

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ БЕНЗИНА В ЦИЛИНДР**

**Д. Н. Ахметов**

## **METHODS OF IMPROVING ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL MEASURES OF TWO-STROKE ENGINE WITH CYLINDER DIRECT PETROLEUM INJECTION**

**D.N. Akhmetov**

**Для повышения экологических показателей двухтактного двигателя с внешним смесеобразованием необходимо внесение некоторых конструктивных изменений, переход на внутреннее смесеобразование и организация непосредственного впрыска топлива в камеру сгорания двухтактного двигателя. Эффективность снижения токсичных компонентов в отработавших газах и улучшений экономических и экологических показателей двухтактного малогабаритного двигателя достигается за счет отдельной подачи топлива и воздуха.**

*Ключевые слова: двухтактный бензиновый двигатель, непосредственный впрыск топлива, экономические и экологические показатели.*

**For improving environmental measures of two-stroke engine with carburetion it is necessary to make some constructional change, to pass to the inner fuel injection and to organize direct fuel injection into combustion chamber of the two-stroke engine. The efficiency of reducing toxic components of waste gases methods of improving economical and environmental measures of small-size two-stroke engine will be considered with the help of split-pumping of fuel and air.**

*Keywords: two-stroke petroleum engine, direct fuel injection, economical and environmental measures.*

Высокооборотные двухтактные малогабаритные двигатели на данном этапе развития обладают существенным недостатком по сравнению с четырехтактными двигателями. Повышенный расход топлива и повышенная токсичность отработавших газов - эти факторы сдерживают их дальнейшее развитие.

При организации рабочего цикла двухтактного двигателя основной трудностью является процесс газообмена. Если в четырехтактном двигателе основная масса отработавших газов вытесняется поршнем, после чего следует наполнение цилиндра свежим зарядом, то в двухтактном двигателе с внешним смесеобразованием освобождение цилиндра от отработавших газов производится рабочей смесью, что неизбежно связано с потерей части топлива в период продувки в выпускную систему. Процесс наполнения цилиндра, происходящий при открытых выпускных окнах, осложняется движением основного потока внутри цилиндра. Для петлевой схемы продувки характерен поворот основных потоков свежей смеси, вытесняющих отработавшие газы к выпускным окнам. Это приводит к появлению застойных зон, увеличивающих количество остаточных газов в цилиндре до 15-25 % от общей массы [1]. По мере прикрытия дроссельной заслонки относительное количество остаточных газов растет, достигая максимума на режимах холостого хода. Из-за сильного разбавления рабочей смеси остаточными газами и значительных потерь топлива в выпускную систему происходит ухудшение условий воспламенения и сгорания смеси. И следовательно, ухудшается экономичность рабочего цикла, повышается токсичность отработавших газов, наблюдается межцикловая нестабильность вплоть до пропусков зажигания. Все это, в конечном итоге, вызывает необходимость обогащения смеси, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на экономических и экологических показателях двухтактного двигателя. Экономичность двухтактного двигателя ухудшается по сравнению с четырехтактными двигате-

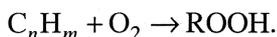
лями в два раза, а содержание окислов углерода в отработавших газах в пять раз больше, чем у четырехтактных двигателей [2].

Очевидно, что улучшение топливной экономичности и сокращение выброса вредных веществ имеет решающее значение для сохранения двухтактных двигателей и расширения области их применения. Из-за низкой экологичности эксплуатация двухтактных двигателей частично запрещена на территории водоемов курортных зон РФ.

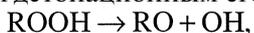
Решение этой проблемы в настоящее время связано с усложнением конструкции и технологии изготовления двигателя, с возрастанием затрат на производство и обслуживание. Существует ряд направлений по совершенствованию процесса газообмена, предусматривающих сокращение потерь топлива в период продувки. По степени эффективности сокращения потерь топлива их можно разбить на две большие группы. К первой группе можно отнести те новые схемы газообмена, которые полностью исключают потери топлива при очистке цилиндра от отработавших газов с непосредственным впрыскиванием топлива в камеру сгорания после закрытия выпускных окон. Направления, относящиеся ко второй группе, предусматривают лишь частичное сокращение потерь топлива в период газообмена. Например: впрыскивание топлива в объемы продувочных каналов или объем цилиндра при неполностью закрытых выпускных окнах, организация послойного ввода свежего заряда в объем цилиндра при внешнем смесеобразовании, специальная настройка системы выпуска.

Наряду с недостатками двухтактные двигатели имеют и существенные достоинства. В частности, это хорошие габаритно-массовые показатели, меньшая металлоемкость по сравнению с четырехтактными двигателями, простота конструкции из-за отсутствия газораспределительного механизма и хороший коэффициент приспособляемости по нагрузке. Поэтому двухтактный двигатель хорошо зарекомендовал себя на силовых установках малой мощности. Дальнейшее сокращение расхода топлива возможно только при внедрении непосредственного впрыска топлива в цилиндр двигателя.

Впрыск топлива ведет к уменьшению времени контакта топлива с масляной пленкой, находящейся на стенке цилиндра, что ведет к снижению концентрации гидроперекиси:



При достижении определенных значений плотности несгоревших частиц топлива в цилиндре двигателя происходит распад гидроперекисей с образованием активных центров и с последующим детонационным сгоранием:



где RO и OH - активные центры (осколки молекул и атомов, имеющих свободную валентность).

Снижение концентрации вредных компонентов в отработавших газах ( $NO_x$ , CH, CO) достигается за счет внедрения электромагнитной форсунки в конструкцию двухтактного малолитражного двигателя, вследствие чего, двигатель может работать на топливе с более низким октановым числом или на том же топливе, но со значительной экономией.

В лаборатории создан стенд на базе двухтактного одноцилиндрового двигателя с системой непосредственного впрыска бензина. На данном двигателе были проведены опыты по сравнительным испытаниям двигателя, работающего на карбюраторном режиме и на инжекторном режиме с непосредственным впрыском. На двигатель установлена электромагнитная форсунка с топливной магистралью высокого давления. Топливный насос создает постоянное давление в топливной рампе (0,5 МПа), для сглаживания пульсации давления от работы насоса служит аккумулятор и установленный на нем дроссельный клапан [3].

Практическая реализация способа сокращения потерь топлива в период продувки цилиндра малогабаритного двухтактного двигателя представлена на рис. 1, на котором видно место и способ установки форсунки и компоновку впускного патрубка двухтактного двигателя.

На данном двигателе установлена «двойная» система питания, т. е. двигатель может работать на карбюраторном режиме (как обычный двухтактный двигатель) и с непосредственным впрыском топлива в цилиндр двигателя. Такая организация системы питания двухтактного двигателя необходима для того, чтобы провести более точные экспериментальные сравнительные исследования в сфере повышения топливной экономичности и повышения экологических показателей (в частности по  $NO_x$ , CH, CO) двухтактных двигателей по сокращению расхода топлива и умень-

шению выбросов отработавших газов. В цилиндре двигателя 1 (см. рис. 1) выполнены отверстия под установку форсунки 2, и продувочного канала 4. Продукты сгорания вытесняются в выпускной трубопровод 3.

Расположение форсунки в стенке цилиндра выше верхней кромки выпускного окна в зоне низких температур и давления повышает надежность и долговечность форсунки, и делает возможным использование отработанных аккумуляторных систем питания с внешним смесеобразованием четырехтактных инжекторных двигателей на двухтактном малогабаритном двигателе, и установку данных систем на двигатели отечественного и импортного производства. Принципиальная схема показана на рис. 2.

Предлагаемая аккумуляторная система непосредственного впрыска топлива в цилиндр двухтактного двигателя управляется блоком электронного управления. Электронная система питания включает функциональные датчики, набор устройств, для обработки информации и исполнительные механизмы, обеспечивающие одновременное выполнение нескольких различных функций. В зависимости от числа электромагнитных форсунок и их размещения различают системы с распределенным впрыскиванием топлива [1,2].

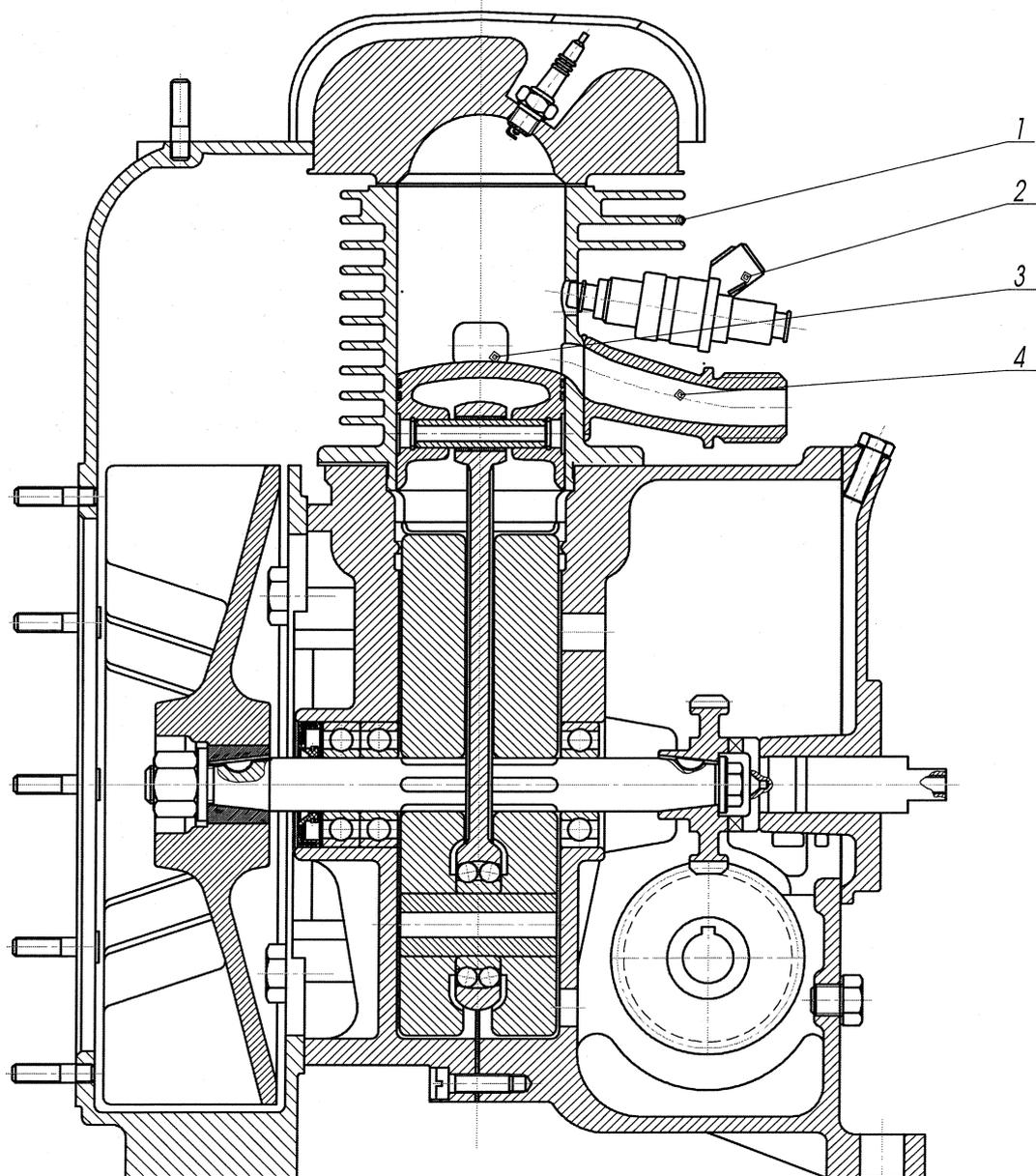
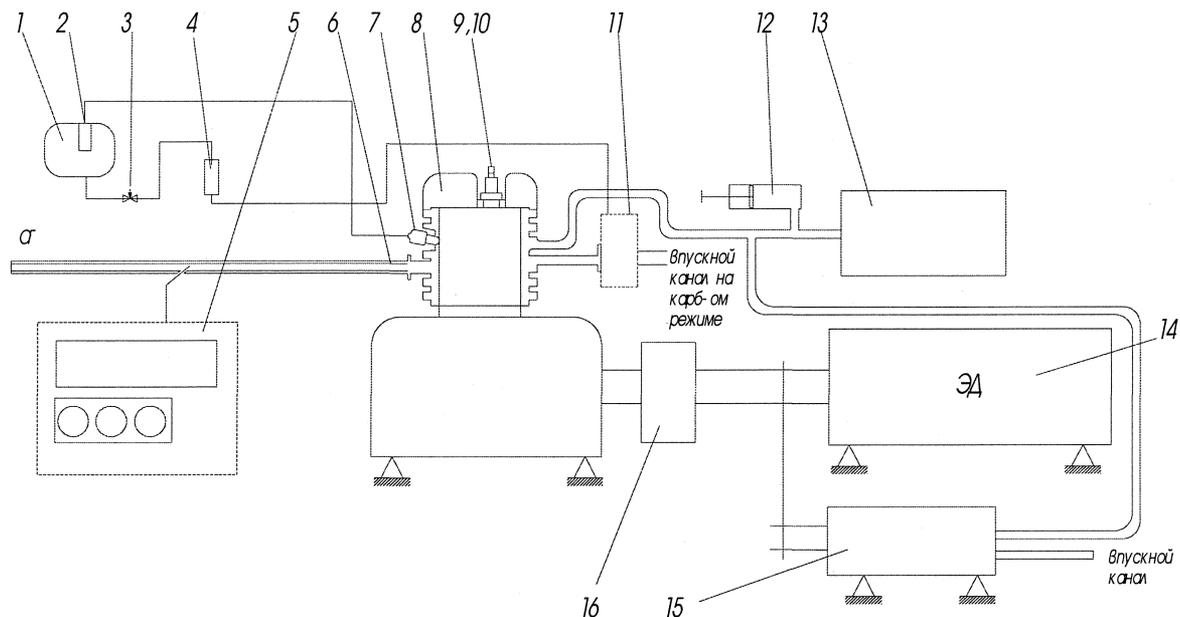


Рис. 1. Малогабаритный двухтактный двигатель 2СД-М1-ОП: 1 - цилиндр двигателя; 2 - электромагнитная форсунка; 3 - выпускное окно; 4 - продувочное окно (впускные)



**Рис. 2.** Принципиальная схема экспериментальной установки 2СД-М1-ОП: 1 – топливный бак; 2 – топливный насос высокого давления; 3 – топливный вентиль (для работы двигателя на карбюраторном режиме); 4 – расходомер топлива; 5 – газоанализатор четырехкомпонентный; 6 – выпускной трубопровод ОГ; 7 – электромагнитная форсунка; 8 – цилиндр двигателя; 9, 10 – свеча зажигания с индикаторным датчиком давления; 11 – карбюратор; 12 – ресивер; 13 – продувочный компрессор; 14 – электрогенератор (нагрузочное устройство); 15 – дополнительный компрессор; 16 – датчик крутящего момента

Электронный блок управления, является управляющим центром системы впрыска топлива. Он непрерывно обрабатывает информацию от различных датчиков и управляет системами, влияющими на токсичность отработавших газов и на эксплуатационные показатели двигателя [4]. Датчик, регистрирующий положение коленчатого вала двигателя, представляет собой элемент синхронизации. На основе полученной информации блок управления двигателем определяет момент и продолжительность открытия форсунки. Система управления получает сигнал по электрической цепи от датчика положения дроссельной заслонки. Состав оптимальной горючей смеси зависит от теплового состояния двигателя, регистрируемого датчиком температуры, установленного на ребре охлаждения. Регулятор добавочного воздуха через электрическую цепь обеспечивает подачу воздуха независимо от положения дроссельной заслонки. Угол опережения зажигания определяется длительностью формируемого в момент поступления в ЭБУ импульса начала отсчета, т. е. при прохождении мимо индукционного датчика площадки, образованной путем удаления двух зубьев [5].

Наиболее важным в процессе смесеобразования двухтактного двигателя является увеличение коэффициента избытка воздуха до уровня дизеля на режимах его работы. Подача топлива пропорциональна произведению циклового расхода воздуха и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Минимальный расход воздуха в 30...40 раз больше максимального расхода топлива, измеряемого с высокой степенью точности.

Наиболее сложным в улучшении экологических и экономических показателей двухтактного двигателя являются создание гетерогенной смеси и подача необходимого количества топлива за короткий промежуток времени [2, 6].

Вместе с тем, выявлены значительные резервы улучшения названных показателей путем дальнейшего совершенствования конструкции двухтактного двигателя. Наилучшие результаты могут быть получены при комплексной оптимизации значений впрыскивания топлива, геометрии проточной части распылителя форсунки и формы камеры сгорания с учетом реального распределения режимов работы двигателя в процессе эксплуатации. Это особенно важно для транспортных и автотракторных двигателей, работающих в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов. Для оптимизации характеристик впрыскивания и распыливания топлива необходимо более широкое внедрение в отечественное двигателестроение систем электронного управления процессом топливоподачи, для обеспечения гетерогенной смеси в цилиндре.

Управление процессом топливоподачи, включающее управление цикловой подачей топлива, углом опережения впрыскивания, законом подачи топлива, характеристикой давления впрыскивания, а также другими параметрами является эффективным средством улучшения экономических и экологических показателей двигателей. Реализация такого управления сразу несколькими регулируемыми параметрами, находящимися во взаимной зависимости, наиболее эффективна при использовании микропроцессорных систем многосвязного управления. Такие системы управления в отечественных двухтактных двигателях не нашли широкого применения. Отчасти это объясняется тем, что выпускаемые в нашей стране серийные двухтактные двигатели не позволяют в полной мере обеспечить формирование требуемых характеристик систем управления работой двигателя.

Основной проблемой для снижения токсичных компонентов в отработавших газах является несовершенный процесс организации смесеобразования двухтактного двигателя с внешним смесеобразованием. В данной работе рассмотрена практическая реализация сокращения содержания вредных компонентов в отработавших газах.

Проведенный анализ возможностей реализации оптимизированных законов управления параметрами процесса топливоподачи позволяет более обоснованно подойти к выбору конструкции, параметров систем управления двигателем и улучшению экономических и экологических параметров современных отечественных транспортных и автотракторных двухтактных двигателей.

### *Литература*

1. Крутое, В.И. *Электронные системы регулирования и управления двигателями внутреннего сгорания*/В.И. Крутое. - М ; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991. - 138 с.
2. Вибе, ИИ *Новое о рабочем цикле двигателя: скорость сгорания и рабочий цикл двигателя* / ИИ. Вибе. - М ; Свердловск: Машиностроение, 1962. - 269 с.
3. Пат. 2344299 Российской Федерации, МПК F02B57/04, F02B23/00. *Двухтактный бензиновый двигатель с непосредственным впрыском топлива и электронной системой управления* / В.М. Мысляев, ИВ. Максакова, Д.Н. Ахметов. -№ RU-20071244660/06; заявл. 29.06.2007; опубл. 20.01.2009, Бюл.№ 2.
4. *Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания* / В.М. Кондратов, Ю.С. Григорьев, В.В. Тупое и др. -М.: Машиностроение, 1990. - 272 с.
5. *Ерохое, В.И. Системы впрыска топлива легковых автомобилей* / В.И. Ерохов. -М.: Транспорт, 2002.-174 с.
6. *Марков, В.А. Впрыскивание и распыление топлива в дизелях* / В.А. Марков, С.Н. Деянин, В.И. Мальчук. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 360 с.

*Поступила в редакцию 25 января 2010 г.*

**Ахметов Данил Наильевич.** Аспирант кафедры «Специальные и дорожно-строительные машины» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов - повышение надежности и улучшение экономических показателей двухтактного двигателя.

**Achmetov Danil Nailevich.** Postgraduate student of the chair «Special and road-construction machinery» of the Southern Ural State University. Research interests - reliability and economical measures improvement of two-stroke engine.