

УДК 621.436

Е. М. ТАУСЕНЕВ, К. В. КОХ, А. Е. СВИСТУЛА

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
Барнаул, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТОПЛИВОПРОВОДОВ ДИЗЕЛЯ

Показана значительная доля нагрева топливопроводов дизеля от горячего воздуха моторного отсека. Описана оценочная методика сравнительных испытаний теплоизоляционных материалов путем сравнения темпа охлаждения воды, заключенной в сосуд, покрытый теплоизоляцией в различных вариантах. Исследованы теплоизоляционные материалы с целью применения их на топливопроводах в моторном отсеке сельскохозяйственного трактора. Предложена технология теплоизоляции топливопроводов. В результате ожидается уменьшение подогрева топлива от горячего воздуха моторного отсека и улучшение показателей работы дизеля в эксплуатации.

Ключевые слова: дизель, топливная система дизеля, моторный отсек, температура дизельного топлива, температура воздуха в моторном отсеке, теплоизоляция топливопроводов

Введение

Авторы данной статьи намерены использовать теплоизоляцию для топливопроводов дизеля, поскольку снижение подогрева топлива является актуальной задачей [1]. В ранее проведенном исследовании доказано, что в процессе эксплуатации дизеля ТМЗ 8481.10 в моторном отсеке трактора К-744Р2 происходит нагрев топливопроводов, преимущественно, за счет горячего воздуха моторного отсека. При этом известно, что искусственный подогрев стенок топливопроводов или топлива приводит к ухудшению впрыска и показателей работы дизеля [2].

Для стальных ТНД (топливопроводов низкого давления) на дизеле ТМЗ 8481.10 имеются следующие размеры: диаметры $\text{Ø}10 \times \text{Ø}8$ мм, протяженность по моторному отсеку около 5 м. Температура стенок ТНД равна 61°C , из них на 23°C они подогреваются от горячего воздуха моторного отсека; на остальные факторы, исключая температуру атмосферы, приходится 13°C [2]. Большая протяженность ТНД, нагретые стенки могут обеспечить заметный нагрев топлива. Данных о степени нагрева топлива пока нет.

На дизеле ТМЗ 8481.10 применяются ТВД (топливопроводы высокого давления) с диаметрами $\text{Ø}7 \times \text{Ø}2$ мм и длиной 0,9 м. Для ТВД характерно то, что топливо находится в узком канале, циркуляция топлива отсутствует, порция топлива, поданная насосом, постепенно продвигается и прогревается по мере продвижения к форсунке.

Подогрев топлива в дизелях также происходит в форсунке и распылителе, в топливных фильтрах и ТНВД (топливном насосе высокого давления).

Температура стенок ТВД равна 70°C , из них на 24°C они подогреваются от горячего воздуха моторного отсека; на остальные факторы, исключая температуру атмосферы, приходится 21°C . Остальными факторами подогрева топливопроводов являются: подогрев топлива от сжатия, теплопередача и лучистый теплообмен с другими деталями двигателя. Вклад атмосферы в нагрев ТНД и ТВД составляет 25°C [2].

На сегодняшний день в дизелестроении используются некоторые мероприятия для снижения подогрева топлива [1], но среди них не рассматривается возможность их теплоизоляции.

Целью исследования является выбор теплоизоляционных материалов (далее материалов) для топливопроводов тракторного дизеля. Теплоизоляция должна снижать подогрев топлива от воздуха моторного отсека и от лучистого теплообмена с другими деталями двигателя.

Задачи исследования следующие: сделать предварительный выбор материалов; посредством эксперимента выбрать наиболее приемлемый вариант с учетом теплоизолирующих, эксплуатационных и технологических свойств.

Объект и методика

В качестве объекта исследования выступают теплоизоляционные материалы применительно к топливопроводам дизеля.

Предварительный выбор материалов выполнялся по коэффициенту λ теплопроводности, заявленному производителем материала.

Экспериментальная оценка теплоизолирующей

способности материалов проведена путем сравнения темпа охлаждения воды, заключенной в сосуд, покрытый теплоизоляцией в различных вариантах. Эта методика позволила, не определяя фактические коэффициенты λ исследуемых образцов материалов, выяснить какой из них имеет лучшую теплоизолирующую способность. Для реализации методики потребуется несложное лабораторное оборудование и средства измерений, при этом сокращается трудоемкость получения окончательного результата.

В представленном исследовании использовались стеклянные цилиндрические сосуды из бесцветного прозрачного силикатного стекла с металлическими закручивающимися крышками.

В ходе исследования измерялась температура воды в поверхностном слое через интервалы времени. Время и температура замерялись с погрешностями ± 1 с и ± 1 °С, соответственно.

Результаты исследований

С целью предварительного выбора материалов выполнен обзор информации о современных теплоизоляционных материалах. Особое внимание обращено на ЖТПП (жидкое теплоизоляционное полимерное покрытие). Этот материал, согласно данным большинства производителей, имеет наименьший коэффициент λ из всех существующих. Данный тип теплоизоляции в последнее время широко рекламирует, производится и продается в России под марками «Корунд», «Астратек», «Альфатек», «Броня», «RE-THERM» и др.

Однако в ходе консультаций, специалистами, занимающимися энергоаудитом и теплоизоляцией зданий и сооружений, высказано мнение о том, что данный тип теплоизоляции не обеспечивает заявленной эффективности, т. е. фактический коэффициент λ , предположительно, не соответствует заявленному.

Согласно данным производителя, рассматриваемый далее образец ЖТПП имеет коэффициент λ равный $0,023 \pm 10\%$ Вт/(м·К) при 20 ± 5 °С, определенный по ГОСТ 7076-99, имеет температуру эксплуатации в рабочем режиме до $+200$ °С, хорошо подходит для поверхностей любой формы и составов, эксплуатируемых в атмосферных условиях, и также обладает другими положительными качествами.

Авторы статьи намеренно не называют производителя исследованного материала и не ссылаются на его документацию, а также не ссылаются на материалы других производителей с целью избежать идентификации производителя исследованного образца. Образец материала приобретен у официального представителя фирмы-производителя, хранился

и использовался в соответствии с рекомендациями производителя.

Материал данного вида, независимо от его производителя, позиционируется на рынке как теплоизоляция последнего поколения с широкой областью применения, благодаря своим уникальным свойствам. Согласно данным большинства производителей, материал оказывает ощутимый эффект энергосбережения уже при толщине слоя 10^{-3} м.

Состав рассматриваемого образца ЖТПП следующий: полимерная дисперсия (акриловый полимер на водной основе), функциональные наполнители, ингибирующие, пигментирующие, стабилизирующие, модифицирующие добавки. Количество компонентов на упаковке не указывается.

Анализ информации интернет-сайтов продавцов или производителей вышеуказанных марок жидкой теплоизоляции показывает, что в качестве основного компонента (функционального наполнителя) используют керамические силикатные тонкостенные микросферы в количестве 75 - 85 %. Остальной объем занимают вспомогательные компоненты материала. Наличие микросфер значительно минимизирует теплообмен в связи с их низкой теплопроводностью.

Керамические силикатные тонкостенные вакуумированные микросферы – продукт сжигания углей на энергетическом объекте, размеры таких микросфер – до $5 \cdot 10^{-4}$ м, стенки микросфер – сплошные непористые. Газовая фаза внутри микросфер состоит, в основном, из азота, кислорода и оксида углерода и является продуктами сгорания углей. Теплопроводность микросферы зависит от диаметра, толщины и теплопроводности стенок микросферы, от степени разряжения внутри микросферы. Для керамической микросферы по разным данным коэффициент λ может составлять от 0,06 до 0,00083 Вт/(м·°С) [3, 4].

Коэффициент λ газовой фазы микросферы при нормальных условиях (без разрежения) приближенно равен коэффициенту λ воздуха при нормальных условиях и составляет 0,023 - 0,026 Вт/(м·К). Это объясняется тем, что состав газовой фазы схож с составом воздуха.

Заявленный коэффициент λ для ЖТПП одних производителей составляет от 0,023 до 0,1 Вт/(м·К) при 20°С, полученный по ГОСТ 7076-99 или расчетным путем.

Диапазон оценки значения λ для ЖТПП по результатам независимых научных исследований составляет 0,03 – 0,05 Вт/(м·К) [5].

В источнике [5] высказывается предположение о том, что значительный диапазон коэффициента λ для ЖТПП может быть связан с различием методик его определения.

Не зависимо от методики, теплопроводность ЖТПП будет зависеть от функционального наполнителя в объёме жидкой теплоизоляции, т.е. микросфер и их теплопроводности, поскольку остальные компоненты материала имеют заведомо большую теплопроводность. Анализируя диапазон изменения заявленного коэффициента λ для ЖТПП, можно сделать вывод о том, что производители используют микросферы, различающиеся по теплопроводности, и (или) используют различное содержание микросфер в материале.

Имеются исследования [5], подтверждающие влияние газовой среды, концентрации микросфер и их размеров на λ для ЖТПП. При толщине покрытия $8,8 \cdot 10^{-4}$ м и температуре 60°C : для покрытия с вакуумированными микросферами λ составил $0,028$ Вт/(м·К), для покрытия с газонаполненными микросферами λ равен $0,140$ Вт/(м·К). Концентрация микросфер 85 % - максимально возможная, при этом обеспечивается необходимая адгезия и максимальная теплоизолирующая способность. Влияние связующих материалов на λ несущественно. При исследовании теплоизолирующей способности в зависимости от диаметра микросфер наилучший результат в диапазоне диаметров от 0 до $2 \cdot 10^{-4}$ м получен при значении $7 \cdot 10^{-5}$ м. [5].

Наряду с ЖТПП для представленного исследования выбраны и другие образцы современных эффективных материалов. Например, исследовался вспененный полиэтилен, имеющий значение λ в пределах $0,031-0,037$ Вт/(м·К) [6], пенополиуретан, имеющий λ равный $0,022-0,032$ Вт/(м·К) в зависимости от технологии производства [7].

С учетом вышесказанного, нельзя говорить о фиксированном значении λ для материалов и делать выбор материала только на основании данных производителя. Для сравнения теплоизолирующей способности материалов проведен эксперимент по указанной выше методике.

Исследовалось 10 вариантов теплоизоляции сосуда: №1 – без теплоизоляции; №2 – слой ЖТПП толщиной $1 \cdot 10^{-3}$ м; №3 – слой ЖТПП толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м; №4 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м с фольгой, обращенной во внутрь; №5 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м и с алюминиевой фольги снаружи и внутри; №6 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м; №7 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м и с алюминиевой фольгой снаружи; №8 – самоклеящаяся алюминиевая фольга; №9 – один слой алкидного лака с алюминиевой пудрой; №10 – слой пенополиуретана толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м, полученный методом заливки, с двумя слоями фольги снаружи и

внутри; №11 – один слой эмали глянцевой белой общего назначения; №12 – один слой алкидного лака с алюминиевой пудрой и один слой эмали глянцевой белой общего назначения. Во всех случаях крышки без теплоизоляции.

Толщина основного теплоизоляционного материала, равная во всех вариантах $8 \cdot 10^{-3}$ м, принята исходя из наличия у авторов вспененного полиэтилена указанной толщины.

Полированная фольга, эмаль с белой пигментацией, алкидный лак с алюминиевой пудрой, благодаря своим свойствам [8, 9, 10], использовались как отражающий слой, что уменьшает лучистый теплообмен.

Коэффициент теплового отражения фольги не менее 0,97; у эмали с белой пигментацией общего назначения – 0,75, наилучшее отражение достигается при толщине эмали не менее 10^{-4} м. При пожелтении отражающая способность эмали падает, поэтому рекомендуется применять белые акриловые эмали, обладающие высокой светостойкостью [9]. Коэффициент отражения эмали с алюминиевой пудрой равен 0,55. Последняя, часто применяется для окраски бензиновых резервуаров с целью уменьшения потерь за счет испарения [11]. Остальные исследованные материалы уменьшают теплопередачу.

Для получения светоотражающих лакокрасочных покрытий с большим коэффициентом отражения выпускаются специальные белые светотехнические эмали с коэффициентом отражения 0,85. Они предназначаются для покрытия светильников с люминесцентными лампами и лампами накаливания [11]. Результаты экспериментального исследования материалов сведены в таблицу 1.

Анализ таблицы производим по значению параметра m , который характеризует скорость охлаждения воды в сосуде и является безразмерной величиной. Чем больше значение m , тем хуже теплоизолирующее свойство. Темп охлаждения m рассчитывается по формуле

$$m = -(\ln T_H - \ln T_K) / (\ln t_H - \ln t_K),$$

где m – темп охлаждения; T_H – избыточная температура в начале охлаждения, $^\circ\text{C}$; T_K – избыточная температура в конце охлаждения, $^\circ\text{C}$; t_H – время в начале охлаждения, с; t_K – время в конце охлаждения, с.

Избыточная температура рассчитывается как разность между температурами T_B воды в сосуде и T_O воздуха в помещении.

Из таблицы видно, что вариант №3 с ЖТПП имеет теплоизолирующее свойство хуже, чем вариант №6 со вспененным полиэтиленом при прочих

Результаты экспериментального исследования

$T_0, ^\circ\text{C}$	22,0 ⁺¹											
Время, $t, 10^3 \text{ c}$	Температура воды в сосуде, $T_в, ^\circ\text{C}$											
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12
0	94,5											
1,2	76,0	78,5	82,0	85	86	83	84,5	83	80	87	79	79,5
1,8	69,0	73,0	77,0	81	82	78	80,5	78	74	84	72,5	73
2,4	62,0	67,0	72,0	76	78,5	74	77	73	68,5	80,5	68	67,5
3,3	56,0	60,5	66,5	71,5	74	68,5	72	67,5	62	76,5	61,5	61
4,2	51,0	55,5	62,0	67	70	63,5	67,5	62,5	56	74	56	55
5,1	46,5	51,0	57,5	64	67	59,5	64	58,5	53	71	50	49
6,0	43,0	47,5	53,0	61	63,5	56	61,5	54,5	47,5	67	47	46,5
Темп охлажде- ния m	0,142	0,120	0,097	0,071	0,064	0,087	0,069	0,092	0,120	0,055	0,122	0,125

равных условиях. В ходе исследования выявлено, что ЖТПП при попадании воды размягчается и может быть легко разрушено, что отрицательно повлияет на эксплуатацию такого покрытия; после нанесения каждого слоя толщиной $5 \cdot 10^{-4}$ м необходима сушка в течение 24 ч. Требуется значительное время для получения ЖТПП окончательной толщины, что является отрицательным технологическим свойством.

Среди материалов основного теплоизолирующего слоя лучший результат получен на образце с пенополиуретаном (вариант №10).

Лучшим материалом для отражающего слоя оказалась фольга. Целесообразно нанесение 2-х отражающих слоёв, что даёт заметный эффект.

Выводы

Вариант №10 обладает наилучшими теплоизолирующими, технологическими и эксплуатационными свойствами. Он является 3-х слойным комбинированным вариантом, обеспечивающим уменьшение теплопередачи и излучения: слой 1 – отражающий, слой 2 – основной, слой 3 – отражающий. При использовании пенополиуретана в этом варианте необходимо введение эластичной оболочки. Оболочка нужна для создания слоя пенополиуретана определенной толщины в процессе его заливки, а также будет выполнять защитную функцию.

С учетом теплоизолирующих, эксплуатационных и технологических свойств авторы рекомендуют использование следующих материалов на топливopодах дизеля (рис. 1).

Для 1-го слоя: нанесение самоклеящейся фоль-

ги 3 на окрашенную трубку 1; либо электролитическое хромирование, дающее коэффициент отражения до 0,85 и высокие защитные свойства, либо металлизация.

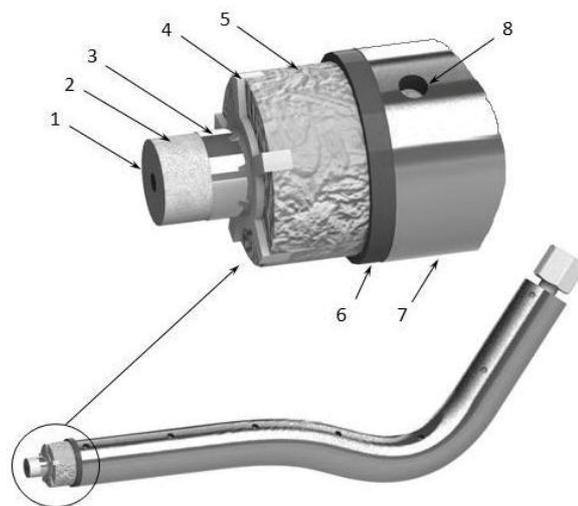


Рис. 1. Схема теплоизоляции топливopода:
1-трубка высокого давления; 2-эмаль автомобильная; 3-фольга алюминиевая самоклеящаяся;
4-центратор полимерной оболочки;
5-пенополиуретан; 6-полимерная оболочка;
7-металлизированный слой на полимерной оболочке; 8-отверстия для заливки пенополиуретана

Металлизация получается методом вакуумного напыления металлов (алюминия, хрома). После напыления наносится защитное покрытие в виде двуокиси кремния (стекло). В результате получают металлическое светоотражающее зеркальное покрытие.

тие, которое имеет стойкость к температурным воздействиям до +200°C, окружающей среде и дизельному топливу. Данная технология применяется для всех автомобильных фар, отражателей для автомобилей, уличных фонарей и прожекторов [12].

В качестве 2-го слоя рекомендуется использование пенополиуретана в сочетании с эластичной полимерной оболочкой, устойчивой к дизельному топливу и выдерживающей температуру до +100°C (например, полиуретан, хлорированный поливинилхлорид). Необходимо центрирование оболочки 6 с помощью центраторов 4. Для заполнения оболочка должна иметь технологические отверстия 8. Технология заливки пенополиуретана в полимерную или металлическую оболочку используется при изготовлении теплоизолированных труб [7]. Диапазон рабочих температур пенополиуретана обычно от -100 до +150 °С, может достигать до +320 °С. Пенополиуретан стоек к дизельному топливу.

В качестве 3-го слоя предлагается металлизировать наружную поверхность полимерной оболочки. Например, алюминий, напыленный в вакууме, с последующей полировкой обеспечивает коэффициент отражения 0,95.

В результате исследования выбрана комбинация теплоизоляционных материалов для топливопроводов дизеля. При этом сразу учитывались теплоизолирующие, технологические и эксплуатационные свойства.

Литература

1. Таусенев, Е. М. Применение теплоизоляторов при ремонте, техническом обслуживании и модернизации топливной аппаратуры дизелей. Постановка цели, выбор объекта и методов исследования [Электронный ресурс] / Е. М. Таусенев, А. Е. Свищула // Электронный научный журнал «Наука и образование», *technomag.edu.ru*. – 2012. – № 8. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/452551.html>: - 27.01.2013.

2. Экспресс-исследование температуры топливопроводов дизельной топливной системы разделенного типа [Текст] / Е. М. Таусенев, К. В. Кох, А. Е. Свищула, Е. А. Герман // *Ползуновский вестник*. – 2013. – № 4/3. – С. 95-99.

3. Алюмосиликатные микросферы тонкостенные, керамические. Основные характеристики и отличительные особенности [Электронный ресурс] // Сайт группы компаний Инотэк, *inoteck.net*. –

2014. – Режим доступа: http://inoteck.net/keramicheskaya_mikrosfer. – 02.04.2014.

4. Теплоизоляционные материалы «ТЕРМО-СИЛАТ» [Электронный ресурс] // Сайт компании «Термохаус», *hermo-house.com*. – 2011. URL: <http://thermo-house.com/teploizolyacziya/163-teploizolyaczionnye-materialy-torgovoj-marki-Itermosilatr.html> (дата обращения: 02.04.2014).

5. Влияние характеристик микросфер и связующего вещества на теплопроводность тонкоплочных тонкоплочных теплоизоляционных покрытий [Текст] / В.А. Рыженков, А.Ф. Прищепов, Н.А. Логинова, А.П. Кондратьев // *Надежность и безопасность энергетики*. – 2010. – № 10. – С. 28-30.

6. Изолон пенополиэтилен. Физические свойства [Эл.ресурс]//*isolon-trade.ru:сайт компании ООО «Изолон-Трейд»*. – 2011. – Режим доступа: http://isolon-trade.ru/catalog/detail.php?ELEMENT_ID=43. – 02.04.2014.

7. Теплоизоляционные материалы Elastopor® Н. Пенополиуретановая изоляция труб [Электронный ресурс] // Сайт химической компании BASF, *basf.ru*. – 2014. – Режим доступа: http://www.basf.ru/ecp2/Business_Segments_products_and_markets_russia/PU_pipe_insulation. – 02.04.2014.

8. Фольгированный материал Армофол [Электронный ресурс] // Сайт компании ЗАО "Пластэкс", *plastex.ru*. – 2014. – Режим доступа: <http://plastex.ru/catalog/armofol/>. – 02.04.2014.

9. Денкер, И. И. Технология окраски самолетов и вертолетов гражданской авиации [Текст] / И. И. Денкер, В. Н. Владимирский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., Машиностроение, 1988. – 128 с.

10. Панченко, Ю. Ф. Энергоэффективность использования нового теплозащитного материала для снижения теплопотребления зданий и сооружений [Текст] / Ю. Ф. Панченко, Г. А. Зимакова, Д. А. Панченко // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2011. – № 4. – С. 97-105.

11. Лакокрасочные покрытия светоотражающие [Электрон. ресурс] // Сайт «Энциклопедия современной техники. Строительство», *bibliotekar.ru*. – 2014. – Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-2/191.htm>. – 02.04.2014.

12. Вакуумное напыление металлов [Электронный ресурс] // Сайт ООО "Гальваника", *galvanica.com.ua*. – 2014. – Режим доступа: http://galvanica.com.ua/Napylenie_projektorov_fonarei.html. – 02.04.2014.

Поступила в редакцию 12.04.2014, рассмотрена на редколлегии 17.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры А. В. Белогуб, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ПАЛИВОПРОВОДУ ДИЗЕЛЯ

Є. М. Таусенев, К. В. Кох, А. Є. Свістула

Показано значну частку нагріву паливопроводів дизеля від гарячого повітря моторного відсіку. Описано оціночну методику порівняльних випробувань теплоізоляційних матеріалів шляхом порівняння темпу охолодження води, що є в сосуді, покритому теплоізоляцією в різних варіантах. Досліджено теплоізоляційні матеріали з метою застосування їх на паливопроводах в моторному відсіку сільськогосподарського трактора. Запропоновано технологію теплоізоляції паливопроводів. У результаті очікується зменшення підігріву палива від гарячого повітря моторного відсіку і поліпшення показників роботи дизеля в експлуатації.

Ключові слова: дизель, паливна система дизеля, моторний відсік, температура дизельного палива, температура повітря в моторному відсіку, теплоізоляція паливопроводів.

PROBE OF OPTIONS OF HEAT INSULATION OF DIESEL FUEL LINES

E. M. Tausenev, K. V. Koh, A. E. Svistula

The analysis of fuel supplying pipelines in the engine bay revealed that heavy part of their heating is due to hot air present in the bay. The paper deals with the experimental method of comparing the heat-insulating materials. Method is based on comparing the cooling rate of water in the vessel coated with different heat-insulators. Paper also presents the analysis results for different heat-insulating materials that can be used for fuel supplying pipelines in the engine bay of the farm tractor. Authors also suggested a new heat insulating technology for fuel supplying pipelines. The obtained results of the research aim to decrease the heating of pipelines due to hot air in the engine bay and to improve the efficiency of diesel operation in maintenance.

Keywords: diesel, diesel fuel system, engine compartment, diesel fuel temperature, air temperature in an engine compartment, heat insulation of fuel lines.

Таусенев Евгений Михайлович – канд. техн. наук, докторант кафедри двигателів внутрішнього згорання, Алтайський державний технічний університет ім. І. І. Ползунова, Барнаул, Росія, e-mail: tausenev_e_m@bk.ru.

Кох Константин Викторович – аспірант кафедри двигателів внутрішнього згорання, Алтайський державний технічний університет ім. І. І. Ползунова, Барнаул, Росія, e-mail: koxk@inbox.ru.

Свістула Андрей Евгениевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. двигателів внутрішнього згорання, Алтайський державний технічний університет ім. І. І. Ползунова, Барнаул, Росія, e-mail: sae59@mail.ru.