

## СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ МУЛЬТИГРАФЕНА

*Р. В. Горшков*

*Ярославский государственный технический университет,  
Ярославль, Российская Федерация*

Рассматривается один из перспективных способов влияния на теплоотдачу в системе охлаждения деталей цилиндропоршневой группы – совершенствование физических свойств теплоносителей. Отмечено, что в последнее время развитие нанотехнологий позволило значительно увеличить коэффициент теплопроводности базовой охлаждающей жидкости, представляющей собой водный раствор этиленгликоля, за счёт его модификации высокотеплопроводными твёрдыми наночастицами мультиграфена. Получаемые при этом устойчивые стабильные двухфазные суспензии на основе базовой охлаждающей жидкости и наночастиц твёрдой фазы принято называть наножидкостями. Для оценки увеличения интенсивности теплоотдачи на границе «стенка – теплоноситель» и снижения температуры этой стенки при применении наножидкости в системе охлаждения двигателя (по сравнению с базовой жидкостью) была разработана экспериментальная установка, моделирующая течение теплоносителя в кольцевом канале полости охлаждения натурной гильзы цилиндра и условия, определяющие теплоотдачу в её полости охлаждения. В результате проведения серии экспериментов при одинаковых условиях испытаний было установлено значительное увеличение коэффициента теплоотдачи на границе «стенка гильзы – жидкость» за счёт применения наножидкости с высокотеплопроводными наночастицами мультиграфена (по сравнению с базовой жидкостью), что привело к снижению температур гильзы цилиндра. Снижение температур теплонагруженных деталей двигателей позволяет повысить надёжность работы перспективных и форсированных дизелей, увеличить степень их форсирования по среднему эффективному давлению с сохранением допустимого температурного уровня деталей цилиндропоршневой группы. Интенсификация теплоотдачи на границе «стенка – жидкость» способствует повышению тепловой эффективности различных теплообменных аппаратов в составе двигателя внутреннего сгорания, связанных с основным контуром системы охлаждения.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, интенсификация теплоотдачи, охлаждающая наножидкость, система охлаждения, наночастицы мультиграфена, экспериментальная установка, коэффициент теплоотдачи, температура гильзы цилиндра.

**Для цитирования:** Горшков Р. В. Снижение температуры гильзы цилиндра за счёт применения теплоносителя с высокотеплопроводными наночастицами мультиграфена // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 56–62. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-56-62.

### **Введение**

В связи с повышением степени форсирования судовых и транспортных поршневых двигателей внутреннего сгорания по среднему эффективному давлению значительно возрастают тепловые потоки на теплонагруженные детали камеры сгорания, что приводит к их высоким температурам. Известно, что перспективные высокооборотные форсированные судовые дизели могут иметь значения среднего эффективного давления  $p_e = 3,5\text{--}4$  МПа [1]. При таких значениях  $p_e$  температуры головки, поршня и гильзы цилиндра двигателя могут достигать предельных значений [2]. Для обеспечения работоспособности и повышения надёжности таких двигателей приобретает важное значение повышение интенсивности конвективного теплообмена в их системах охлаждения (СО) и снижение высоких температур деталей цилиндропоршневой группы.

Одним из перспективных способов влияния на теплоотдачу в СО является совершенствование физических свойств теплоносителей, представляющих собой в основном водные растворы этиленгликоля (ВЭГ) и специально подготовленную воду. Улучшение физических свойств охлаждающей жидкости (ОЖ) за счёт применения в её составе поверхностно-активных веществ приводит к интенсификации теплоотдачи в СО [3]. А развитие нанотехнологий в последнее

время позволило значительно увеличить коэффициент теплопроводности  $\lambda$  ВЭГ (0,54 Вт/м·К) за счёт его модификации высокотеплопроводными твёрдыми наночастицами мультиграфена (МГ). Так, диспергирование частиц МГ в ВЭГ до концентрации  $\phi_m = 0,75$  % привело к повышению на 60 % коэффициента  $\lambda$  охлаждающей наножидкости (0,85 Вт/м·К), что положительно повлияло на теплоотдачу на границе «горячая стенка – жидкость» [4].

В результате исследования конвективного теплообмена при охлаждении таким теплоносителем нагретой стенки испытательной секции с горизонтальной цилиндрической трубой в условиях стационарного теплообмена было установлено, что коэффициент теплоотдачи увеличился на 30 % по сравнению с ВЭГ при одинаковых режимных условиях испытания, характерных работе СО двигателя (температура и скорость циркуляции ОЖ). Проведённая серия экспериментальных исследований особенностей теплообмена с двухфазными суспензиями «жидкость – твёрдые частицы» позволила получить критериальное уравнение, которое может быть основой для расчёта теплообмена в СО судовых дизелей при применении таких теплоносителей с увеличенным коэффициентом теплопроводности:

$$Nu_f = 0,03\lambda^{1,26} Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43}. \quad (1)$$

Интенсивность теплоотдачи при циркуляции наножидкости в полостях охлаждения двигателя, которые характеризуются сложными формами, может отличаться по сравнению с теплоотдачей в условиях цилиндрической трубы. Поэтому уравнение (1) необходимо уточнить при соблюдении не только режимных характеристик, но и конструктивных параметров СО, таких как схема омывания нагретой стенки, геометрические особенности полости охлаждения.

### Методы и материалы исследования

Для решения поставленной задачи была создана экспериментальная установка, моделирующая течение теплоносителя в кольцевом канале СО гильзы цилиндра и условия, определяющие теплоотдачу в её полости охлаждения. Для обеспечения возможности переноса результатов эксперимента, полученных на модели, на реальный двигатель внутреннего сгорания при создании этой установки были соблюдены следующие условия подобия: геометрия проточной части, схема и условия подвода/отвода ОЖ, температурный режим охлаждения, поля скоростей потока жидкости, величины удельных тепловых потоков. Таким образом, была разработана установка (рис. 1), испытательная секция которой представляет собой натурную гильзу цилиндра двигателя 4ЧН10,5/12,8, соответствующего экологическим нормам Евро 5 и имеющего уровень среднего эффективного давления  $p_e = 2,3$  МПа.

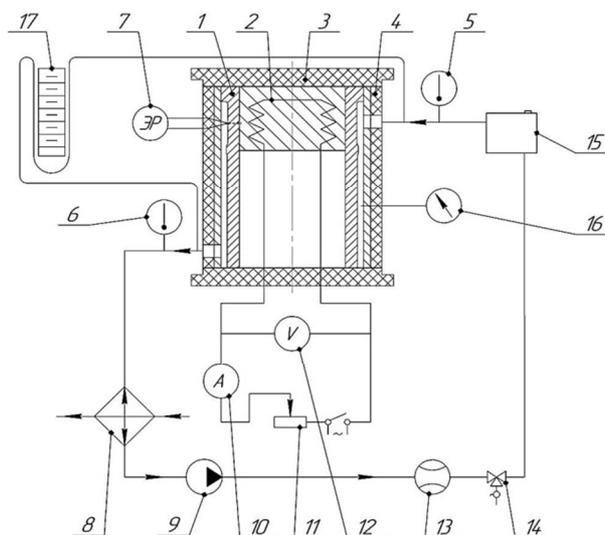


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с гильзой цилиндра:

- 1 – гильза; 2 – электронагреватель; 3 – крышка; 4 – теплоизоляция; 5, 6 – ртутные термометры;
- 7 – электронный регистратор; 8 – теплообменный аппарат; 9 – циркуляционный насос с электродвигателем;
- 10 – амперметр; 11 – реостат; 12 – вольтметр; 13 – расходомер; 14 – клапан со сливным краном;
- 15 – расширительный бак; 16 – манометр; 17 – дифференциальный манометр

Рабочая внутренняя поверхность гильзы цилиндра 1 нагревалась электронагревательным элементом 2, установленным в верхней зоне гильзы цилиндра, где теплоотдача в полость охлаждения осуществляется на режиме вынужденной конвекции, а тепловые потоки максимальны. Нагреватель обеспечивает требуемую форму теплового потока (рис. 2), принятую согласно источнику [5].

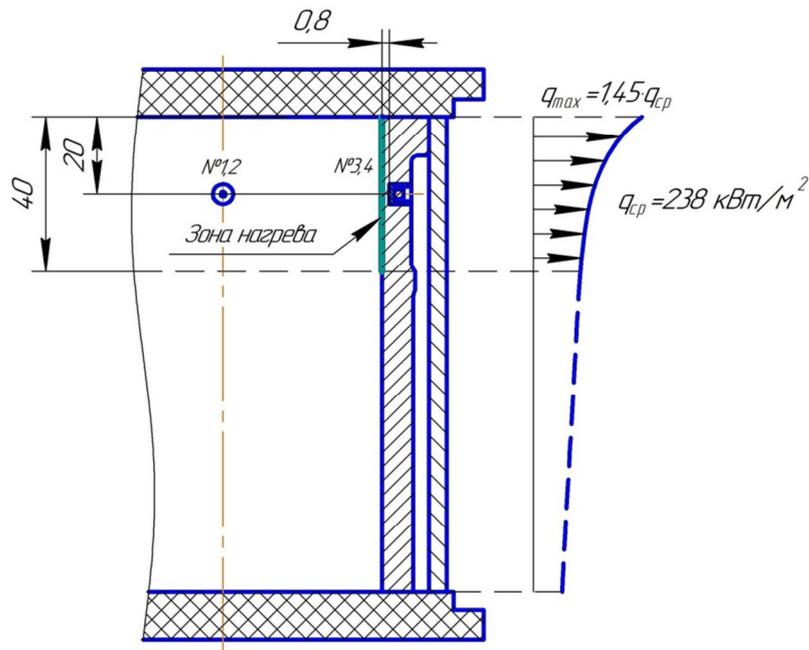


Рис. 2. Схема испытательной секции с гильзой цилиндра двигателя 4ЧН10,5/12,8

На номинальном режиме работы двигателя 4ЧН10,5/12,8 ( $N_e = 140$  кВт) на единицу площади нагреваемой поверхности одной гильзы (рис. 2) приходится средний удельный тепловой поток  $238 \text{ кВт/м}^2$ , что подразумевает мощность нагревательного элемента, равную  $1,5$  кВт.

Для контроля температур внутренней и наружной стенки гильзы на одном уровне установлены 4 хромель-копелевые термопары с нормирующим преобразователем, обеспечивающим точность до  $0,1$  °С. Электрическую мощность нагревателя контролировали по показаниям амперметра и вольтметра, встроенных в лабораторный трансформатор, что позволило обеспечить подвод требуемого теплового потока через стенку гильзы к ОЖ. Контроль количества теплоты, поступившей к теплоносителю, осуществлялся с использованием двух ртутных термометров с точностью  $0,1$  °С, установленных на входе потока ОЖ в полость охлаждения втулки и выходе из неё. Расход ОЖ в контуре гильзы, соответствующий номинальному режиму работы двигателя ( $0,48$  кг/с), задавался посредством циркуляционного насоса центробежного типа и контролировался расходомером, имеющим предел допускаемой относительной погрешности  $\pm 1$  %. Рассеивание поступившей в ОЖ теплоты осуществлялось на выходе из секции за счёт теплообменного аппарата типа «жидкость – жидкость». Для повышения точности результатов эксперимента были тщательно теплоизолированы как испытательная секция с гильзой цилиндра, так и трубопроводы контура СО.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: в соответствии с номинальным режимом работы двигателя устанавливались расход теплоносителя, его температура на входе ( $90$  °С) и давление, а также тепловая нагрузка. После наступления установившегося стационарного режима теплообмена, который контролировался постоянством температур стенки и жидкости в течение не менее  $30$  мин, снимались показания приборов и определялся средний по поверхности теплообмена коэффициент теплоотдачи по уравнению [6]

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{G_m C_p (t_f'' - t_f')}{F (\bar{t}_w - \bar{t}_f)},$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $G_m$  – массовый расход ОЖ, кг/с;  $C_p$  – удельная массовая теплоёмкость теплоносителя, Дж/(кг·К);  $t'_f$  и  $t''_f$  – температуры ОЖ на входе в испытательную секцию и выходе из неё соответственно, °С;  $\bar{t}_w$  и  $\bar{t}_f$  – средние температуры поверхности теплообмена (стенки) и жидкости соответственно, °С;  $F$  – площадь теплоотдающей поверхности, м<sup>2</sup>.

Для того чтобы оценить увеличение коэффициента теплоотдачи на границе «стенка – ОЖ» при использовании двухфазного теплоносителя («жидкость – твёрдые наночастицы МГ») и, соответственно, снижение температуры стенки гильзы по сравнению с базовой жидкостью, проводилась серия экспериментов при одинаковых условиях испытаний. Все измерения температур при работе каждого теплоносителя повторялись не менее 7 раз, полученные значения коэффициента  $\alpha$  усреднялись по поверхности стенки гильзы, а опытные точки имели разброс, не превышающий  $\pm 5\%$ .

### Результаты и обсуждение

При обработке экспериментальных данных было установлено, что коэффициент теплоотдачи от горячей стенки гильзы к наножидкости увеличился на 40 % по сравнению с результатами для ВЭГ. Такое увеличение интенсивности теплоотдачи оказалось более значительным по сравнению с результатом, полученным при течении наножидкости в испытательной секции с горизонтальной трубой. Это может быть связано с уменьшением термического сопротивления пограничного слоя за счёт повышения его коэффициента теплопроводности [7–9]. Частые столкновения твёрдых высокотеплопроводных наночастиц МГ с нагретыми стенками кольцевой полости охлаждения гильзы возмущают пограничный слой, что может способствовать ускоренному переносу тепловой энергии в ядро потока [10, 11].

В соответствии с возросшим коэффициентом теплоотдачи при использовании в качестве теплоносителя СО наножидкости с увеличенным коэффициентом теплопроводности снизилась и средняя температура стенки гильзы: со стороны ОЖ ( $t_{w2\text{ ср}}$ ) – на 8 °С, со стороны нагревателя ( $t_{w1\text{ ср}}$ ) – на 7 °С (табл.).

### Результаты обработки экспериментальных данных

Тип ОЖ	Средняя температура ОЖ, °С	Коэффициент теплопроводности ОЖ $\lambda$ , Вт/м·К	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{ср}}$ , Вт/м·К	Средняя температура $t_{w1\text{ ср}}$ , °С	Средняя температура $t_{w2\text{ ср}}$ , °С
ВЭГ	90	0,54	8 450	145,7	118,2
ВЭГ + 0,75 МГ	90	0,87	11 856	138,6	110,1

Увеличение интенсивности теплоотдачи в ОЖ позволяет повысить надёжность работы двигателя за счёт снижения температуры стенки гильзы на номинальном режиме работы, что имеет важное значение для перспективных и форсированных дизелей, для которых характерны близкие к критическим температуры гильзы, поршня и головки [2]. Необходимо отметить, что вместе с тем должны снизиться и температуры головки блока цилиндров при её охлаждении теплоносителем с увеличенным коэффициентом теплопроводности.

Увеличение удельной мощности двигателя за счёт повышения среднего эффективного давления  $p_e$  лимитируется и ростом температур теплонапряженных деталей. В экспериментальной работе [12] сообщается, что при форсировании дизеля 8ЧН13/14 на 10 % рост температуры гильзы в зоне остановки первого компрессионного кольца составил 4 %. В нашем случае повышение интенсивности теплоотдачи в СО привело к снижению средней температуры стенки гильзы на 7 %, что, по-видимому, позволит увеличить среднее эффективное давление на 10–15 % при циркуляции в контуре охлаждения наножидкости.

В судовых дизелях актуальна задача повышения тепловой эффективности охладителей масла, наддувочного воздуха и ОЖ контура СО двигателя. При использовании в качестве теплоносителя СО двигателей охлаждающей наножидкости последняя будет протекать не только в полостях охлаждения, но и в указанных теплообменных аппаратах, интенсивность теплообмена в которых со стороны ОЖ должна увеличиться на 30–40 % за счёт повышенного коэффициента теплопроводности теплоносителя. Это приведёт при прочих равных условиях к некоторому

увеличению среднего коэффициента теплопередачи  $\bar{k}$ , что способно обеспечить повышение коэффициента тепловой эффективности [13]:

$$\eta = \frac{\bar{k}\Delta\bar{T}F}{W_{\min}\Delta T_{\max}},$$

где  $W_{\min}$  – минимальный тепловой эквивалент;  $\Delta T_{\max}$  – максимальный температурный напор;  $\Delta\bar{T}$  – средний температурный напор.

### Заключение

Повышение на 40 % интенсивности теплоотдачи от горячей стенки гильзы цилиндра двигателя за счёт применения теплоносителя «жидкость – твёрдые наночастицы МГ» с увеличенным коэффициентом теплопроводности привело к снижению средних температур гильзы на 7–8 °С. Это позволяет, с одной стороны, повысить надёжность работы перспективных и форсированных дизелей, а с другой – увеличить степень их форсирования по среднему эффективному давлению с сохранением допустимого температурного уровня деталей цилиндропоршневой группы.

Интенсификация теплоотдачи на границе «стенка – жидкость» способствует повышению тепловой эффективности различных теплообменных аппаратов в составе двигателя внутреннего сгорания, связанных с основным контуром системы охлаждения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков В. А. Научные основы повышения эксплуатационных показателей высокооборотных судовых ДВС совершенствованием их охлаждения: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2012. 422 с.
2. Безюков О. К. Охлаждение транспортных двигателей внутреннего сгорания: моногр. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. 272 с.
3. Безюков О. К., Жуков В. А. Охлаждающие жидкости транспортных ДВС. СПб.: Изд-во СПГУВК, 2009. 263 с.
4. Жаров А. В., Горшков Р. В., Савинский Н. Г. Теплоноситель с наночастицами мультиграфена для интенсификации процессов теплообмена в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания // Тр. НАМИ. 2018. № 4 (275). С. 48–56.
5. Стефановский Б. С. Теплонапряженность деталей быстроходных поршневых двигателей. М.: Энергомашиностроение, 1978. 128 с.
6. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.
7. Sadeghinezhad E., Togun H., Mehrali M., Sadeghi Nejad P., Tahan Latibari S., Abdulrazzaq T., Kazi S. N., Metselaar H. An experimental and numerical investigation of heat transfer enhancement for graphene nanoplatelets nanofluids in turbulent flow conditions // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 81. P. 41–51.
8. Sadeghinezhad E., Mehrali M., Latibari S. T., Kazi S. N., Oon S., Metselaar H. Experimental Investigation of Convective Heat Transfer Using Graphene Nanoplatelet Based Nanofluids under Turbulent Flow Conditions // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2014. Vol. 53. P. 12455–12465.
9. Arzani H. K., Amiri A., Rozali S. B., Kazi S. N., Badarudin A. Toward improved heat transfer performance of annular heat exchangers with water/ethylene glycol-based nanofluids containing graphene nanoplatelets // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2016. Vol. 126. P. 1427–1436.
10. Akhavan-Zanjani H., Saffar-Avval M., Mansourkiaei M., Ahadi M., Sharif F. Turbulent Convective Heat Transfer and Pressure Drop of Graphene–Water Nanofluid Flowing Inside a Horizontal Circular Tube // Journal of Dispersion Science and Technology. 2014. Vol. 35. P. 1230–1240.
11. Mehrali M., Sadeghinezhad E., Rosen M. A., Akhiani A. R., Latibari S. T., Metselaar H. Heat transfer and entropy generation for laminar forced convection flow of graphene nanoplatelets nanofluids in a horizontal tube // International Communications in Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 66. P. 23–31.
12. Хоссам Элдин Салех Абдель Гхани Хассан. Повышение удельной мощности двигателей внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 139 с.
13. Жуков В. А., Николенко Е. Н. Повышение тепло-гидравлической эффективности теплообменных аппаратов двигателей внутреннего сгорания // Двигатели внутреннего сгорания. 2010. № 1. С. 102–105.

Статья поступила в редакцию 05.07.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Горшков Роман Владимирович – Россия, 150023, Ярославль; Ярославский государственный технический университет; аспирант кафедры двигателей внутреннего сгорания; RZiori@yandex.ru.



REDUCING TEMPERATURE OF CYLINDER LINER DUE  
TO APPLICATION OF HEAT CARRIER  
WITH HIGH-CONDUCTIVE MULTIGRAPHENE NANOPARTICLES

R. V. Gorshkov

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers one of the promising ways to influence the heat transfer in the cooling system of a cylinder-piston group, which is to improve physical properties of coolants. It has been stated that the development of nanotechnology has recently made it possible to significantly increase the thermal conductivity coefficient of base coolant - an aqueous solution of ethylene glycol due to its modification by high-conductive solid multigraphene nanoparticles. The resulting stable two-phase suspensions based on the base coolant and particles of the solid phase are called nanofluids. To evaluate the increase in heat transfer at the “wall-coolant” boundary and the decrease of temperature of this wall when applying nanofluid in the engine cooling system as compared to the base fluid, an experimental setup was developed for simulating the flow of coolant in the annular channel of the cooling cavity of the cylinder liner and the conditions determining the heat transfer in its cooling cavity. As a result of conducting a series of experiments under similar test conditions, a significant increase in the heat transfer coefficient was found at the boundary of the “liner wall-liquid” due to the use of nanofluids with highly heat-conducting multigraphene nanoparticles compared to the base fluid. This led to a decrease in the temperature of the cylinder liner. Reducing the temperature of the heat-loaded engine parts allows to increase the reliability of the promising and forced diesel engines, to increase the degree of boosting at the average effective pressure while maintaining the permissible temperature level of the parts of the cylinder-piston group. Intensification of heat transfer at the “wall-liquid” interface contributes to an increase in the thermal efficiency of various heat exchangers as part of an internal combustion engine associated with the main circuit of the cooling system.

**Key words:** internal combustion engine, heat transfer intensification, cooling nanofluid, cooling system, multigraphene nanoparticles, experimental setup, heat transfer coefficient, cylinder liner temperature.

**For citation:** Gorshkov R. V. Reducing temperature of cylinder liner due to application of heat carrier with high-conductive multigraphene nanoparticles. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;3:56-62. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-56-62.

REFERENCES

1. Zhukov V. A. *Nauchnye osnovy povysheniya ekspluatatsionnykh pokazatelej vysokooborotnykh sudovykh DVS sovershenstvovaniem ih ohlazhdeniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Scientific basis for improving operational performance of high-speed marine ICE by improving their cooling: diss. ... doct. tech. sci.]. Saint-Petersburg, 2012. 422 p.
2. Bezyukov O. K. *Ohlazhdenie transportnykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya: monografiya* [Cooling transport internal combustion engines: monograph]. Saint-Petersburg, Izd-vo GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2015. 272 p.
3. Bezyukov O. K., Zhukov V. A. *Ohlazhdayushchie zhidkosti transportnykh DVS* [Coolants for transport ICE]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPGUVK, 2009. 263 p.
4. Zharov A. V., Gorshkov R. V., Savinskij N. G. *Teplonositel' s nanochasticami mul'tigrafena dlya intensifikatsii processov teploobmena v sistemah ohlazhdeniya dvigatelej vnutrennego sgoraniya* [Heat carrier with multigraphene nanoparticles for intensification of heat transfer processes in cooling systems of internal combustion engines]. *Trudy NAMI*, 2018, no. 4 (275), pp. 48-56.

5. Stefanovskij B. S. *Teplonapryazhennost' detalej bystrohodnyh porshnevnyh dvigatelej* [Heat intensity of parts of high-speed piston engines]. Moscow, Energomashinostroenie Publ., 1978. 128 p.
6. Miheev M. A., Miheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer principles]. Moscow, Energiya Publ., 1977. 344 p.
7. Sadeghinezhad E., Togun H., Mehrali M., Sadeghi Nejad P., Tahan Latibari S., Abdulrazzaq T., Kazi S. N., Metselaar H. An experimental and numerical investigation of heat transfer enhancement for graphene nanoplatelets nanofluids in turbulent flow conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 81, pp. 41-51.
8. Sadeghinezhad E., Mehrali M., Latibari S. T., Kazi S. N., Oon S., Metselaar H. Experimental Investigation of Convective Heat Transfer Using Graphene Nanoplatelet Based Nanofluids under Turbulent Flow Conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, vol. 53, pp. 12455-12465.
9. Arzani H. K., Amiri A., Rozali S. B., Kazi S. N., Badarudin A. Toward improved heat transfer performance of annular heat exchangers with water/ethylene glycol-based nanofluids containing graphene nanoplatelets. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2016, vol. 126, pp. 1427-1436.
10. Akhavan-Zanjani H., Saffar-Avval M., Mansourkiaei M., Ahadi M., Sharif F. Turbulent Convective Heat Transfer and Pressure Drop of Graphene–Water Nanofluid Flowing Inside a Horizontal Circular Tube. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2014, vol. 35, pp. 1230-1240.
11. Mehrali M., Sadeghinezhad E., Rosen M. A., Akhiani A. R., Latibari S. T., Metselaar H. Heat transfer and entropy generation for laminar forced convection flow of graphene nanoplatelets nanofluids in a horizontal tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 66, pp. 23-31.
12. Hossam Eldin Salekh Abdel' Ghani Hassan. *Povyshenie udel'noj moshchnosti dvigatelej vnutrennego sgoraniya: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Increasing specific power of internal combustion engines: diss. ... cand. tech. sci.]. Moscow, 2004. 139 p.
13. Zhukov V. A., Nikolenko E. N. *Povyshenie teplo-gidravlicheskoj effektivnosti teploobmennyh apparatov dvigatelej vnutrennego sgoraniya* [Improving heat-hydraulic efficiency of heat exchangers of internal combustion engines]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, 2010, no. 1, pp. 102-105.

The article submitted to the editors 05.07.2019

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Gorshkov Roman Vladimirovich** – Russia, 150023, Yaroslavl; Yaroslavl State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Internal Combustion Engines; RZiori@yandex.ru.

