

УДК 621.432

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРШНЕВОГО ДВС

А. Л. Иванов¹, кандидат технических наук, доцент;
А. В. Шевелев^{1,2}, инженер-конструктор, преподаватель;
Д. В. Шилов¹, студент группы ЭУб-20А1;
В. В. Ходус¹, студент группы ЭУб-20А1

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», Омск, Россия

² АО ОмПО Радиозавод имени А.С. Попова (РЕЛЕРО), Омск, Россия

Аннотация. Проанализированы основные процессы протекающие в поршневом двигателе внутреннего сгорания с точки зрения улучшения эффективных показателей с учетом особенностей протекания процессов смесеобразования, сгорания топлива и конструкции кривошипно-шатунного механизма.

Ключевые слова: поршневой двигатель, смесеобразование, тепловыделение, внутренние потери, цилиндро-поршневая группа

WAYS TO IMPROVE EFFECTIVE INDICATORS PISTON ENGINE

A. L. Ivanov¹, Ph.D., Associate Professor;
A. V. Shevelev^{1,2}, Design engineer, teacher;
D. V. Shilov¹, student of the EUb-20A1 group;
V. V. Hodus¹, student of the EUb-20A1 group

¹ Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«The Siberian State Automobile and Highway University», Omsk, Russia

² OS OmPA Radiozavod named by A.S. Popov (RELERO), Omsk, Russia

Abstract. The main processes occurring in a reciprocating internal combustion engine are analyzed from the point of view of improving effective indicators, taking into account the peculiarities of the processes of mixing, fuel combustion and the design of the crank mechanism.

Keywords: piston engine, mixing, heat generation, internal losses, cylinder-piston group

Введение

Повышению эффективных показателей тепловых двигателей всегда уделялось повышенное внимание. Известны основные методы улучшения эффективных показателей [1,2,3], но возникают новые проблемы экономического и экологического характера, вопрос периодически обновляется и приходится решать новые проблемы. Повышение интенсивности процесса сгорания повлекло за собой увеличение выбросов оксида азота. Мелкодисперсный впрыск топлива повлек увеличение выбросов твердых веществ, которых изначально не было выявлено в отработавших газах ДВС. Для решения возникших проблем требуются все более дорогостоящие решения, использование катализаторов–активаторов горения [4,5,6], дополнительных устройств в системе выпуска отработавших газов, доработка существующих систем питания, зажигания, электронных систем управления двигателя и автомобиля.

Для дальнейшего повышения эффективности ДВС недостаточно традиционных методов решения, необходимо более детальное исследование процесса сгорания топлива, оптимизация процессов передачи механической энергии, пересмотр конструктивных особенностей ДВС.

Основная часть

В поршневом двигателе внутреннего сгорания (ДВС) преобразование энергии происходит через изменение объема рабочего тела деталями кривошипно-шатунного механизма. В газотурбинном двигателе энергия потока рабочего тела передается лопаткам турбины. Тепловой двигатель, это по сути вопроса преобразователь химической энергии топлива в кинетическую энергию молекул рабочего тела, с последующей передачей этой энергии механизмам двигателя и исполнительным элементам. Для обеспечения работы одного из самых распространенных тепловых двигателей -

поршневого ДВС выделение химической энергии с целью ее концентрации осуществляют в замкнутом объеме в определённый момент времени.

Циклический режим работы поршневых ДВС, предопределяет циклическую подачу в замкнутый объем цикловых порций окислителя и восстановителя. Промежуток времени, в течение которого возможна эта подача и организация химической реакции с таким расчетом, чтобы химическая энергия успела преобразоваться в кинетическую энергию молекул и передачи этой энергии рабочему органу в оптимальные моменты цикла с максимальным КПД, очень мал, а для быстроходных двигателей просто недостаточен. Об этом свидетельствует в частности повышение удельного расхода топлива, снижение крутящего момента и мощности при увеличении частоты вращения коленчатого вала более определенного значения.

Проведем краткий анализ известных рабочих процессов протекающих в ДВС с целью получения выводов относительно влияния длительности цикла на его эффективность:

Чем короче цикл, тем меньше время теплообмена в полости цилиндра и меньше потери энергии, это положительная особенность. Но при этом меньше времени на полноту химической реакции и выделения при этом полной энергии.

Чем короче цикл, тем выше удельная мощность двигателя, это положительная особенность. Но работа ДВС при максимальных нагрузках сопровождается значительным нагревом деталей камеры сгорания и при увеличении оборотов двигателя наступает предельный момент возможностей съема тепла и поддержания пар трения - цилиндр поршень, и узлов газораспределения в работоспособном состоянии.

Подача топлива в надпоршневое пространство на такте сжатия и его сгорание в нем в условиях ограниченного времени испарения и активации, с присутствием эффекта замедления и прекращения реакции возле относительно холодных стенок камеры. Это недостаток.

Длительная стадия диффузионного процесса, необходимость учитывать скорость основной стадии горения и для достижения оптимального значения термодинамических параметров состояния рабочего тела в в.м.т. необходимо применять сложные устройства опережения зажигания и впрыска топлива. Это недостаток.

Необходимость создания турбулентных потоков заряда, с целью эффективного разрушения капель впрыснутого жидкого топлива и распределения его по полости камеры сгорания создают условия для более эффективного процесса теплопередачи, что в свою очередь увеличивают тепловые потери. Это недостаток.

Организация работы ДВС с фронтальным течением реакций (воспламенение от искры) достаточно сложно, т.к. предусматривает необходимость обеспечения оптимального массового соотношения воздух/топливо (стехиометрического состава), не позволяет обеспечить работу ДВС при высокой степени сжатия, т.к. плотность смеси (давление в конце сжатия) ограничивается детонационной стойкостью топлива.

Тепловые потери, которые пропорциональны времени теплообмена с «холодными» поверхностями цилиндра и камеры сгорания, разности температур рабочего тела и этих стенок, причем, последняя ограничивается условиями работоспособности механизма и имеет узкий интервал, вынуждают искать решения, сокращающие эти факторы, или их влияние.

На основе проведенного анализа сформулированы основные задачи для улучшения эффективных показателей ДВС:

1. Уменьшение тепловых потерь.
2. Снижение механических потерь в механизмах ДВС.

Уменьшение тепловых потерь.

Следует отметить, что количество тепла, передаваемого от газа через элементы надпоршневого пространства в окружающую среду, пропорционально площади контакта, времени процесса теплоотдачи, плотности газовой среды, разности температур среды и стенок этих элементов, теплопроводности материалов, и коэффициентов теплопередачи.

Передача энергии от молекул газа к стенкам и обратно (теплообмен) происходит в процессе непосредственного контакта молекул при этом происходит изменение кинетической энергии молекул поступательного движения, и, в какой то степени, энергии вращательного движения. Также в процессе теплообмена участвует инфракрасное и видимое электромагнитное излучение, испускаемое- принимаемое молекулами с изменением их энергий вращательного движения и энергий электронов верхних уровней. Поскольку газовую среду можно считать прозрачной для электромагнитных волн, то основным приемником энергии этого излучения являются стенки элементов надпоршневого пространства. А количество передаваемой энергии пропорционально количеству излучателей (массе газа), находящихся в этой полости, и их энергетического состояния. Предположительно, основная (80-90%) доля энергии, передаваемой в систему охлаждения первые 20-40 град. после ВМТ и имеет электромагнитную природу. Это предположение основано на сравнении мощности (количества актов излучения в единицу времени) теплового излучения,

пропорционального количеству молекул во всем объеме с количеством актов столкновения молекул газа со стенками за тоже время, пропорционального количеству молекул в приграничной со стенками зоне, и отдачей при этом части энергии своего поступательного движения.

Таким образом, желательно чтобы масса газовой смеси поступала в надпоршневое пространство постепенно, с минимальным количеством электромагнитных волн, способствующих теплообмену излучением. Насколько можно уменьшить при этом потери тепловой энергии и направить ее на совершение механической работы, можно только предполагать. Но как представляется – эта величина может вызвать практический интерес и вопрос преобразования энергии инфракрасного излучения в энергию поступательного движения молекул рабочего тела, которое и преобразуется в механическую работу в термодинамических процессах, также имеет практический интерес.

Для решения этой задачи необходимо оптимизировать процесс горения топлива в оптимальном режиме соотношения реагентов и температуры. Рассмотрим, каким образом можно повлиять на кинетику химической реакции, при условии использования топлива в виде жидкой фазы с использованием внутренних ресурсов системы. Перед контактом с окислителем топливо нужно перевести в газовую фазу, максимально увеличить кинетическую энергию молекул, перевести в плазменное состояние, осуществить предварительное расщепление молекул топлива на более активные радикалы. Это можно осуществить в относительно небольшом объеме с нагретыми до температуры 400-800 °С стенками, с учетом того, что при более высоких температурах деструкция топлива может отрицательно влиять на кинетику реакции.

Перед реакцией нужно нагреть сжатый в процессе сжатия воздух до максимально возможной температуры, а для предотвращения тепловых потерь делать это в теплоизолированной камере (в дальнейшем – предкамера) вне надпоршневого пространства. Причем отношение объема предкамеры к объему полости надпоршневого пространства в положении ВМТ должно стремиться к максимальному значению.

Далее рассмотрим возможную практическую реализацию поставленных выше задач при использовании представленных технических решений.

Сократить тепловые потери от рабочего тела в окружающую среду.

Для чего необходимо было найти решения по снижению влияния факторов, определяющих эти потери.

1. Использовании предварительной камеры, объем которой частично или полностью замещает объем надпоршневого пространства, позволяет уменьшить поверхности теплообмена внутри цилиндра и массу газообразного рабочего тела, являющейся основной величиной (после температуры), определяющей плотность теплового излучения, воспринимаемого стенками надпоршневого пространства, а уменьшение этой массы в 2- 2,5 раза в период от 0 до 40 град. ПКВ, в период воздействия максимальных температур, примерно во столько же раз ожидаемо уменьшит тепловые потери в этот период.

2. Процесс перераспределения энергий между молекулами рабочего тела организованного в камере сгорания и предварительной камеры путем использования специальных насадок, увеличивающих поверхность энергетического обмена между молекулами газа, эжектора, направленный на снижение интенсивности лучеиспускания дополнительно снизит потерю тепловой энергии в поверхности надпоршневого пространства.

Снижение механических потерь.

Для снижения механических потерь в механизмах ДВС необходимо найти решения по устранению факторов, влияющих на напряженность конструктивных элементов и механические потери в механизмах ДВС.

Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) является основным механизмом поршневых двигателей. КШМ предназначен для восприятия возникающего при сгорании топлива давления газов и преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала. КШМ включает в себя: шатунно-поршневую группу (ШПГ) (в случае крупных судовых двигателей также кривокопный механизм), коленчатый вал и маховик [7]. Поршень воспринимает силу давления газов. Возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала при помощи шатуна, сочлененного шарнирно с помощью пальца с поршнем и с шатунной шейкой коленчатого вала. Пальцы могут быть как «плавающего типа», т.е. свободно вращаться в бобышках поршня и в верхней головке шатуна, так и запрессованным в верхнюю головку шатуна и вращающимся только в бобышках поршня [8]. Осевой зазор коленчатого вала ограничивается установкой упорных подшипников (как правило скольжения, реже-качения) [10]. Конструктивно КШМ может быть разделен на 3 типа. Наиболее распространенными типами механизма, массово применяемыми в современных автотракторных ДВС, являются:

- центральный или аксиальный КШМ, в котором траектория движения оси поршневого пальца пересекается с осью коленчатого вала;

- дезаксиальный или смещенный КШМ, в котором траектория движения оси поршневого пальца не пересекается с осью коленчатого вала и смещена относительно последней на некоторую величину, носящей название дезаксажа;

- КШМ с прицепным шатуном, в котором один шатун шарнирно соединяется непосредственно с шейкой коленчатого вала, а второй соединен с главным шатуном посредством пальца, расположенного на головке главного шатуна, и носит название прицепного.

Известно, что в КШМ ДВС почти четвертая часть эффективной мощности расходуется на преодоление сил трения. Другая отрицательная особенность таких двигателей — увеличение сил инерции и количества вспышек с повышением числа оборотов, а также тепловой напряженности цилиндро-поршневой группы (ЦПГ). Действительно, преобразование возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала с помощью шатуна вызывает действие бокового усилия на стенку цилиндра (рисунок 1).

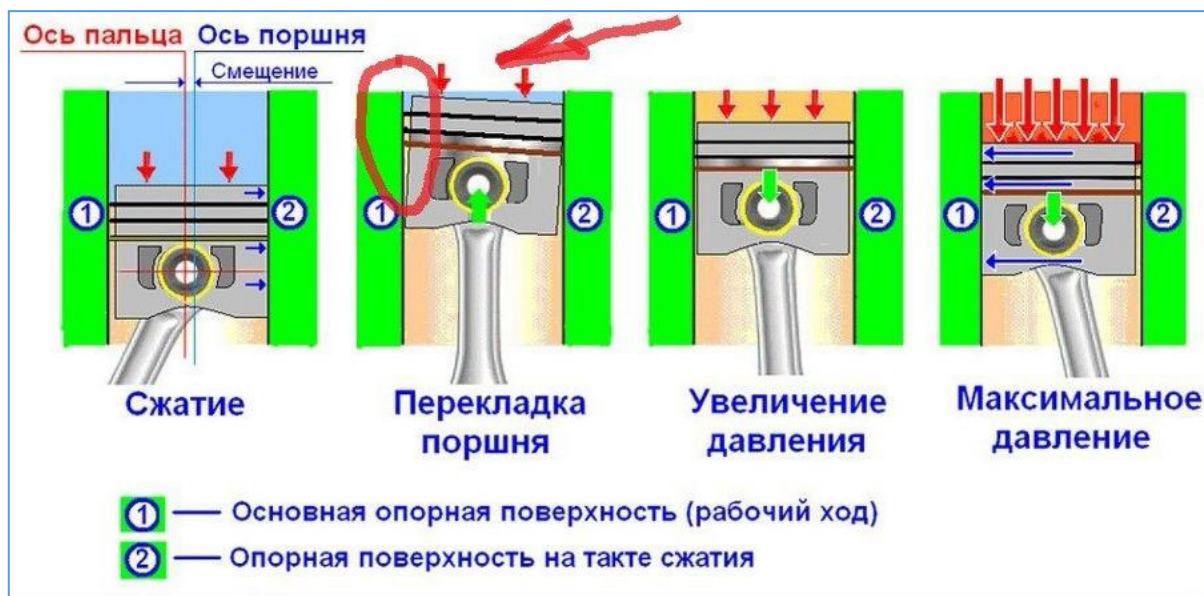


Рисунок 1 – Воздействие бокового усилия на стенки цилиндра

Основными причинами являются: колебательное движение шатуна в плоскости, перпендикулярной продольной оси коленчатого вала, вызывающее большой угол отклонения шатуна от вертикальной оси цилиндра, вследствие чего боковая сила, действующая через поршень, прижимает его к стенкам цилиндра. Данное обстоятельство усугубляется тем, что при положении поршня в верхней мертвой точке происходит так называемая «перекладка» поршня – высокочастотное перемещение поршня в цилиндре в условиях граничного (полусухого либо сухого) трения компрессионных колец, поршня и цилиндра.

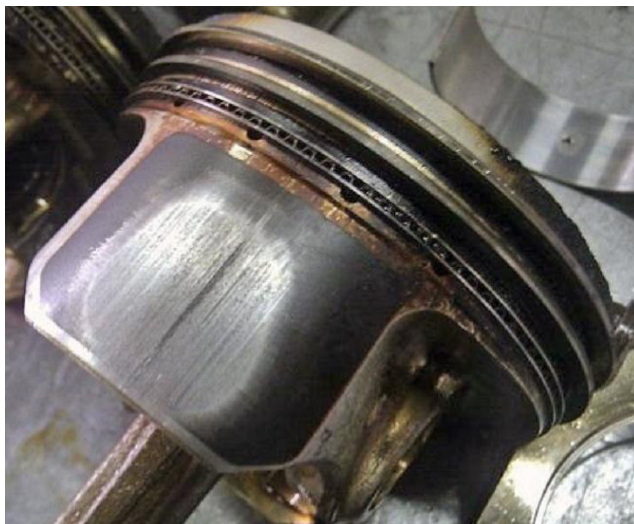


Рисунок 2 – Повреждения на юбке поршня



Рисунок 3 – Повреждения стенки цилиндра

В ДВС со вставными мокрыми гильзами это вызывает высокочастотную вибрацию гильз цилиндров, кавитационное разрушение поверхностей, омываемых охлаждающей жидкостью, а также овализацию гильз в процессе эксплуатации, и связанный с этим повышенный расход масла (рисунок 4).



Рисунок 4 – Повреждения омываемых охлаждающей жидкостью поверхностей гильзы цилиндра в результате кавитации

Чтобы избежать связанного с этим повышенного износа поршней, им придают конусообразную форму в продольном сечении, а их юбки делают эллиптическими в поперечном сечении [9]. Однако это не решает проблемы в корне. Неизбежная боковая нагрузка на стенку цилиндра увеличивает потери на трение, отрицательно отражающиеся на величине механического КПД двигателя. Вследствие того, что поршень перекашивается в цилиндре, ускоряется износ канавок в поршне и самих поршневых колец, возрастает утечки газов из камеры сгорания в картер, возрастает вероятность перегрева и заклинивания поршня, происходит потеря упругости и нарушается подвижность (происходит залегание) поршневых колец (рисунок 5).

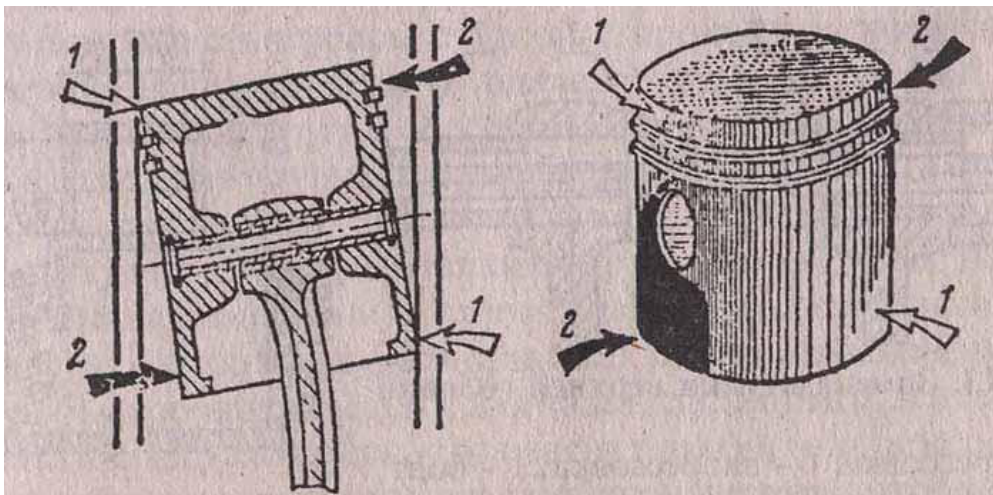


Рисунок 5 – Перекос поршня в цилиндре

Другой неприятной особенностью КШМ является то обстоятельство, что в случае износа упорных подшипников коленчатого вала и связанного с ним увеличения осевого зазора коленчатого вала происходит перекося шатуна в плоскости качения, что, в свою очередь, приводит к перекося поршня в цилиндре (рисунок 6).

Последствиями этих явлений являются: контакт коленчатого вала с блоком цилиндров при вращении, механические повреждения поршня и цилиндра, деформация или обрыв шатуна, приводящая, в свою очередь, к повреждению блока цилиндров (кулак дружбы) и выходу ДВС из строя.

Усугубляют вышеописанную ситуацию неизбежные технологические дефекты при изготовлении деталей КШМ такие как: непараллельность осей отверстий верхней и нижней головок шатуна, неперпендикулярность оси поршневого пальца относительно оси поршня, технологические отклонения при обработке отверстия во втулке верхней головки шатуна.

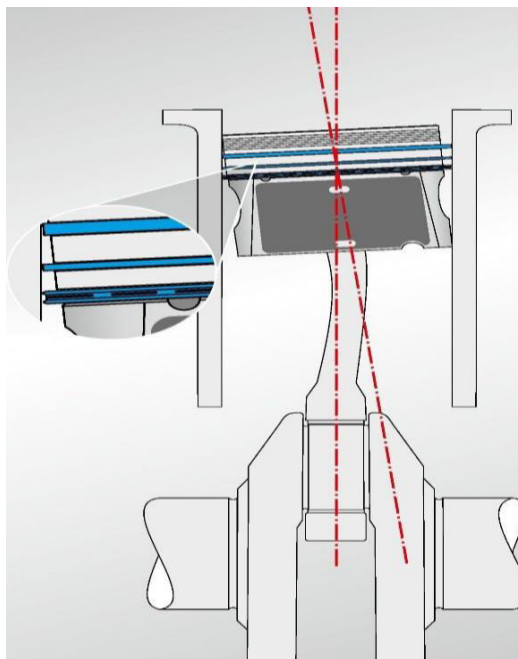


Рисунок 6 – Перекос шатуна и поршня вследствие осевого смещения коленчатого вала

Поэтому даже при весьма высокой точности изготовления деталей обеспечить требуемое взаимное расположение деталей невозможно. Именно по этой причине поршневым ДВС требуется значительный период обкатки, в ходе которого детали КШМ прирабатываются, существенно снижая долговечность двигателя.

Тем не менее, как представляется авторам, предлагаемое техническое решение позволит решить проблему перекося шатунно-поршневой группы. Для этого шатун конструктивно разделяется на 3 детали: верхняя головка, нижняя головка, соединительный стержень твуставрового сечения, шарнирно соединенные между собой (рисунок 7) [11].

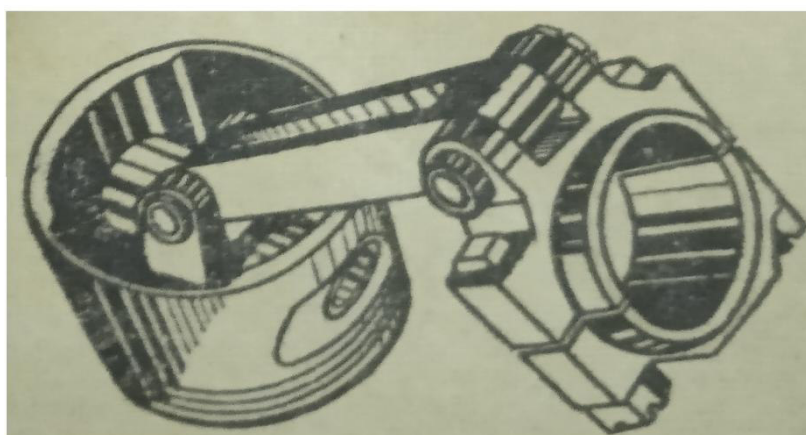


Рисунок 7 – Трехзвенный шатун

Таким образом, компенсируется осевой зазор коленчатого вала, поршень самоустанавливается по цилиндру, а нижняя головка – по шатунной шейке. Следствием данной модернизации конструкции КШМ является устранение вышеперечисленных негативных факторов и соответственно повышение нагруженности элементов и сопряжений КШМ, повышение надежности и ресурса двигателя в целом.

Заключение

В результате выполненных аналитических исследований удалось сформулировать основные технические задачи для условий работы ДВС в оптимальном режиме и предложены технические решения совершенствования конструкции поршневого ДВС. В итоге предложена возможность практической реализации работы поршневого двигателя в условиях, обеспечивающих повышение экономических и мощностных показателей. Шатунно-поршневая группа определяет долговечность двигателя. В результате применения трехзвенного шатуна, снизятся нагрузки на элементы конструкции ДВС, уменьшатся механические потери и как следствие повысится надежность и ресурс ДВС.

Библиографический список

1. Луканин, В. Н. Двигатели внутреннего сгорания. Кн. 1: Теория рабочих процессов. учебник / В. Н. Луканин, К. А. Морозов, А. С. Хачиян; под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд.-М.: Высшая школа, 2007. – 479 с.
2. Чайнов, Н. Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: учебник. / Н. А. Иващенко, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков; под ред. Н. Д. Чайнова. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2011. – 496 с. – URL: <http://e.lanbook.com/view/book/65697/>
3. Зуев, А. А. Перспективы развития поршневых двигателей внутреннего сгорания / А. А. Зуев, П. П. Степанов, А. И. Панкова, Н. П. Кольцов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2011. – Т. 11. – № 1. – С. 157-160.
4. Ведрученко, В. Р. Влияние материала поршня на процесс сгорания топлива в двигателе / В. Р. Ведрученко, А. Л. Иванов, В. А. Борисов, П. В. Литвинов / Вестник СибАДИ. – 2016. – № 5 (51). – С. 61-68.
5. Catalytic coatings for improving the environmental safety of internal combustion engines / A. R. Osipov, V. A. Mukhin, V. A. Borisov, S. S. Sigaeva, E. A. Anoshkina, V. L. Temerev, P. G. Tsyru'Nikov, G. I. Suprunov, A. L. Ivanov, A. A Hohlov // Procedia Engineering. – 2016. – Т. 152. – pp. 59-66.
6. Окисление со на катализаторах PD/MEOX/M, в которых носитель MEOX/M приготовлен плазменным напылением (MEOX = Al_2O_3 , $Al_2O_3-GeO_2$, $Al_2O_3-MnO_2$; M = Ni-Al/нержавеющая сталь / В. А. Борисов, С. С. Сигаева, Г. И. Супрунов, Е. А. Аношкина, В. Л. Темерев, А. Л. Иванов, П. Г. Цырульников // Химия в интересах устойчивого развития. – 2017. – Т. 25. – № 2. – С. 147-155.
7. Орлина, А. С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е издание переработанное и дополненное под общей редакцией. – Москва, «Машиностроение», 1990.
8. Автомобильные двигатели: учебник / В. М. Архангельский и др.; под. Ред. М. С. Ховаха. – М: «Машиностроение», 1977.
9. Профилирование юбок поршней / Б. Я. Гинцбург, Г. Я. Васильченко, Н. С. Судейский, И. А. Цимеринов. – М., «Машиностроение», 1973. – 88 с.
10. Орлина, А. С. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей/ А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е издание переработанное и дополненное под общей редакцией. – Москва, «Машиностроение» 1984.
11. Чириков, К. Ю. ЗНАНИЕ №6/1976 / К. Ю. Чириков // Необычные двигатели. серия Транспорт.