

И, наконец, на пятом этапе формируется ВСХ дизельного двигателя с регулируемым турбокомпрессором  $f = varia$  (рис.1) и определяется закон регулирования соплового аппарата турбины (см. рис.2). Величина максимального крутящего момента дизельного двигателя ЗМЗ-5143.10 с ТКР VNT15 ограничена 240 Нм по требованию ОАО «УАЗ» с целью обеспечения надежности трансмиссии автомобилей.

Полученный закон управления РСА ТКР закладывается в ЭБУ управления двигателем и может быть реализован с помощью вакуумного сервопривода либо с помощью электромеханического сервопривода REA.

Данную методику можно применять к дизельным двигателям с топливной аппаратурой имеющей как механическое, так и электронное управление.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВУХТАКТНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ТРЁХ-МЕРНОЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

**Лобов Н.В., Кус Н.Н.**

(Пермский государственный технический университет)

Широкое распространение в отечественной и мировой практике получили малогабаритные двухтактные бензиновые, двигатели с кривошипно-камерной продувкой. Они используются в качестве источника энергии на мотоциклах, лодочных моторах, снегоходах и в различном ручном бензиномоторном инструменте. Основными факторами, определяющими их выбор, являются: простота конструкции, невысокий вес изделия на 1 кВт снимаемой мощности. Однако, существенным недостатком двухтактных двигателей подобного типа остается неравномерность протекания рабочего процесса от цикла к циклу, вследствие чего имеются существенные потери топливной смеси при осуществлении процесса газообмена и неизменно высокий уровень эмиссии вредных веществ. В соответствии с международными нормами валовой выброс вредных веществ, например, ручным бензиномоторным инструментом не должен превышать в 2002 году 130-240 г/кВтч. К 2008 году эта норма еще больше ужесточается и должна составлять 50-72 г/кВтч [1]. Для достижения поставленной цели используются различные пути усовершенствования конструкции двигателя: впрыск топлива [1, 2], комбинированные системы подачи топлива [3, 4], расслоение заряда [2, 3], установка катализаторов и т.д. В настоящей статье представлены результаты разработки математической модели двигателя, позволяющей на этапе проектирования оценить равномерность протекания рабочего процесса двигателя.

В теории двигателей внутреннего сгорания различают неравномерность рабочего процесса, возникающую от цикла к циклу в каждом отдельном цилиндре двигателя и неравномерность циклов по цилиндрам двигателя. Действуя совокупно, неравномерности обеих видов определяют в целом характер работы двигателя. Поскольку двухтактные бензиновые двигатели на сегодняшний день используются в основном малогабаритные с одним или двумя цилиндрами, то основополагающим и определяющим характер работы двигателя в большинстве случаев являться первый вид неравномерности [5, 6].

Проведенные исследования двухтактного бензинового одноцилиндрового двигателя показали, что неравномерность рабочего процесса изменяется в зависимости от угла поворота дроссельной заслонки и от частоты вращения коленчатого вала. Увеличение степени дросселирования двигателя ведет к росту неравномер-

ности рабочего процесса. Определяющим фактором возникновения неустойчивости рабочего процесса в двухтактном двигателе является неустойчивость газодинамических процессов в системе впуска и системе топливоподачи и, как следствие, неоднородность состава смеси поступающей в цилиндр двигателя [7].

В качестве рабочего инструмента при решении данной проблемы планируется использовать пространственную газодинамическую модель двухтактного бензинового двигателя. Подробное описание трехмерной газодинамической модели двигателя, учитывающей в процессе расчета два компонента: продукты сгорания и свежую смесь, приведено в работе [8]. Основной отличительной особенностью данной математической модели двигателя является то, что двигатель рассматривается как единая система, в которой имеются системы впуска и выпуска, цилиндр с функциональными каналами и кривошипная камера. Для описания нестационарных газодинамических процессов во внутренних полостях двигателя был использован отечественный метод – метод крупных частиц. Расчетная схема двигателя представлена на рис. 1.

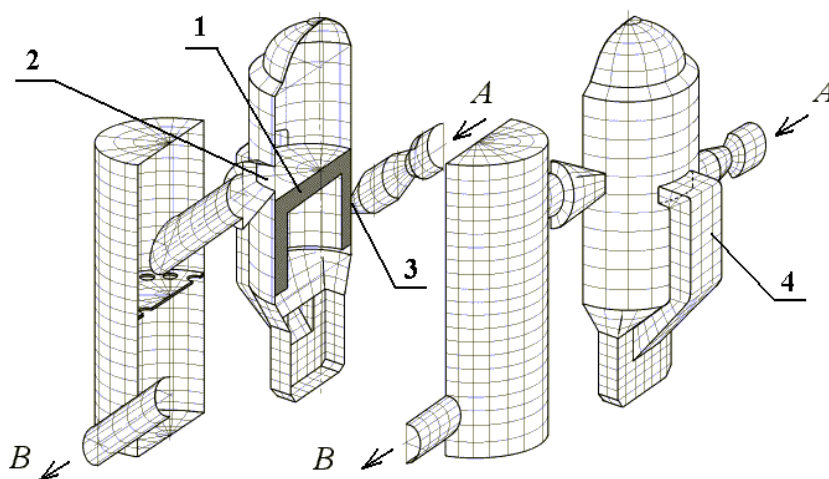


Рис.1. Объемное представление расчетной схемы одноцилиндрового двухтактного бензинового двигателя внутреннего сгорания: 1-поршень, 2-выпускной канал, 3-впускной канал, 4-продувочный канал, А,В направление движения заряда.

При разработке усовершенствованной математической модели двигателя исходили из того, что рабочий газ должен состоять из трёх компонентов – чистого воздуха, паров бензина и продуктов сгорания [9]. Состояние его характеризуется вектором  $P = \varphi(\rho, b, bt, p, U, V, W, E)$ , где  $\rho$  – плотность чистого воздуха,  $b$  – количество продуктов сгорания,  $bt$  – количество паров бензина,  $p$  – давление,  $U, V, W$  – соответственно, скорость движения газа вдоль оси  $X, Y, Z$ ,  $E$  – полная удельная энергия. Согласно вышесказанному в исходную систему уравнений был введён новый компонент, который учитывает содержание топлива в каждой расчётной ячейке. С учетом этого, исходная газодинамическая система дифференциальных уравнений выглядит следующим образом: уравнение неразрывности (сохранения массы) (1); уравнения сохранения импульса по осям координат(2); уравнение сохранения полной удельной энергии (3) и уравнение неразрывности (сохранения массы) для продуктов сгорания (4), уравнение неразрывности (сохранения массы) для паров бензина (5). Для замыкания системы было использовано уравнение состояния для идеального газа (6).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho W) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u W) + \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v W) + \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho w W) + \frac{\partial p}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho E W) + \operatorname{div}(p W) = q_{cr} + q_{to} \quad (3)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \operatorname{div}(b W) = b_i \quad (4)$$

$$\frac{\partial bt}{\partial t} + \operatorname{div}(bt \cdot W) = bt_i \quad (5)$$

$$p = (\bar{k} - 1) \cdot \rho \cdot \left( E - \frac{W^2}{2} \right) \quad (6)$$

При разработке трёхмерной газодинамической модели двухтактного двигателя решались следующие задачи:

1. Визуализация нового компонента
2. Постановка начальных граничных условий
3. Постановка граничных условий в системе смесеобразования

Пример и визуализация результатов расчёта всех трёх компонентов газа представлены на рис. 2.

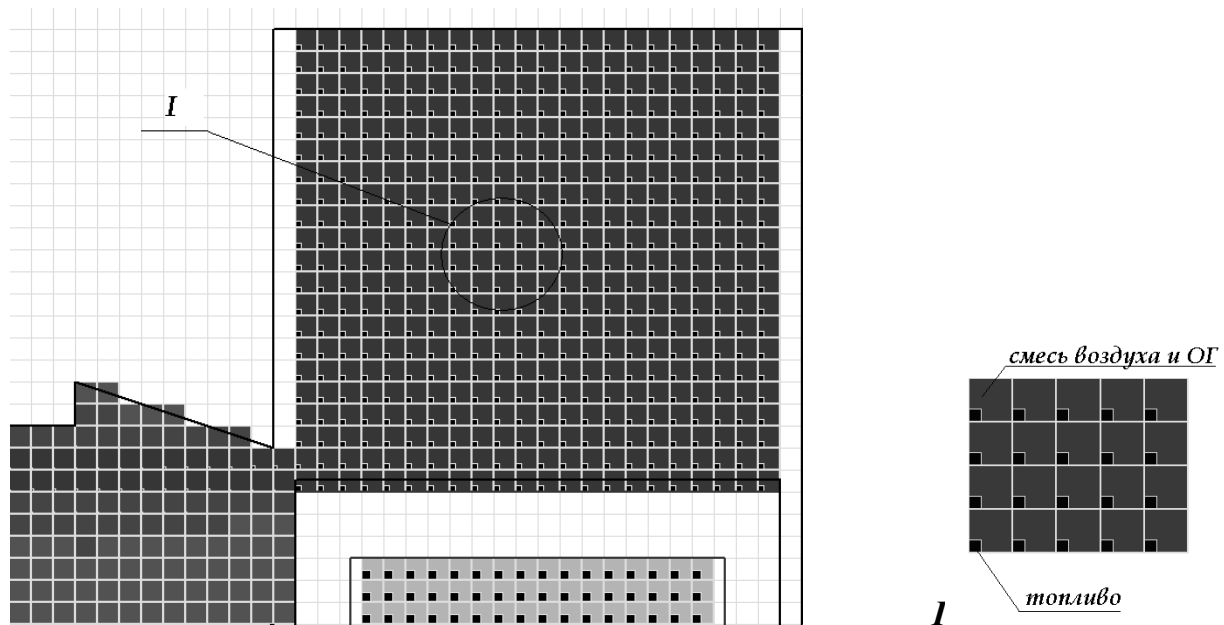


Рис. 2. Трёхмерная модель двухтактного одноцилиндрового двигателя с новым компонентом, характеризующим содержание топлива в каждой ячейке

В данный момент математическая модель двигателя и разработанная на ее основе программа находятся в стадии отладки и тестирования. Следующим этапом ее развития будет применение более совершенной модели горения смеси, позволяющей учитывать неоднородность состава смеси в камере сгорания.

#### Выводы:

1. Неравномерность рабочего процесса является одним из наиболее значимых факторов определяющих экономические, экологические и эксплуатационные характеристики двухтактных бензиновых двигателей. Появившиеся технические

условия позволяют исследовать данный процесс с более высокой степени достоверности. Именно такая попытка и была предпринята в данной работе.

2. Разработана математическая модель двигателя, позволяющая в трехмерной постановке исследовать неравномерность газодинамического процесса во внутренних полостях двигателя. Отличительной особенностью модели от известных является то, что в ней учитывается движение трех компонентов: чистого воздуха, паров бензина и продуктов сгорания. Разработана компьютерная программа.

3. В данный момент математическая модель двигателя и разработанная на ее основе программа находятся в стадии отладки и тестирования. Следующим этапом развития программы будет применение более совершенной модели горения смеси, позволяющей учитывать неоднородность состава смеси в камере сгорания.

#### **Литература:**

1. Entwicklung von emissionsreduzierten Zweitaktmotoren fuer handgefuerte Arbeitsgeraete/ W. Zahn, W. Vonderau, H. Rosskamp, K. Geyer und and. // MTZ. – 2002. – №2. – S.106–113.

2. The Potential of Small Loop-Scavenged Spark-Ignition Single-cylinder Two-Stroke Engines/ By Franz J. Laimboeck. – Warrendale, Pa., 1991. – 73 p.

3. Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания / В.М. Кондрашов, Ю.С. Григорьев, В.В. Тупов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 271 с.

4. Blair G.P. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. – Commonwealth Drive Warrendale: SAE, 1996. – 591 p.

5. Стечкин Б. С. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя. «Академия наук СССР», М., 1960.

6. Тупарев Ж.Н. Влияние неравномерности рабочего процесса на эффективные показатели дизеля// Сб. научных трудов ППИ. – Пермь, 1974. – С. 61–65.

7. Лобов Н. В., Кус Н. Н., Исследование межциклового неустойчивости у бензиновых двухтактных двигателей Труды междунар. науч. техн. конф.: "Актуальные проблемы теории и практики современного вилгательстроения", Южно-Урал. гос. ун-т, Челябинск, 2006.

8. Лобов Н.В. Моделирование рабочего процесса в двухтактном одноцилиндровом двигателе внутреннего сгорания. – Пермь: Изд-во ПермГТУ, 2003. – 81 с.

9. Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания / В.М. Кондрашов, Ю.С. Григорьев, В.В. Тупов и др. – М.: машиностроение, 1990. – 272 с.: ил.

## **РАСЧЕТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ВЫПУСКНОГО ТРАКТА ПУВРД**

**Черноусов А.А.** (Уфимский государственный авиационный технический университет)

Полезная работа пульсирующего воздушно-реактивного двигателя (ПуВРД) определяется произведением скорости полета на силу тяги  $P$ , в образовании которой большую роль играет нестационарное истечение продуктов сгорания (ПС), при исходно более высокой их температуре, чем в ВРД.

Для увеличения тяги ПуВРД используют эффект присоединенной массы в эжекторном усилителе тяги (ЭУТ), работающем в нестационарном режиме и превращающим выпускной тракт ПуВРД в эффективное расширительное устройство, в котором располагаемая работа ПС преобразуется в работу силы тяги. Предварительное сжатие свежего заряда (СЗ) способно повысить не только массовое напол-