



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ
ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ЦИКЛА ДВС
ПРИ РАБОТЕ НА ГАЗОПАРОВОДЯНОЙ
СМЕСИ**

✉¹ **Толстов Сергей Анатольевич**,
к.т.н., доцент кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: serezha.tolstoff@yandex.ru

Панченко Сергей Леонидович,
к.т.н., доцент кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Толстова Александра Сергеевна,
студент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Аннотация. Рассмотрена проблема загрязнения атмосферного воздуха токсичными газами, содержащимися в продуктах сгорания автомобильного топлива и необходимость решения этой задачи. Предложена экспериментальная установка ДВС, позволяющая вводить в топливовоздушную смесь влажного насыщенного воздуха, для получения которого разработан парогенератор на базе ультразвукового излучателя. Изложены результаты экспериментальных данных работы ДВС на топливовоздушной смеси, которые показали положительный эффект от добавления впрыском воды в топливовоздушную смесь для снижения токсичности выхлопных газов.

**REDUCTION OF TOXICITY OF
YOU-COTTON GASES OF ICE CYCLE
WHEN WORKING ON
GAS-STEAM-WATER MIXTURE**

✉¹ **Tolstov Sergey Anatolievich**,
candidate of technical sciences, associate professor of electrical engineering, heat engineering and hydraulics department, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozova, Voronezh, e-mail: serezha.tolstoff@yandex.ru

Panchenko Sergey Leonidovich,
candidate of technical sciences, associate professor of electrical engineering, heat engineering and hydraulics department, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozova, Voronezh.

Tolstova Aleksandra Sergeevna,
student, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozova, Voronezh.

Annotation. The problem of atmospheric air pollution with toxic gases contained in the combustion products of automobile fuel and the need to solve this problem are considered. An experimental ICE installation is proposed, which makes it possible to introduce moist saturated air into a fuel-air mixture, to obtain which a steam generator based on an ultrasonic radiator is developed. The results of experimental data of the ICE operation on the fuel-water-air mixture, which showed a positive effect of adding water to the fuel-air mixture to reduce the toxicity of exhaust gases, are presented.

Ключевые слова: ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ТОПЛИВОВОЗДУШНАЯ СМЕСЬ, ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ, ТОКСИЧНЫЕ ГАЗЫ, ПАРОГЕНЕРАТОР, ГАЗОАНАЛИЗАТОР.

Keywords: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, FUEL-AIR MIXTURE, COMBUSTION PRODUCTS, TOXIC GASES, STEAM GENERATOR, GAS ANALYZER.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Начиная с XVII века изобретатели, инженеры и ученые всего мира взялись за конструирование двигателей внутреннего сгорания. История создания и развития ДВС показала недостатки, над которыми работали создатели первых моделей двигателя, а также проблемы, с которыми они сталкивались: выбор топлива, система его дозирования и подачи; поджиг горючей смеси и система зажигания; система смазки и охлаждения; улучшение испарения топлива, уменьшение массы и габаритов и т.д. Первые рабочие образцы таких машин по современным меркам практически не производили полезной работы, так как их КПД составлял всего 3...5 %. Тем не менее настойчивость, уверенность в положительном результате и научные достижения в области термодинамики, электротехники и механики дали свои плоды. И сегодня КПД таких двигателей приближается к 50 %. За прошедшие 200 лет ДВС превратился практически в совершенную машину.

В настоящее время двигатели внутреннего сгорания являются самыми распространенными, производятся и используются повсеместно, служат человечеству в различных сферах его деятельности. В мире огромное количество авто- и мототранспорта с ДВС, используемого в промышленности и в личных целях. Объем автомобильных перевозок сегодня в пять раз превышает объем железнодорожных и в 18 раз – объем перевозок, выполняющихся морским флотом. Таким образом, можно сделать вывод, что мы живем в веке ДВС.

Несмотря на это, двигатели внутреннего сгорания являются весьма несовершенным типом тепловых машин, поскольку имеют низкий КПД, повышенную шумность, токсичные выбросы, небольшой ресурс, сложную конструкцию.

Топливом для ДВС служат фракции от переработки нефти (в основном это бензин и дизельное топливо). В настоящее время в мире эксплуатируется около полутора миллиарда автомобилей, которые потребляют более 70 % объема всей добываемой нефти. При сгорании автомобильного топлива в атмосферу выбрасываются различные токсичные вещества: оксид углерода (CO), углекислый газ (CO₂), оксиды азота – (NO_x), а также углеводороды (C_nH_m). Данные вещества загрязняют окружающую среду, негативно воздействуют на здоровье людей и создают серьезную экологическую озабоченность.

Таким образом, можно сказать, что одним из основных поставщиков вредных веществ в атмосферу является автомобильный транспорт, оснащенный двигателем внутреннего сгорания [1- 3, 12, 13].

Это практически заставляет отказаться от ДВС, что наглядно подтверждается постоянным ужесточением экологических требований к ним, а также политикой перевода автотранспорта на альтернативные виды топлива и электропривод.

Однако сразу перевести мировой парк транспортных средств на другой вид энергии невозможно, да и нецелесообразно, в связи с их огромным количеством. Именно поэтому во всем мире ведутся работы и применяются меры по снижению потребления топлива и вредных выбросов в атмосферу путем усовершенствования существующих ДВС.

С целью решения данной проблемы уже существует несколько основных направлений, реализуемых на сегодняшний день, а именно: работа по снижению удельного расхода топлива; применение принципиально новых конструкций двигателей; повышение качества топлива; до-

бавка в топливо присадок; использование экологически более безопасных видов топлива; утилизация или нейтрализация вредных выбросов; уменьшение массы автомобиля и улучшение его аэродинамических форм; своевременная диагностика и правильная наладка всех систем двигателя; соблюдение предписанных норм технического обслуживания (ТО).

Разработаны опытные образцы новых типов двигателей (Scuderi, Pinnacle, ОРОС, Waste Heat Engine (WHE), двигатель Стирлинга, роторные и роторно-лопастные двигатели), разрабатываются новые конструкции отдельных систем (двигатели без распределительных валов, двигатель с переменным коэффициентом сжатия, двигатель с регулируемым подъемом клапанов и т.д.); внедряются новые материалы, в том числе композитные, для корпусных и нагруженных частей двигателя, переходят на использование альтернативных видов топлива (в первую очередь природного газа, биотоплива и водорода). Однако почти все представленные выше пути повышения экологичности работы ДВС либо уже исчерпали себя, либо требуют больших материальных затрат и времени [2, 4, 5-14].

Конечно, данная работа будет продолжаться, и многие дорогие методы со временем станут незначительными, а конкретно сегодня необходимо широкомасштабно применить знакомые, известные способы по повышению эффективности работы поршневого двигателя.

Рассмотрим возможность уменьшения выброса в атмосферу токсичных газов и снижения расхода топлива при работе поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Для примера исследуем цикл ДВС с изохорным подводом теплоты, реализуемый в бензиновом двигателе с принудительным поджигом (цикл Отто). Термический КПД цикла, другими словами, количество теплоты, превращенное в полезную работу, определяется известным уравнением:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_u}{q_1}, \quad (1)$$

где q_1 , q_2 – соответственно количество подведенной и отведенной в цикле теплоты, Дж/кг; l_u – полезная работа цикла, Дж/кг.

Кроме того, для рассматриваемого цикла Отто с изохорным подводом теплоты термический КПД можно выразить через степень сжатия:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}, \quad (2)$$

где ε – степень сжатия; k – показатель адиабаты.

Как следует из формулы (2), для увеличения полезной работы двигателя необходимо воздействовать либо на степень сжатия, либо на показатель адиабаты, либо на обе величины одновременно. Определяя величину, на которую необходимо воздействовать, проанализируем, как она повлияет не только на повышение КПД, но и на другие важные показатели. Например, большое значение, как было сказано выше, имеют экологические показатели выхлопных газов, расход топлива, а также необходимость внесения изменений в рабочие узлы и механизмы двигателя, ресурс работы.

Можно сказать, что наиболее известным способом достижения роста КПД является увеличение степени сжатия ε , определяемой в соответствии с выражением:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}, \quad (3)$$

где: V_a – полный объем цилиндра, м³; V_c – объем камеры сгорания, м³.

Выражение (3) показывает, что степень сжатия является конструктивным параметром двигателя внутреннего сгорания, определяемым относительной величиной объема сжатия рабочего тела, но в то же время несет в себе и энергетическую характеристику, отвечающую за количество подведенной теплоты и, как итог, за работу термодинамического цикла [1]. Данная работа, в свою очередь, характеризуется величиной среднего давления, представляющего собой работу за цикл, отнесенную к 1 м^3 рабочего объема цилиндра:

$$p_t = \frac{L_i}{V_h}, \quad (4)$$

где: p_t – среднее давление, Па; L_i – работа цикла, Дж; V_h – рабочий объем цилиндра, м^3 .

Среднее давление можно представить, как постоянное давление, которое за один ход поршня производит работу, равную работе цикла.

Учитывая, что в соответствии с (3) рабочий объем цилиндра определяется следующим образом:

$$V_h = V_a - V_c = V_a \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \right), \quad (5)$$

а степень повышения давления в процессе подвода теплоты:

$$\lambda = \frac{p_z}{p_h}, \quad (6)$$

где: p_z – максимальное давление цикла, Па; p_h – давление в конце процесса сжатия, Па.

Среднее давление возможно рассчитать в соответствии со следующей зависимостью:

$$p_t = p_a \frac{\varepsilon^k \eta_t}{(k - 1)(\varepsilon - 1)} (\lambda - 1), \quad (7)$$

где: p_t – среднее давление, Па; p_a – давление начала сжатия, Па.

Уравнение (7) наглядно показывает связь степени сжатия с величиной среднего давления цикла, характеризующего работу цикла. Наглядно величину среднего давления можно показать на графике, представленном на рис. 1.

Как видно из уравнения (7), с увеличением степени сжатия среднее давление цикла повышается. Также с увеличением степени сжатия точки c , l , m , z на диаграмме сместятся влево (на рис. 1 показано пунктиром), что повлечет к увеличению площади, эквивалентной работе цикла [1].

Практически увеличить степень сжатия не составляет большого труда. Для этого нужно уменьшить объем камеры сгорания, что достигается, например, заменой прокладки между головкой цилиндра и цилиндром на более тонкую, либо фрезеровкой головки. На схеме (рис. 2) хорошо видно, что при использовании одного из вариантов объем камеры сгорания уменьшается.

Так обычно и делают «умельцы» у себя в гаражах, однако поставить данный способ на конвейер, к сожалению, невозможно. Если проанализировать теоретический цикл ДВС на p - v и T - s диаграммах (рис. 3), то можно сделать вывод, к чему это приведет.

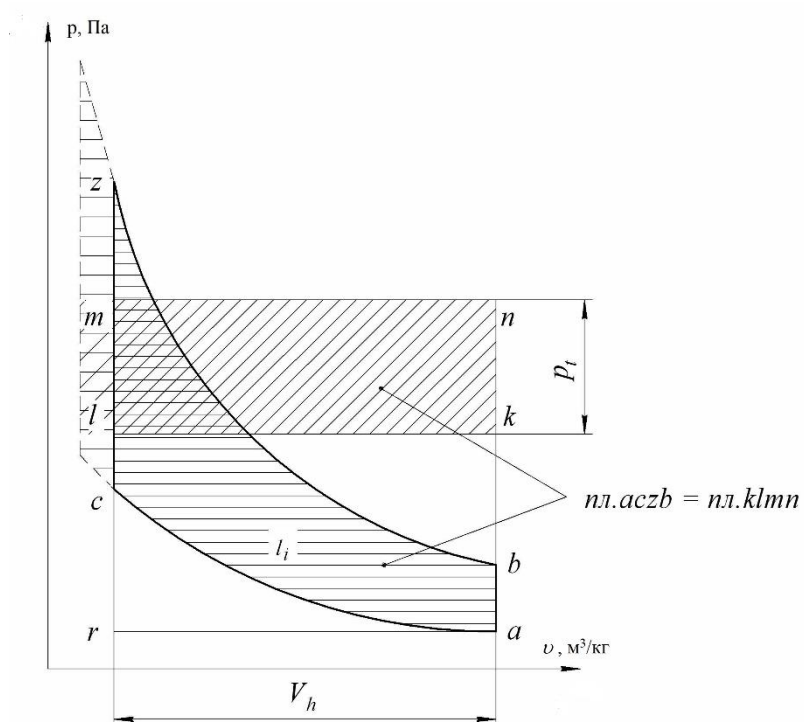


Рисунок 1 – Диаграмма и среднее индикаторное давление цикла бензинового двигателя

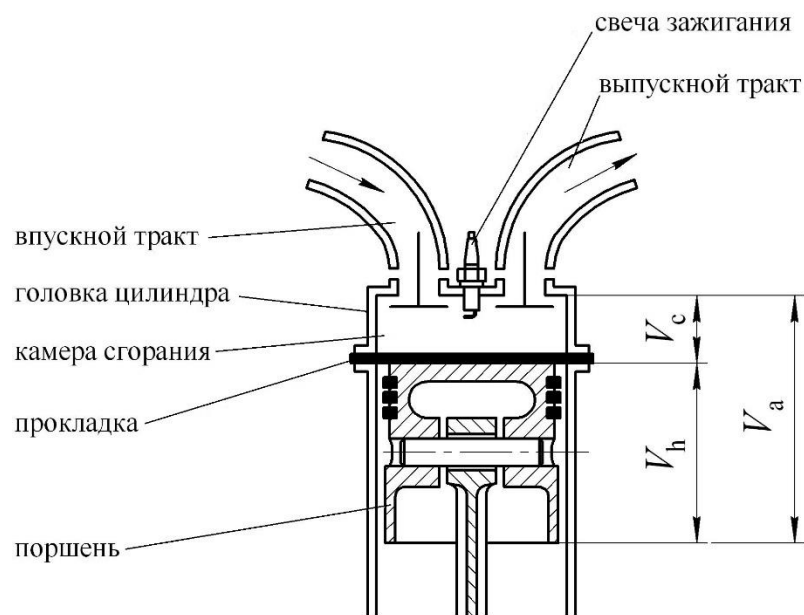
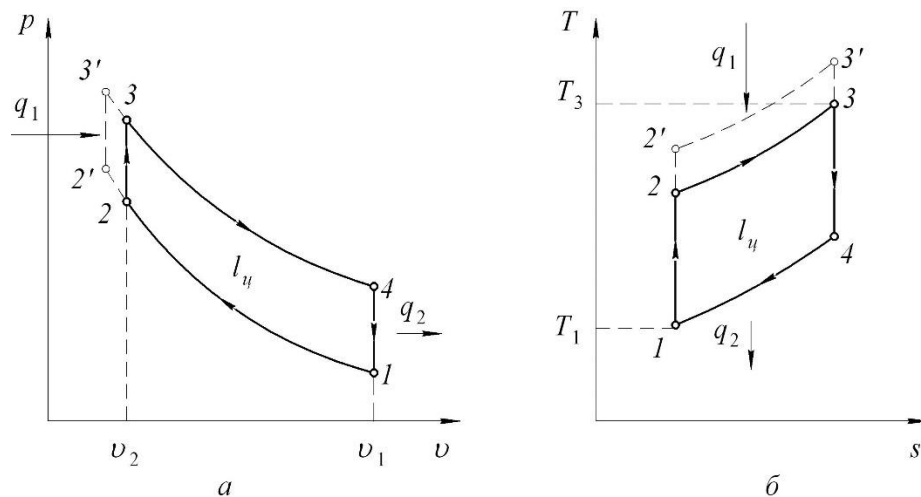


Рисунок 2 – Схема основных элементов ДВС



а) диаграмма $p-v$; б) диаграмма $T-s$;

1-2 – процесс сжатия топливно-воздушной смеси; 2-3 – процесс подвода теплоты;
3-4 – процесс расширения продуктов сгорания; 4-1 – процесс отвода теплоты

Рисунок 3 – Диаграммы теоретического цикла ДВС с изохорным подводом теплоты

Из рис. 3 видно, что при уменьшении объема камеры сгорания точка 2 на $p-v$ диаграмме, характеризующая объем рабочего тела после процесса сжатия, поднимется вверх (точка 2' на рис. 3, а), т.к. повысится давление. Это в свою очередь повлечет увеличение температуры рабочего тела, т.к. с ростом давления температура повышается, т.е. на $T-s$ диаграмме точка 2 так же переместится вверх (точка 2' на рис. 3, б). Далее в цикле следует подвод теплоты, близкий к изохорному (т.к. топливно-воздушная смесь сгорает в цилиндре практически мгновенно и ее объем не успевает при этом измениться), при этом точка 3 примет другое положение с более высокой температурой, характеризуемой точкой 3'. Кроме того, с ростом температуры увеличивается и теплоемкость газовой смеси. Таким образом, увеличивается количество подводимой в цикле теплоты q_1 и значение термического КПД, определяемого уравнениями:

$$q_1 = c_{v_{см}}(T_3 - T_2), \quad (8)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}, \quad (9)$$

где $c_{v_{см}}$ – удельная изохорная теплоемкость газовой смеси, Дж/(кг·К); T_2 , T_3 – соответственно термодинамическая температура воздуха в конце процесса сжатия и газовой смеси в конце процесса подвода теплоты, К; q_1 , q_2 – соответственно количество подводимой и отводимой теплоты в цикле, Дж/кг.

Однако изменение температурного режима, а именно рост температуры продуктов сгорания в цилиндре двигателя, неблагоприятно скажется на долговечности и ресурсе, ведь материалы цилиндра, поршня, клапанов, головки, прокладки рассчитаны при проектировании двигателя на определенную тепловую нагрузку. Как правило, это в скором времени приведет к термическому разрушению (прогоранию) названных элементов. Рост температуры, в свою очередь, негативно повлияет и на систему охлаждения, увеличив температуру охлаждающей жидкости, а значит, ухудшит охлаждение. Кроме того, самовольное увеличение степени сжатия, приводящее, как было сказано выше, к росту температур, непременно приводит к самовозгоранию топливно-воздушной смеси, что приводит к детонационному режиму работы двигателя, являющегося недопустимым, и ведущим, в конце концов, к его разрушению. Таким образом, увеличивая степень сжатия, одновременно необходимо решить задачу по снижению

температуры внутри камеры сгорания. Нельзя забывать и о возросшем давлении, которое будет оказывать большую силу на все внутренние элементы цилиндра и шатунно-поршневой группы (поршневой палец, шатун, коленчатый вал, подшипники, вкладыши, сальники), что также может привести к их разрушению или нарушению герметичности камеры сгорания путем утечки газа через кольца поршня, прокладку или клапаны.

Данную задачу можно решить путем замены материалов на более жаростойкие и жаропрочные, увеличить толщину деталей, настроить систему зажигания на новые условия, обеспечить надежное соединение головки с блоком цилиндров, клапанов в седлах головки, прилегание колец к поршню и цилиндру. Однако это потребует серьезного вмешательства в конструкцию и технологический процесс изготовления деталей, повлечет к увеличению массы и габаритов двигателя. По сути, необходима разработка нового двигателя, а это потребует больших капитальных вложений и удорожание двигателя. Кроме того, данные мероприятия не избавят от проблемы токсичности выхлопных газов.

Вторым способом увеличения КПД является изменение показателя адиабаты, который, как известно, зависит от рода газа, т.е. можно сказать от состава рабочей смеси, поступающей в цилиндр. Это, в свою очередь, влияет на количество выделяющегося тепла и, в конечном итоге, на КПД. Рассмотрим возможность изменения состава газа в камере сгорания путем впрыска воды в топливно-воздушную смесь. Такой метод известен давно, однако, как говорится, все новое – это хорошо забытое старое. Сохранились сведения об опытах Гюгона по впрыску воды для снижения температуры в цилиндре в двигателе Ленуара, проведенных еще в 1864 г. Технология впрыска воды широко применялась во время Второй мировой войны в радиальных поршневых авиационных двигателях самолетов для кратковременного форсажа. Автогигант Chrysler применял данный метод для увеличения мощности и снижения детонации на моделях с моторами большого объема, Saab, устанавливал систему впрыска воды на скоростном Saab 99 Turbo S вплоть до начала 1980-х годов. Для повышения мощности и охлаждения камеры сгорания система впрыска воды использовалась в автогонках Формулы-1 и WRC, и показала свою результативность. Выпускались даже комплекты впрыска, например известными фирмами AEM, Aquamist, JPlab Basic (рис. 4), которые можно было поставить на любой автомобиль, оборудованный ДВС. Однако до конвейерного производства данная технология не дошла.



Рисунок 4 – Системы впрыска воды

И в настоящее время ученые и исследователи во многих странах продолжают работы над разработкой и внедрением устройств систем для впрыска воды (или водяного пара) в ДВС.

Пока в продаже нет автомобилей с такими двигателями, но это не значит, что их нет на наших дорогах. Система впрыска воды в двигатель является одним из доступных способов тюнинга силового агрегата. Некоторые увлеченные автомобилисты и сегодня своими руками мастерят простые самодельные устройства подачи воды в двигатель и ездят на своих машинах. Что их толкает на такие эксперименты? Наблюдая за работой двигателя, они утверждают, что уменьшается расход бензина, повышается тяга. При разборке двигателя выясняется, что свечи

и поверхности контакта с продуктами сгорания имеют меньше нагара, т.е. увеличивается ресурс двигателя, а при диагностике выхлопных газов наблюдается их меньшая токсичность. Данными фактами практически подтверждается положительное влияние воды в цикле ДВС.

Время от времени тема применения воды в ДВС «всплывает» и сегодня на различных форумах, но, как правило, всё сводится к общепринятым и бесконечно повторяющимся данным. Также приводятся одни и те же примеры более или менее удачного применения воды в плане эффективности, но нет главного – конкретных цифр и результатов практических экспериментов или, в широком понимании, теории.

Рассмотрим и проанализируем данные факты. При впрыске воды, давление в процессе сжатия будет возрастать, и точка 2 на $p-v$ диаграмме поднимется выше. Однако, в отличие от работы на обычной топливовоздушной смеси, температура смеси не повысится, а понизится. Понятно, что это связано как раз с добавлением воды, имеющей уникальные свойства, а именно большую теплоемкость (теплоемкость воды равна $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, тогда как у бензина она примерно $2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) и теплоту парообразования (теплота парообразования воды равна $2260 \text{ кДж}/\text{кг}$ при температуре 100°C , в то время как у топлива примерно $300 \text{ кДж}/\text{кг}$). Поэтому часть теплоты, подводимой в момент сгорания топлива, идет на нагрев воды, ее испарение и перегрев пара, чем и объясняется охлаждающий эффект воды, впрыснутой в цилиндры двигателя. Благодаря высокой теплоёмкости вода значительно уменьшает температуру в двигателе, что в итоге приводит к снижению температуры смеси, а именно продуктов сгорания (именно поэтому воду используют при тушении пожаров: при соприкосновении с горящим предметом вода забирает у него большое количество теплоты, которое значительно больше, чем при использовании такого же количества любой другой жидкости). Кроме того, более низкая температура смеси в конце впуска при использовании впрыска воды приводит к увеличению плотности заряда и повышению коэффициента наполнения, что, в свою очередь, ведет к повышению среднего эффективного давления и увеличению мощности двигателя (не случайно замечено, что двигатели автомобилей имеют лучшие рабочие и мощностные показатели в дождливую погоду, когда в камеру сгорания засасывается влажный воздух).

При повышении давления температура кипения воды будет гораздо больше. Но, как известно при температуре больше 430°C вода переходит в газообразное состояние независимо от увеличивающегося давления, а в цилиндре двигателя температура гораздо больше. В это же время будет протекать процесс диссоциации, т.е. расщеплении молекул воды, сопровождающийся поглощением теплоты и понижением температуры.

Кроме того, при появлении в камере сгорания водяного пара уменьшается количество поступающего в нее топлива и, как следствие, меньше выделяется тепла. С другой стороны, мельчайшие капельки воды, покрытые пленкой бензина, при повышении температуры разбиваются, что способствует лучшему смесеобразованию и более полному сгоранию топлива.

Расширяющийся в цилиндре пар (H_2O) для экологии значительно безопаснее, чем сжатый воздух. Точка 4 на $T-s$ диаграмме опустится ниже, а количество отводимой в цикле теплоты уменьшится. Кроме того, при диссоциации вода распадается в пределах $4...10\%$ на водород и кислород. Водород участвует в процессе сгорания, выделяя дополнительное тепло и, таким образом, экономя топливо, а кислород обеспечит более полное сгорание топлива, снижая количество вредных веществ в выхлопных газах. Кроме того, частичная замена части воздуха, который содержит до 80% азота, водяным паром, уменьшает количество токсичных оксидов азота NO_x в выхлопе, образуя безвредные CO_2 (углекислый газ) и H_2O (воду).

В данном случае просматривается положительный эффект, т.к. вода расширяется при испарении в 1700 раз от своего объема в жидком виде, давит на поршень в цилиндре двигателя, создает паровой эффект в двигателе внутреннего сгорания, который выражается в повышении крутящего момента двигателя.

Тем не менее, несмотря на актуальность рассмотренного вопроса и положительный результат данного способа, подтвержденный практикой, внедрения его в массовое производство не произошло. Основными причинами являются недостаточная научная проработка всего

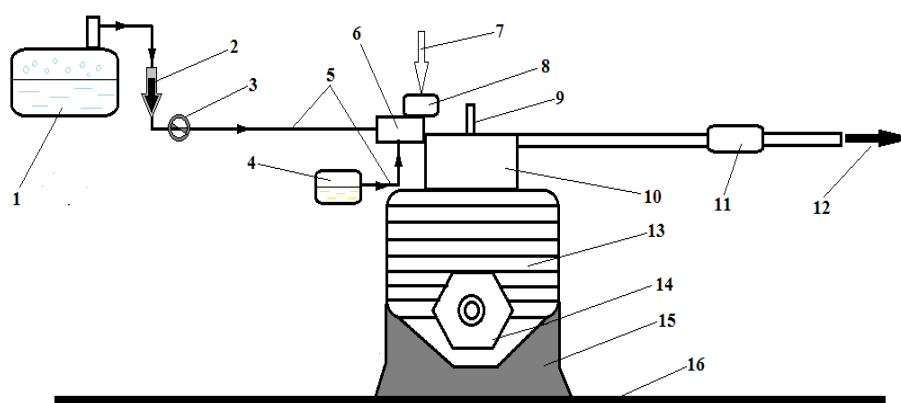
этого сложного комплекса взаимосвязанных процессов по подготовке, подаче, распылению, дозировке воды при различных условиях и режимах работы двигателя и достаточно сложная, в связи с этим, производственно-техническая задача.

Достижения научно-технического прогресса, особенно в части электроники, позволяют надеяться на положительные изменения в данной проблеме. Микропроцессор сможет следить и регулировать мгновенную подачу воды при соответствующей нагрузке с целью сохранения момента вращения маховика мотора.

2 Материалы и методы

Все это показывает перспективу для использования ДВС с впрыском воды. С целью экспериментального исследования процесса работы ДВС на топливо-водо-воздушной смеси разработана установка на базе четырехтактного двигателя (рис. 5).

Для получения водо-воздушной смеси разработана установка парогенератора на основе ультразвукового излучателя (рис. 6). Ультразвуковой излучатель, помещенный в воду, при помощи ультразвука превращает ее в холодный пар. При этом излучатель помещен в емкость с дистиллированной водой. Над поверхностью воды имеется пространство с целью аккумуляции пара и сепаратор для предотвращения попадания воды в выходной штуцер и вентилятор. Вентилятор создает циркуляцию воздуха: сухой (атмосферный) нагнетается в емкость, а влажный туман вытесняется из емкости в выходной штуцер, идущий к карбюратору ДВС.



1 – парогенератор, 2 – водяной пар, 3 – запорный кран, 4 – топливный бак, 5 – топливо-паропроводы, 6 – карбюратор, 7 – атмосферный воздух, 8 – воздухоочиститель, 9 – свеча зажигания, 10 – головка цилиндра, 11 – глушитель, 12 – выхлопные газы, 13 – цилиндр с картером, 14 – стартер, 15 – рама, 16 – станина

Рисунок 5 – Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования эффективности работы поршневого двигателя при использовании смеси топлива и водяного пара

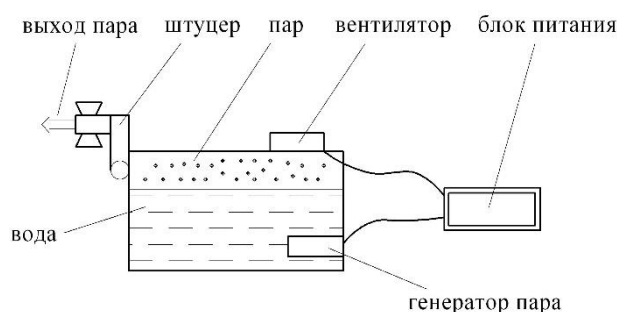


Рисунок 6 – Принципиальная схема парогенератора

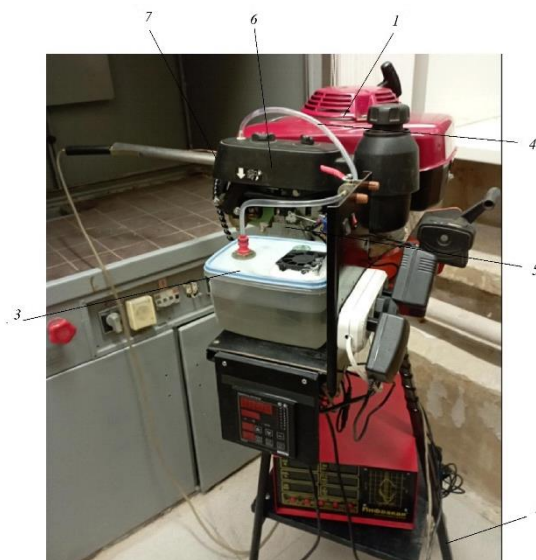
На основе схемы собрана экспериментальная установка на базе четырехтактного одноцилиндрового бензинового двигателя HONDA GXV 160. Основные характеристики двигателя представлены в табл. 1.

На рис. 7 представлен внешний вид экспериментальной установки. Используемый ДВС 1 через резиновые подушки прикреплен к стальной раме 2, на которой также размещен парогенератор 3. Пар из парогенератора по паропроводу 4 непосредственно поступает в камеру смешения карбюратора 5, а оттуда непосредственно в цилиндр двигателя. Необходимый для окисления топлива кислород воздуха поступает в карбюратор из окружающей атмосферы через воздушный фильтр 6. Образовавшиеся после сгорания топлива продукты сгорания удаляются через глушитель 7.

Для снятия значений скорости вращения вала, температуры и токсичности выхлопных газов на стенде установлены тахометр, измеритель температуры с термопарами и газоанализатор. Газоанализатор «ИНФРАКАР М» предназначен для измерения объемной доли оксида углерода (CO), углеводородов (в пересчете на гексан), диоксида углерода (CO₂), кислорода (O₂) и оксида азота (NO) в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями.

Таблица 1 – Основные характеристики двигателя HONDA GXV 160

Тип двигателя	четырёхтактный одноцилиндровый бензиновый двигатель OHV с верхним расположением кулачков и вертикальным расположением вала
Тип гильзы цилиндра	чугунная гильза
Диаметр гильзы, мм	68
Ход поршня, мм	45
Рабочий объем, см ³	163
Коэффициент сжатия	8,0 : 1
Полезная мощность	3,2 кВт (4,3 л.с.) / 3600 об/мин
Номинальная мощность	2,0 кВт (2,7 л.с.) / 3000 об/мин
Максимальный крутящий момент	9,6 Нм (0,98 кгм) / 2500 об/мин
Система зажигания	транзисторная магнето
Стандартная скорость холостого хода, об/мин	1400 + 200 / –150
Момент зажигания	фиксированный, 25° до в.м.т.
Зазор свечи зажигания, мм	0,70...0,80
Карбюратор	с горизонтальным потоком и поворотными заслонками
Система смазки	разбрызгиванием
Расход топлива при номинальной мощности	1,1 л/час – 3000 об/мин
Объем масла в двигателе, л	0,65
Применяемое топливо	бензин автомобильный АИ-92



1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – рама; 3 – парогенератор;
4 – паропровод; 5 – карбюратор; 6 – воздушный фильтр; 7 – глушитель

Рисунок 7 – Экспериментальная установка для исследования эффективности работы поршневого двигателя при использовании смеси топлива и водяного пара

Порядок проведения экспериментов заключался в следующем. При закрытом кране подачи тумана производился запуск двигателя. После стабилизации равномерной работы на определенных оборотах включался парогенератор и открывался кран подачи тумана в камеру смешения карбюратора. При этом проводилось наблюдение за работой двигателя, как визуальное, так и по приборам, а именно фиксировались изменения частоты вращения вала, температуры выхлопных газов и их токсичность.

3 Результаты исследований

Основной состав используемого атмосферного воздуха представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Основной состав атмосферного воздуха

Показатели	Значение, %
Азот	78
Кислород	20,95
Аргон	0,93
Углекислый газ	0,03
Другие газы	0,09

Реакция окисления углеводородов топлива, т.е. соединения с кислородом при высокой температуре более 1300 °С, дает образование оксидов углерода CO_n , оксидов азота NO_n и углеводородов C_nH_m . Состав продуктов сгорания исправного двигателя, работающего на стехиометрической смеси, когда отношение α реального количества воздуха к теоретически необходимому для полного сжигания топлива равно единице (α – коэффициент избытка воздуха), имеет следующие параметры (табл. 3).

В реальном двигателе невозможно достичь идеальных значений, поэтому значение показателей выхлопных газов будут выше.

При проведении первоначальных экспериментов газоанализатор и измеритель температур показали следующие значения (табл. 4-8).

Таблица 3 – Состав продуктов сгорания ДВС, работающего на стехиометрической смеси

Показатели	Значение
CO	0,5...0,7 %
CO ₂	13,5...14 %
CH	100...200 млн ⁻¹
O ₂	0,5...1 %

Таблица 4 – Результаты эксперимента № 1

Показатели	Вредные выбросы	Вредные выбросы с использованием тумана
CO, %	6,592	6,333
CO ₂ , %	9,567	9,183
CH, млн ⁻¹	99	87
t, °C, выхл. тр.	1028	991

Таблица 5 – Результаты эксперимента № 2

Показатели	Вредные выбросы	Вредные выбросы с использованием тумана
CO, %	6,962	6,724
CO ₂ , %	8,944	8,930
CH, млн ⁻¹	86	76
t, °C, выхл. тр.	1129	1112

Таблица 6 – Результаты эксперимента № 3

Показатели	Вредные выбросы	Вредные выбросы с использованием тумана
CO, %	7,510	6,599
CO ₂ , %	8,963	8,746
CH, млн ⁻¹	96	86
t, °C, выхл. тр.	1139	1128

Таблица 7 – Результаты эксперимента № 4

Показатели	Вредные выбросы	Вредные выбросы с использованием тумана
CO, %	6,833	6,257
CO ₂ , %	9,583	9,229
CH, млн ⁻¹	89	82
t, °C, выхл. тр.	1135	1126

Таблица 8 – Результаты эксперимента № 5

Показатели	Вредные выбросы	Вредные выбросы с использованием тумана
CO, %	5,3	4,9
CO ₂ , %	9,4	8,1
t, °C, выхл. тр.	1135	1125

4 Обсуждение и заключение

Уменьшение количества вредных выбросов в атмосферу от ДВС уже на сегодняшний день является актуальной задачей в мире. Не трудно представить, как остро будет стоять эта проблема в будущем. Поэтому поиск решений этой задачи жизненно необходим. В данной работе рассмотрена возможность снижения токсичности выхлопных газов от ДВС путем добавления в топливовоздушную смесь воды в виде насыщенного влажного воздуха. Для реализации задачи разработана и смонтирована экспериментальная установка. Проведенные экспериментальные исследования выявили недостатки установки в плане определения некоторых параметров и поставили новые задачи, требующие реализации. Тем не менее, анализ первоначальных экспериментальных данных, снятых с установки, показал положительный эффект предложенного варианта. Во всех без исключения экспериментах зафиксировано снижение уровня токсичных газов: окиси углерода (CO) – на ~5 %, двуокиси углерода (CO₂) – на ~5 %, углеводородов (CH) – на ~10 %. Полученные результаты вселяют уверенность в правильном выборе варианта решения задачи.

Все вышеизложенное подтверждает необходимость усовершенствования установки и дальнейшего проведения экспериментальных и теоретических исследований.

Список литературы

- 1 Дьяченко, Н.Х. Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы / Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 551 с.
- 2 Митрофанов, С.В. О ДВС, его резервах и перспективах развития глазами специалиста / С.В. Митрофанов // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 4 (12)
- 3 Захаров, Е.А., Оценка экологической эффективности использования горючих газов как топлива для ДВС с искровым зажиганием / Е.А. Захаров, О.А. Шевякова, Д.Б. Ширшов // Молодой ученый. – 2012. – № 2 (37). – С. 29-32.
- 4 Злотин, Г.Н. Регулировка бензинового ДВС при переводе его на сжиженный нефтяной газ / Г.Н. Злотин, Е.А. Захаров, А.В. Кузьмин // Двигателестроение. – 2007. – № 2. – С.29-31.
- 5 Тамадаев, Т.В. Использование природного газа – решение экологических проблем отечественного автотранспорта [Электронный ресурс] / Т.В. Тамадаев, Л.М. Негинский, Е.В. Харченко // Юж. Рос. гос. техн. ун-т. – 2011. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-prirodnogo-gaza-reshenie-ekologicheskikh-problem-otechestvennogo-avtotransporta>.
- 6 Мефед, А.В. Перспектива применения электродвигателей в автомобилях / А.В. Мефед // Молодой ученый. – 2016. – № 11 (115). – С. 429-433.
- 7 2040 – нефть, электромобили и кое-что еще: сайт. URL: <https://www.finam.ru/analysis/newsitem/2040-neft-elektromobili-i-koe-chto-eshe-20190424-163728> (дата обращения 24.04.2023).
- 8 Современные транспортные технологии: сайт. URL: <https://azgaz.ru/gaz-world/news/gorkovskiy-avtozavod-predstavil-predseriynye-obraztsy-elektromobilya-gazelle-e-nn/> (дата обращения 01.10.2024).
- 9 Юга.ру: сайт. URL: <https://www.yuga.ru/news/453302-v-adygee-sobrali-pervyj-v-rossii-elektricheskij-mikroavtomobil/> (дата обращения 29.09.2024).
- 10 Высокие технологии: сайт. URL: <https://hightech.fm/2020/09/23/tesla-battery-day/> (дата обращения 25.10.2023).
- 11 Литвин, А.В. Современное состояние и перспективы развития пассажирского транспортного комплекса городской агломерации [Электронный ресурс] / А.В. Литвин, Ю.А. Мокрушин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-passazhirskogo-transportnogo-kompleksa-gorodskoy-aglomeratsii>.
- 12 Морозов, В.А. Анализ влияния транспортных потоков на экологию / В.А. Морозов, О.Н. Морозова, Н.А. Поляков // Сб. статей XIX научно-технической конференции с международным участием на тему: «Транспорт, экология – устойчивое развитие ЭКО Варна. – Варна, 2013. – С. 416-418.
- 13 Панин, С. Совершенствование ДВС / С. Панин // журнал «За рулём». – 2002. – № 4 – С. 147-151.
- 14 Гридин, Н.А. Роторно-лопастной двигатель Гридина / Н.А. Гридин // журнал «Энергетика и промышленность России». – 2006. – № 10 (74) – С. 42-46.

References

- 1 D'achenko, N.Kh. Theory of internal combustion engine. Working processes / N.Kh. D'achenko. – L., Mechanical Engineering, 1974. – 551 p.
- 2 Mitrofanov, S.V. About internal combustion engine, reserves and development prospects through the eyes of a specialist / S.V. Mitrofanov // Bulletin of Penza State University. – 2015. – No. 4 (12).
- 3 Zakharov, E.A., Assessment of the environmental efficiency of using combustible gases as fuel for spark-ignition internal combustion engines / E.A. Zakharov, O.A. Shevyakova, D.B. Shirshov // Young scientist. – 2012. – No. 2 (37). – Pp. 29-32.
- 4 Zlotin, G.N., Adjustment of a gasoline internal combustion engine when converting it to liquefied petroleum gas / G.N. Zlotin, G.N., E.A. Zakharov, A.V. Kuz'min // Engine building. – 2007. – No. 2. – Pp. 29-31.
- 5 Tamadaev, T.V. The use of natural gas as a solution to environmental problems of domestic vehicles [Electronic resource] / T.V. Tamadaev, L.M. Neginsky, E.V. Kharchenko // South Russian State Technical University. Univ. – 2011. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-prirodnogo-gaza-reshenie-ekologicheskikh-problem-otekhestvennogo-avtotransporta>.
- 6 Mefed, A.V. The prospect of using electric motors in cars / A.V. Mefed // Young Scientist. – 2016. – № 11 (115). – Pp. 429-433.
- 7 2040 – oil, electric vehicles and something else: a website. URL: <https://www.finam.ru/analysis/newsitem/2040-neft-elektromobili-i-koe-cto-eshe-20190424-163728> (accessed 04/24/2023).
- 8 Modern transport technologies: website. URL: <https://azgaz.ru/gaz-world/news/gorkovskiy-avtozavod-predstavil-predseriynye-obraztsy-elektromobilya-gazelle-e-nn/> / (date of address 01.10.2024).
- 9 South. <url>: the website. URL: <https://www.yuga.ru/news/453302-v-adygee-sobrali-pervyj-v-rossii-elektricheskij-mikroavtomobil/> / (accessed 29.09.2024).
- 10 High technology: a website. URL: <https://hightech.fm/2020/09/23/tesla-battery-day/> / (accessed 10/25/2023).
- 11 Litvin, A.V. The current state and prospects of development of the passenger transportation complex of the urban agglomeration [Electronic resource] / A.V. Litvin, Yu.A. Mokrushin // Engineering Bulletin of the Don. – 2015. – No. 1 – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-passazhirskogo-transportnogo-kompleksa-gorodskoy-aglomeratsii>.
- 12 Morozov, V.A. Analysis of the impact of traffic flows on ecology / V.A. Morozov, O.N. Morozova, N.A. Polyakov // Collection of articles of the XIX scientific and technical conference with international participation on the topic: "Transport, ecology – sustainable development of ECO Varna. – Varna, 2013. pp. 416-418.
- 13 Panin, S. Improving the internal combustion engine / S. Panin // Za rulem magazine. - 2002. – No. 4 – pp. 147-151.
- 14 Gridin, N.A. Gridin's rotary-blade engine / N.A. Gridin // journal "Energy and Industry of Russia". – 2006. – № 10 (74) – Pp. 42-46.

© Толстов С. А., Панченко С. Л., Толстова А. С., 2025