

## МАШИНОСТРОЕНИЕ • ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

УДК 621.43

С. Н. АТАНОВ

**МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ  
КОЭФФИЦИЕНТА НАПОЛНЕНИЯ  
ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Представлены результаты вычислительных экспериментов на четырехтактном двигателе внутреннего сгорания (ДВС) с настроенным газо-воздушным трактом специальной конфигурации, с повторным открытием выпускного окна. Выявлена возможность увеличения коэффициента наполнения четырехтактного ДВС. *Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания ; коэффициент наполнения ; газообмен ; выхлоп ; волна ; дозарядка ; волновой наддув*

В настоящее время все большее значение приобретают вопросы рационального использования ископаемых топлив и тепловых машин. Данная работа посвящена увеличению эффективности четырехтактных ДВС.

**1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

Определяющее влияние на эффективные, удельные и экономические показатели ДВС оказывает количество воздуха, проходящее через рабочую камеру. Количество воздуха оценивается коэффициентом наполнения. Наибольший коэффициент наполнения четырехтактного ДВС получен при настройке впускных и выпускных каналов постоянного сечения, а также при настройке фаз газораспределения. Как известно [1], коэффициент наполнения ограничен некоторым предельным значением

$$\eta_v^* = 1,33 \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \right), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – степень сжатия.

В четырехтактных ДВС с настройкой выпускных каналов используется отраженная от открытого конца выпускного канала волна разрежения для снижения противодавления и продувки рабочей камеры в период перекрытия фаз. Как указано в [1], энергия выхлопа в этих ДВС используется не полностью. Для дозарядки рабочей камеры в конце процесса впуска используется отраженная от открытого конца настроенного выпускного канала волна сжатия, повы-

шающая давление и плотность свежего заряда перед впускным окном. Причем, индивидуальные для каждого цилиндра впускные и выпускные каналы выполняются с постоянным сечением.

**2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Целью работы являлось определение возможности увеличения коэффициента наполнения четырехтактного ДВС с индивидуальными настроенными каналами выше значений, определяемых выражением для «предельного» коэффициента наполнения.

**3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

На основе анализа систем газообмена двух- и четырехтактных двигателей предложен метод увеличения коэффициента наполнения четырехтактного ДВС с индивидуальными настроенными каналами. Метод включает (рис. 1): продувку рабочей камеры ДВС воздухом в период перекрытия фаз за счет отраженной волны разрежения, возникающей в настроенном выпускном канале, и дозарядку (волновой наддув) рабочей камеры воздухом перед закрытием впускного окна отраженной волной сжатия, возникающей в настроенном впускном канале. Эти особенности характерны и для известной системы газообмена [1]. Кроме того, для увеличения наполнения предлагается дополнительно эжектировать (всасывать) в выпускной трубопровод в период продувки продувочный воздух для последующего возвращения его в рабочую камеру отраженной волной сжатия. Для этого выбираются законы изменений сечения и длины выпу-

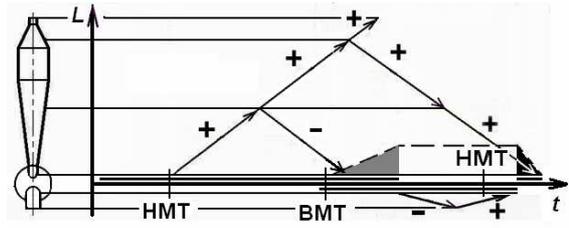
ского трубопровода. Начальный участок выпускного трубопровода – постоянного проходного сечения, а следующий за ним участок – расширяющийся. Также увеличивается перекрытие фаз. Для возвращения продувочного воздуха из выпускного трубопровода в рабочую камеру удлиняется и профилируется конечный участок выпускного трубопровода. Так, за расширяющимся участком выполняется расширенный участок постоянного сечения, затем сужающийся участок и затем участок постоянного сечения. Также повторно кратковременно открывается выпускное окно после закрытия впускного.

Гипотетически, поскольку давление в волне сжатия выпуска значительно выше давления в отраженной волне сжатия впуска, этот метод должен повысить коэффициент наполнения четырехтактного ДВС относительно известного «предельного».

Поскольку известный «предельный» коэффициент наполнения получен вычислительным экспериментом [1], для проверки гипотезы проведены аналогичные вычислительные эксперименты. Собрана имитационная компьютерная модель из известных модулей, использованных при определении «предельного» коэффициента наполнения [2]. Приняты такие же допущения идеальности условий эксперимента: идеальный совершенный газ, мгновенное закрытие окон рабочей камеры; отсутствие потерь по длине трубопровода.

Первоначально подобраны параметры окон и настроенных каналов впуска и выпуска постоянного сечения по длине, прилегающих к окнам рабочей камеры. Для этого использованы оптимальные значения обобщенных переменных [2], которые обеспечивают «предельный» коэффициент наполнения. Затем проведен вычислительный эксперимент с сохранением параметров настроенного впускного канала и с варьированием параметров предложенного удлиненного профилированного по длине выпускного трубопровода и фаз газораспределения. В процессе расчета определялись давления в рабочей камере и в каналах непосредственно за окнами рабочей камеры, масса воздуха в рабочей камере и в выпускном трубопроводе (текущий выброс воздуха), масса отработавших газов в рабочей камере.

Исследовано влияние площади второго открытия выпускного окна на коэффициент наполнения.



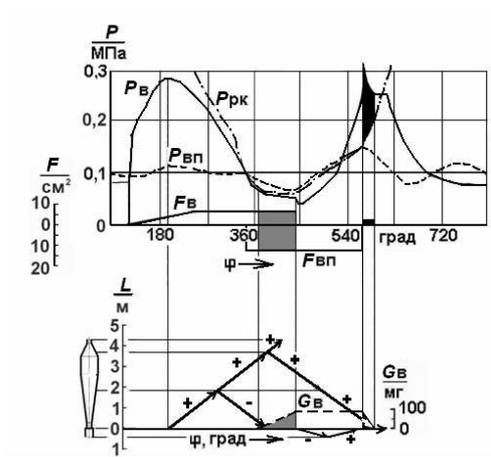
**Рис. 1.** Метод увеличения коэффициента наполнения: слева – схема газозвушного тракта с настроенными каналами, справа – схемы открытия окон газообмена, движения волн и дополнительного воздуха. На схемах: впускная система – внизу от оси абсцисс графика  $L = f(t)$ ; выпускная система – сверху;  $L$  – длина настроенных каналов и трубопроводов;  $t$  – время; HMT и BMT – нижняя и верхняя мертвые точки;  $\nearrow$  и  $\searrow^+$  – траектории наиболее интенсивных участков уединенных волн сжатия;  $\searrow^-$  – то же волны разрежения; — — — — контактная поверхность "воздух – выпускные газы"; ■ – выброшенный продувочный воздух; ■ – дополнительно дозаряжаемый (возвращаемый) в рабочую камеру продувочный воздух

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

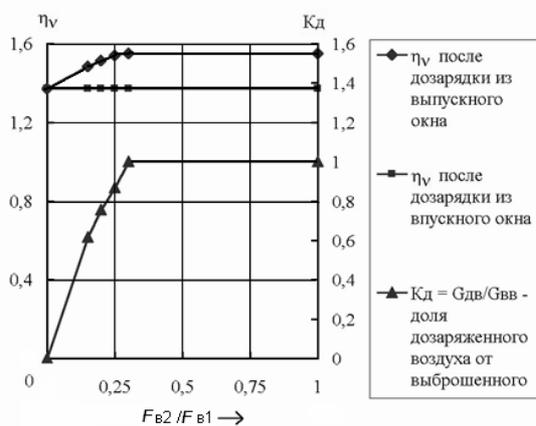
В результате проведенной настройки параметров газо-воздушного тракта ДВС обеспечена своевременность прихода отраженных волн, достаточность их амплитуды для продувки рабочей камеры и всасывания в выпускной трубопровод продувочного воздуха в период перекрытия окон. Также обеспечена достаточность амплитуды отраженных волн сжатия выпуска для полного возвращения продувочного воздуха в рабочую камеру в период второго открытия выпускного окна (рис. 2 и 3).

Диаграммы давлений  $P$  и массы продувочного воздуха за выпускным окном  $G_v$  (рис. 2) показывают, что имеются достаточные перепады давлений на окнах рабочей камеры и соответствующее перемещение воздуха как в период дополнительного выброса воздуха в выпускной трубопровод (на диаграмме давлений выделено серым цветом), так и в период дополнительной дозарядки воздухом рабочей камеры из выпускного трубопровода (на диаграмме давлений выделено черным цветом).

Диаграммы  $\eta_v$  и  $K_d$  (см. рис. 3) показывают, что нет необходимости открывать второй раз выпускное окно более чем на 30%. Это особенно важно для реализации метода на ДВС с кулачковым приводом клапана.



**Рис. 2.** Результаты вычислительного эксперимента:  $\varphi$  – угол поворота коленчатого вала;  $F_{в}$  – площадь сечения выпускного окна рабочей камеры;  $F_{вп}$  – площадь сечения впускного окна рабочей камеры;  $G_{в}$  – масса продувочного воздуха за выпускным окном;  $P$  – давление:  $P_{рк}$  – в рабочей камере ДВС (в цилиндре);  $P_{вп}$  – в канале перед настроенным впускным окном;  $P_{в}$  – в канале за выпускным окном; остальные обозначения – как на рис. 1



**Рис. 3.** Влияние площади сечения выпускного окна при втором открытии на коэффициент наполнения,  $\eta_v$  – коэффициент наполнения;  $F_{в1}$  – площадь сечения выпускного окна при первом открытии;  $F_{в2}$  – площадь сечения выпускного окна при втором открытии

Таким образом, на основе анализа известных решений разработан метод увеличения коэффициента наполнения настройкой индивидуального газозоообменного тракта. Этот тракт содержит дополнительно удлиненный профилированный по длине выпускной трубопровод с расширением и сужением. Также дополнительно повторно открывают выпускное окно после впускного. Этот метод обеспечивает увеличение коэффициента наполнения четырехтактного ДВС относительно известного «предельного» на

12,7%. При этом отношение площадей крайних сечений расширяющегося участка выпускного трубопровода равно 10, а площадь повторного открытия выпускного окна составляет не менее 30% от максимальной площади выпускного окна в период основного открытия. При частоте 6000  $\text{мин}^{-1}$  длина выпускного трубопровода составляет 4,35 метра, а относительный объем – 34,9 рабочего объема рабочей камеры.

## 5. ПРИЛОЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Варианты разработанного метода увеличения коэффициента наполнения и конструктивных решений защищены патентами [3, 4].

## ВЫВОДЫ

Подтверждена возможность использования резервов выхлопа четырехтактного ДВС для увеличения коэффициента наполнения путем формирования в индивидуальном настроенном выпускном трубопроводе волн сжатия и преобразованных из них волн для всасывания продувочного воздуха и подачи его обратно в рабочую камеру в период повторного открытия выпускного окна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудой, Б. П. Теория газообмена ДВС : учеб. пособие / Б. П. Рудой. Уфа : УАИ, 1978. 109 с.
2. Рудой, Б. П. Расчет на ЭВМ показателей газообмена ДВС : учеб. пособие / Б. П. Рудой, С. Р. Березин. Уфа : УАИ, 1979. 101 с.
3. Атанов, С. Н. Пат. № 1795680 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 02 В 27/00. Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания / С. Н. Атанов, Б. П. Рудой. Зарегистрирован и действует с 4.11.93. Приоритет 04.08.89.
4. Атанов, С. Н. Пат. № 1813285 СССР, МПК<sup>7</sup> F 02 В 27/00. Способ газообмена двигателя внутреннего сгорания / С. Н. Атанов, Б. П. Рудой. Зарегистрирован 10.10.92. Приоритет 08.04.91.

## ОБ АВТОРЕ



**Атанов Сергей Николаевич**, ст. преп., зав. лаб. каф. двигателей внутреннего сгорания УГАТУ. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1987). Иссл. в обл. волнового перемещения воздуха с использованием выхлопа ДВС.