

СИЛОВОЙ АГРЕГАТ МИКРОАВТОМОБИЛЯ

Введение

В настоящее время в связи проблемой снижения эмиссии парниковых газов, в частности, диоксида углерода, практически все параметры автомобиля, такие, как его масса, максимальная скорость, определяющие мощность двигателя, «поглощаются» экологическими требованиями. В соответствии с этим увеличивается производство автомобилей особо малого класса. Однако двигатели для этих автомобилей многими фирмами применяются в основном устаревших моделей. Переход стран СНГ на международные стандарты требует разработки двигателя для этого класса автомобилей, удовлетворяющим международным нормативам по токсичности газов, топливной экономичности и др.

Формулирование проблемы

Решить одновременно вопрос повышения экономичности и снижения токсичности отработавших газов возможно применив метод ступенчатого сгорания с использованием парового утилизатора тепловой энергии отработавших в поршневом двигателе газов. По этому методу в поршневом двигателе используется богатая топливо-воздушная смесь при коэффициенте избытка воздуха 0,7, что исключает образование оксидов азота (NO_x) и обеспечивает восстановление случайных проскоков оксидов азота до молекулярного и нейтрального азота (N_2). Токсичные и горючие продукты неполного сгорания окись углерода (CO) и углеводороды (C_mH_n) дожигаются до нейтральных компонентов – диоксида углерода (CO_2) и водяных паров (H_2O) в камере вторичного сгорания при введении в нее дополнительного воздуха, а тепло газов используется в паровом утилизаторе для выработки дополнительной энергии.

В результате, обеспечивается низкая токсичность отработавших газов на уровне, удовлетворяющим нормативам «Евро-4» и приближающимся к нормативам «Zero», а также высокая топливная экономичность, удельный расход топлива достигает 150...160 г/кВт-ч. Метод ступенчатого сгорания в сочетании с применением парового утилизатора в двигателях внутреннего сгорания защищен патентом РК

Но реализация такого метода на малолитражном двигателе имеет специфичные особенности. Чтобы обеспечить высокие качественные показатели такого двигателя, необходимо решить ряд проблем, среди которых повышение эффективности поршневого модуля комбинированного двигателя, конструкция парового утилизатора при малых расходах пара, увеличение динамичности автомобиля в связи с малой его мощностью, а также конструкция конденсатора пара на автомобиле малого класса с малыми габаритами. Технические приемы, направленные на решение отмеченных проблем, рассмотрены в настоящей статье.

Решение проблемы

Повышение эффективности поршневого модуля комбинированного двигателя

Среди комплекса технических решений отметим некоторые из них. Повышение относительного и механического КПД поршневого двигателя (снижение потерь энергии на трение в ЦПГ и за счет охлаждения цилиндра) обеспечивается применением «сухого» цилиндра, в котором поршень уплотнен при помощи колец из твердого антифрикционного материала – меднографита. Гильза цилиндра выполняется из жаростойкого сплава – хромомарганцевой или хромоникельвольфрамовой легированной стали, ко-

торые имеют коэффициент теплопроводности в три раза меньше, чем сталь или чугун, используемый для выполнения гильз цилиндров. Конструкция цилиндра-поршневой группы такого типа защищена патентом РК.

Следующее техническое решение касается механизма преобразования движения. Обычный кривошипно-шатунный механизм создает боковые силы на поршень, что влечет за собой большие потери на трение в ЦПГ. Крейцкопфные механизмы, обеспечивающие линейное движение штока поршня исключают эти потери. Известные механизмы такого типа, как крейцкопф, вынесенный за пределы цилиндра, либо механизм Баландина не применяются в двигателестроении, так как либо увеличивают габариты двигателей (традиционный крейцкопфный механизм), либо усложняют двигатель, как это имеет место в механизме Баландина, требующем иметь несколько валов, окружная скорость в подшипнике шатуна увеличивается вдвое, возникает опасность ударов при наложении проекции шатуна на проекцию кривошипа ввиду допустимой в машиностроении разбежки размеров этих деталей.

Анализ механизмов преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное показал, что такие недостатки отсутствуют у механизма со сдвоенным крейцкопфом – продольного и поперечного движения. В отличие от обычного КШМ, имеющего одну скользящую пару (гильза цилиндра и поршень) и две вращающиеся (нижней и верхней головки шатуна) у механизма со сдвоенным крейцкопфом имеется две скользящие пары (продольного и поперечного движения) и одна вращающаяся – подшипник кривошипа. Все кинематические пары вынесены в масляный картер, площади сопряжения их могут задаваться при конструировании, обеспечивая малые удельные нагрузки. Единственный вращающийся подшипник полностью имитирует нижний подшипник шатуна или кривошипа. Коленчатый

вал двигателя в таком случае обычного типа, а в подшипнике кривошипа используются стандартные детали (вкладыши). Поршень с механизмом преобразования движения связан линейно движущимся штоком, что позволяет иметь цилиндр двойного действия, в частности, в нашем случае подпоршневое пространство используется в качестве компрессора для подачи дополнительного воздуха в камеру вторичного сгорания. Горячий цилиндр отделен от масляного картера, масло в картере не попадает на горячие поверхности, следовательно, длительное время не разлагается, не загрязняется продуктами сгорания, исключается угар масла. Несколько увеличенная масса поступательно движущихся деталей по сравнению с КШМ снижает ударные нагрузки при процессе сгорания топлива и создает дополнительную вращательную силу в конце такта расширения, когда давление газов снижается. Возможные возрастания нагрузок в момент прохождения мертвых точек нейтрализуются выполнением двух оппозитных цилиндров, работающих, естественно, в разных фазах. Конструкция механизма преобразования движения показана на рисунке 1.

Конструкция парокинетического аккумулятора энергии

Следующей задачей в разработке силового агрегата для автомобиля малого класса было конструирование парового утилизатора. Малые расходы пара накладывают свои особенности на конструкцию парового утилизатора. При этом учитывалась также и то, что при малой мощности двигателя автомобиль обладает низкой динамичностью, что является отрицательным свойством [1]. Рассмотрение возможных вариантов конструкции парового утилизатора показало, что его целесообразно комбинировать с аккумулятором кинетической энергии, в качестве которого используется маховик специальной конструкции. Расчеты показали, что маховик с ободом диаметром

540 мм, навитый из тонкого троса и массой 8 кг при частоте вращения 20 000 - 24 000 мин⁻¹ обладает запасом энергии 0,2 кВт·ч [3], что позволяет при

начале движения и разгоне автомобиля иметь на колесах дополнительную мощность 10 кВт в течение 30 сек.

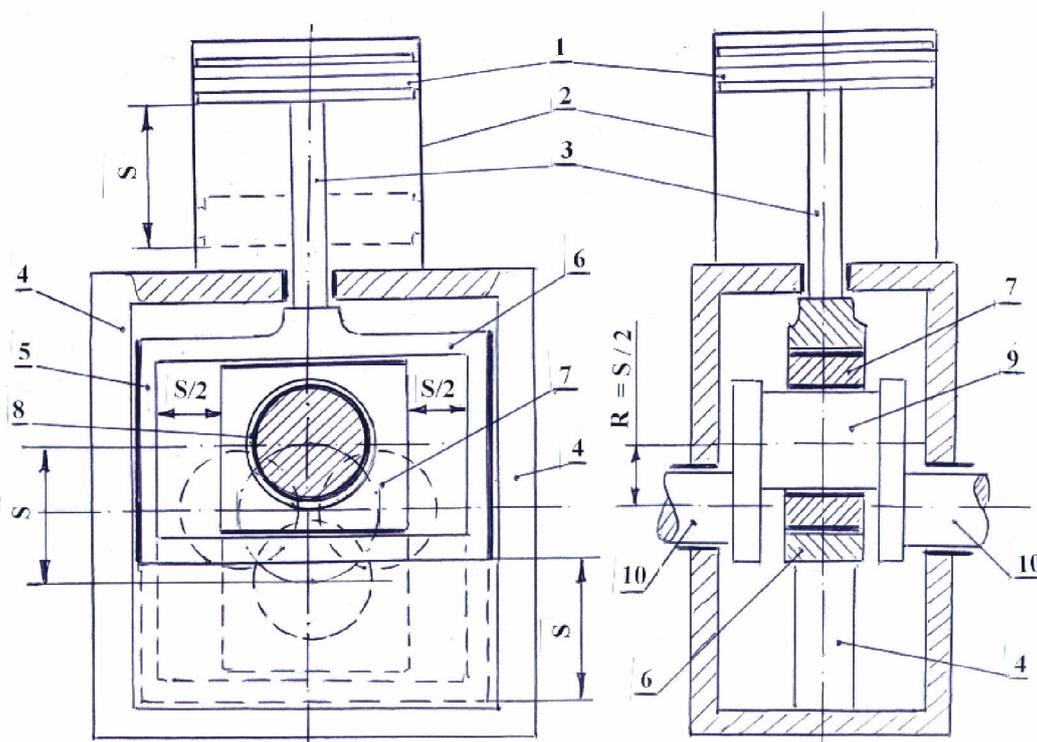


Рис. 1. Схема механизма преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала со двоянным кресткопфом:

1 – поршень; 2 – гильза цилиндра; 3 – шток поршня; 4 – направляющие продольного кресткопфа; 5 – ползун продольного кресткопфа; 6 – направляющие поперечного кресткопфа; 7 – ползун поперечного кресткопфа; 8 – подшипник кривошипа; 9 – боковая шейка коленчатого вала; 10 – центральные шейки коленчатого вала (в коренных подшипниках). S – ход поршня; R – радиус кривошипа.

С супермаховиком как аккумулятором кинетической энергии комбинируется рабочее колесо паровой турбины. В качестве турбины принят аксиальный тип колеса диаметром 115 мм. Окружная скорость колеса турбины 127 м/сек. Для обеспечения высокой эффективности паровой турбины абсолютная скорость истечения пара из сопла должна составлять 254 м/сек. Это дозвуковая скорость и для этого требуется применить сужающееся сопло. Расчеты показывают, что для обеспечения расчетной скорости истечения пара из сопла при заданных параметрах пара оно должно иметь диаметр горловины 0,7мм. Конструктивно такое сопло выполнить возможно, но любое отклонение в режиме работы двигателя приводит к

изменению параметров истечения и падению эффективности паровой турбины. Для поддержания работы турбины парокинетического аккумулятора при высокой эффективности на всех режимах работы двигателя разработана схема импульсного режима работы паровой турбины. В теплообменнике – парогенераторе в его выходной части выполняется емкость определенного объема, которая также как и трубчатые поверхности нагрева обогревается газами. Перед турбиной устанавливается клапан, который управляется автоматически по показаниям датчиков параметров пара. При отклонении давления пара от номинального для работы турбины, что возможно при пониженной нагрузке двигателя, клапан закрыт, а,

сколькx водяной насос продолжает работать и газы обогрeвают трубчатые поверхности нагрева, давление пара и его температура возрастают. При достижении расчетных параметров система управления клапаном открывает его и пар при расчетных параметрах поступает на лопатки турбины. При снижении параметров пара до определенного нижнего уровня допустимого диапазона изменения, клапан вновь закрывается и происходит накопление очередной порции пара. Таким образом, паровая турбина работает в импульсном режиме, но при каждом рабочем импульсе работа е происходит в расчетном диапазоне изменения параметров, что обеспечивает высокую эффективность работы паровой турбины. В отличие от этого, супер-

маховик аккумулятора кинетической энергии работает постоянно, получая импульсы от турбины и накапливая кинетическую энергию, которую через гидравлическую систему отвода энергии передает на вал двигателя или непосредственно в трансмиссию автомобиля. Конструкция гидравлической трансмиссией, хотя возможна передача мощности от маховика и на механическую передачу.

Сочетание турбины с супермаховиком оценена как оптимальный вариант разработчиком супермаховиков Дж. Джентой из Туринского университета в Италии [2]. Конструкция парокинетического аккумулятора энергии показана на рисунке 2.

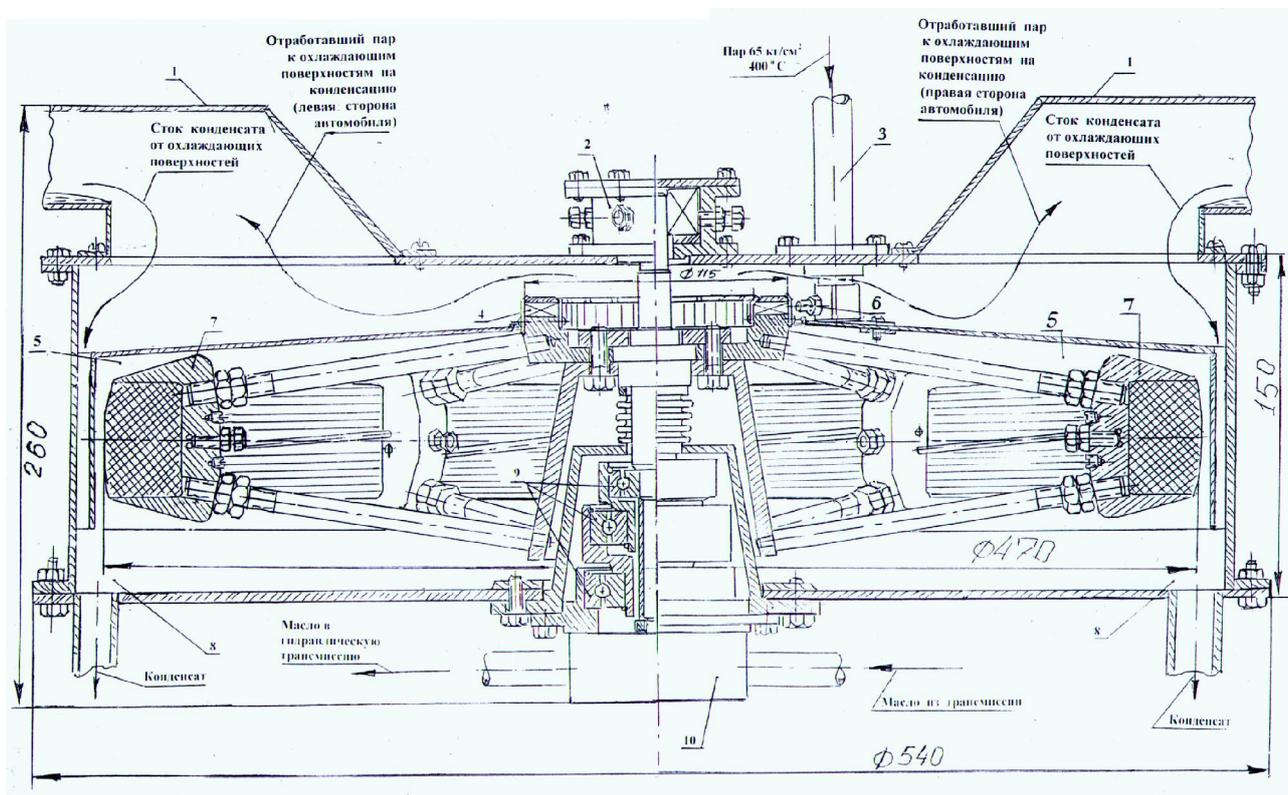


Рис. 2. Аккумулятор кинетической энергии на основе маховика с приводом от паровой турбины:

1 – коробки отвода пара к охлаждающим поверхностям конденсатора; 2 – верхний подшипник с меднографитовыми антифрикционными элементами, работающий в среде пара; 3 – паропровод от теплообменника – парогенератора; 4 – рабочее колесо паровой турбины радиального типа; 5 – камера турбины и маховика; 6 – паровое сопло турбины; 7 – маховик ободного типа с навитьм ободом (навивка – стальной трос диаметром 3 мм); 8 – камера сбора конденсатора; 9 – нижний подшипник маховика комбинированного каскадного типа; 10 – масляный насос шестеренного типа для выдачи мощности от маховика в гидравлическую трансмиссию.

Конденсатор пара парового утилизатора

Размещение охлаждающих поверхностей для

конденсации пара представляет определенную сложность [4]. Это связано с низким коэффициентом теп-

лоотдачи с воздушной стороны. Но применение парового утилизатора снижает остроту этого вопроса. В конденсатор поступает только около 50 % тепловой энергии, полученной от сгорания топлива. При этом следует учесть, что абсолютная величина мощности оптимизированного двигателя небольшая. Расчеты показывают, что в таком случае для конденсации пара применима охлаждающая поверхность примерно равная 1,5...2 поверхностям радиаторов автомобилей типа ВАЗ. По исполнению конденсатор также близок к конструкции радиатора обычного автомобиля. Исходя из этого, автор проработал вариант размещения конденсатора на крыше салона автомобиля с использованием для конденсации пара также подводящих коробов. Схема размещения конденсатора на автомобиле типа «Ока» показана на рисунке 3.

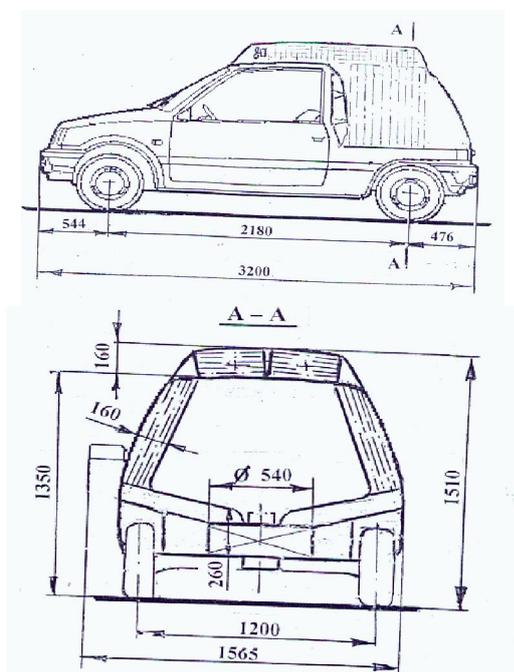


Рис.3. Схема размещения на автомобиле малого класса парокинетического аккумулятора энергии и охлаждающих поверхностей конденсатора пара

Заключение

Приведенные данные показывают, что метод ступенчатого сгорания в сочетании с паровой утилизацией является основой для решения комплексной проблемы повышения эффективности автомобиля и снижения токсичности отработавших газов. При этом имеются технические решения для выполнения узла парового утилизатора, скомбинированного с аккумулятором кинетической энергии, позволяющего эффективно использовать как паровую турбину, так и повысить динамичность автомобиля. Паровая турбина и супермаховик как аккумулятор кинетической энергии сочетаются как высокооборотные механизмы. Есть технические решения по выполнению конденсатора отработавшего пара на автомобиле особо малого класса. Имеются также возможности повышения эффективности поршневой части двигателя. Но при этом новый подход к конструированию силового агрегата влияет и на другие системы автомобиля, как на трансмиссию, кузов.

Список литературы:

1. Кондрашкие А. С. Филькин Н. М., Мезрин В. Г., Сальников В. Ю. Легковой автомобиль с гибридной установкой. Результаты эксперимента // Автомобильная промышленность, 2001, № 11, с. 9-10.
2. Джента Дж. Накопители кинетической энергии. М. Мир, 1988, 428 с.
3. Гулия Н. В. Маховичные двигатели. М. Машиностроение, 1976, 172 с.
4. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль. М. Машиностроение, 1987, 320 с.