вооружение и совре-

менные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения: IV Международный технологический конгресс (Омск 4-9 июня 2007 г.). Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – Ч. 1. – С. 342–346.
9. Кукис В.С. Новые пути повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания: монография / В.С. Кукис, В.А. Романов. – Челябинск, «Край РА», 2011. – 260 с.
10. Кукис В.С. Использование тепловых аккумуляторов энергии в поршневых двигателях внутреннего сгорания: монография / В.С. Кукис, В.А. Романов. – Челябинск, «Абрис», 2010. – 231 с.
11. Кукис В.С. Совершенствование поршневых двигателей внутреннего сгорания (монография) / В.С. Кукис, В.А. Романов. – Saarbruchen: Palmarium Academic publishing, , 2012. – 395 с.
12. Снижение токсичности автотракторных дизелей: Учебн. пособие по целевой подготовке специалистов ДВС [Текст] / А.Л. Новоселов и др. – Барнаул: Алт. ГТУ, 1996. – 122 с.

Bibliography (transliterated):

1. Motor-car turbo engines [Текст] / N.S. Khanin etc. – M.: Engineer, 1991. – 336 p.
2. Kostin A.K. The Operating modes of transport diesels [Текст] / A.K. Kostin, E.B. Erkembaev. Alma-Ata: Science, 1988. – 192 p.
3. Patrahatshev N.N. The crossing of internal combustion engines supercharged [Text] / N.N. Patrahatshev, A.A. Savastenko. – M.: Legion-Autodata, 2004. – 174. p.
4. Suslov A.D. Eddy vehicles [Text] / A.D. Suslov etc., Moscow: Mashinostroenie, 1985. – 256 p.
5. Kukis V. S. Physico-mathematical model of vortex tubes for controlling the temperature of the charge air / V. C. Kukis D. V. Shabalin // Scientific problems of transport of Siberia and the Far East. The scientific journal. – Vol. 1. – Novosibirsk : FGBOU VPO "SHOUT". 2015. – Pp. 129-132.
6. Romanov V. A. improving the efficiency boost due to the stabilization of the-temperature of air entering the cylinders of a diesel engine operating at variable modes / V. A. Romanov, Y. L. Popov // internal combustion Engines. Kharkiv – 2007. – No. 2. – Pp. 39-43.
7. Kukis V. S. The results of comparative tests of diesel engine ЯМЗ-8424 when working with different systems impact on the temperature of the charge air / V. S. Kukis, V. A. Romanov, Y. L. Popov // Pratsi Tavrika derzhavna Agrotehnika Academ. – The VIP. 7. – Volume 4. – Melitopol, 2007. – С. 130-136.
8. Romanov V. A. Optimization of the temperature Nadu exhibition of air in a diesel engine ЯМЗ-8424 when working on re-neously modes / V. A. Romanov // Military technology, SBI-ruzena and modern technology in creating products for military and civil purposes: IV international technological Congress (Omsk 4-9 June 2007). Omsk: Publishing house of Omsk state technical University, 2007. – Part 1. – P. 342-346.
9. Kukis V. S. New ways of improving the efficiency of internal combustion engines: monograph / V. S. Kukis, V. A. Romanov. - Chelyabinsk, "Region RA, 2011. - 260 p.
10. Kukis V. S. the Use of heat accumulate-ditch energy in piston internal shore deposits: monograph / V. S. Kukis, V. A. Romanov. - Chelyabinsk, Abris, 2010. - 231 p.
11. Kukis V. S. improved reciprocating internal combustion engines (monograph) / V. S. Kukis, V. A. Romanov. - Saarbruchen: Palmarium Academic publishing , 2012. – 395 p.
12. Reduced toxicity of automotive diesel engines: Training. manual for the target preparation of specialists DIC [Text] L.A. Novoselov, etc. - Barnaul: Alt. STU, 1996. - 122 p.

Поступила в редакцию 12.05.2015

Кукис Владимир Самойлович – д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры «Колесные, гусеничные машины и автомобили» Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск, Россия, e-mail: idem37@mail.ru, Тел. +7 912 895 0828.

Шабалин Денис Викторович – канд. техн. наук, докторант Военного учебно-научного центра Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, Россия, e-mail: shabalin_d79@mail.ru. Тел. +7 916 0602506.

Постол Юлия Александровна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидравлики и теплотехники Таврического государственного агротехнологического университета, Мелитополь, Украина, e-mail: postol-melitopol@yandex.ua. Тел. 097-580-30-01.

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НАДУВОЧНОГО ПОВІТРЯ ПРИ РОБОТІ ДИЗЕЛЯ НА РІЗНИХ РЕЖИМАХ НАВАНТАЖЕННЯ

В.С. Кукис, Д.В. Шабалин, Ю.О. Постол

У статті розглянуті можливості використання вихрової труби для забезпечення оптимальної температури наддувочного повітря при роботі поршневого ДВЗ на різних швидкісних та навантажувальних режимах. Наведено результати розрахунків вихрової труби для охолодження наддувочного повітря дизеля ЯМЗ-8424 та схеми системи стабілізації температури наддувочного повітря з використанням вихрової труби. Результати проілюстровані на прикладі цього двигуна.

THE ESTIMATION OF THE OPTIMAL TEMPERATURE CHARGE AIR WHEN THE DIESEL ENGINE AT VARIOUS LOAD MODES

V.S. Kukis, D.V. Shabalin, J.A. Postol

In the article the possibility of using a vortex tube to ensure optimum temp charge air when working piston engine at various speed and load mode-max. The results of calculation of the vortex tube for cooling charge air diesel ЯМЗ-8424 and diagram of the system for stabilizing the temperature of the charge air using vortex tube. The results are illustrated on the example of this engine.

Ключевые слова: поршневой двигатель внутреннего сгорания; наддувочный воздух; отработавшие газы; температура; вихревая труба.

Ключові слова: поршневий двигун внутрішнього згорання; наддувочне повітря; відпрацьовані гази; температура; вихрова труба.

Key words: piston internal combustion piston engine; charge air; exhaust gases; temperature; vortex tube.