М359501

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БЕРЕЗИН Сергей Романович

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАДДУВА ЧЕТЫРЕХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

(05.04.02 – тепловые двигатели)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1980

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор КРУГЛОВ М.Г.

Научный консультант – кандидат технических наук, доцент РУДОЙ Б.П.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор ВОЛОДИН А.И.

кандидат технических наук, доцент ХАЧИЯН А.С.

Ведущее предприятие – Волжский автомобильный завод.

Защита состоится "26" мая 1980 г. в "14" часов на заседании Специализированного совета К.053.15.05 "Тепловые машины и теоретические основы теплотехники" МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: г.Москва, 107005, Лефортовская набережная, дом 1, корпус факультета "Энергомашиностроение".

С диссертаци[illegible] библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баум[illegible]

Авторефе[illegible]

Ваши ота[illegible]енный печатью учре[illegible]7005, 2-я Бауманска[illegible] К.053.15.05.

Учены[illegible]
Специализ[illegible]
д.т.н., [illegible]

М359501

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Повышение литровой мощности, улучшение экономических и экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания (ДВС) продолжает оставаться важнейшей задачей современного двигателестроения, определенной в директивах XXУ съезда КПСС "Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976-80 годы". Решение этой задачи связано с улучшением протекания процессов газообмена, смесеобразования, сгорания.

Дальнейшее совершенствование газообмена ДВС во многом зависит от использования нестационарных газодинамических явлений в газовоздушном тракте (ГВТ).

Известно значительное количество работ, посвященных исследованию динамического наддува ДВС. Однако во многих случаях исследования носят фрагментарный характер и направлены на улучшение показателей конкретного ДВС. Поэтому частные количественные зависимости, полученные для одного двигателя, трудно применить для анализа двигателей других типов, чтобы заранее оценить возможное улучшение показателей газообмена и определить размеры настроенного ГВТ без проведения дополнительных исследований. Кроме того, частные результаты не позволяют оценить потенциальные возможности динамического наддува по улучшению показателей газообмена.

В свете изложенного, обобщающее исследование возможностей динамического наддува для интенсификации газообмена ДВС является актуальным.

Цель работы. Целью диссертационной работы явилось обобщающее исследование потенциальных возможностей улучшения наполнения четырехтактного ДВС при динамическом наддуве.

Метод исследования. В настоящей работе в качестве основного метода исследования использовано численное моделирование процесса газообмена на ЭВМ. Это потребовало создания математической модели газообмена ДВС, которая в дальнейшем была реализована в виде универсальной программы для ЭВМ.

Для проверки методики расчета нестационарного течения в ГВТ двигателя были проведены эксперименты сначала на модельной установке, а затем на двигателе Д-21 с динамическим наддувом.

1359501

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана

1359501

Березин С.Р.Исследование

МГТУ им. Н.Э. Баумана ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

Данные расчетов, проведенные на ЭВМ М-222 хорошо согласуются с результатами соответствующих экспериментов. Это позволило применить разработанную программу для всестороннего исследования динамического наддува.

Научная новизна. Новизна полученных в работе результатов заключается в следующем:

I. Получена новая система критериев подобия ГВТ, которая является эффективным средством для обобщения результатов исследований газообмена ДВС.

2. Найдены критериальные зависимости, позволяющие оценить степень улучшения наполнения четырехтактного ДВС при динамическом наддуве, а также определить основные параметры настроенного ГВТ. Эти зависимости применимы как для карбюраторных, так и для дизельных двигателей.

Практическая ценность. Ценность полученных в работе результатов заключается в следующем:

I. Установленные обобщенные зависимости могут применяться для анализа возможности динамического наддува ДВС на этапе его проектирования.

2. Разработанная универсальная программа расчета газообмена ДВС позволяет проводить численные исследования нестационарного течения газа в ГВТ при минимальной затрате времени на доводку программы. Структура программы позволяет легко перенастраивать ее для расчета любой схемы ГВТ.

Данная программа позволит обеспечить более широкое внедрение машинных методов расчета в практику научно-исследовательских и конструкторских организаций, а также является шагом к созданию единой системы машинного проектирования двигателей.

Внедрение. Разработанная универсальная программа внедрена на Уфимском моторостроительном производственном объединении, что подтверждено соответствующим актом внедрения.

Апробация работы. Диссертационная работа заслушана на заседании кафедры "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1979 г. По основным разделам диссертации были сделаны доклады на научно-технических конференциях Уфимского авиационного института в 1976-1978 годах, Челябинского Всесоюзного семинара "Использование математического моделирования и ЭВМ в исследовании процессов рабочего

цикла ДВС" в 1977 г., семинара молодых специалистов МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1979 году.

Публикация работы. Основные положения диссертации опубликованы в четырех статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения. Она содержит 132 страницы основного текста, 26 страниц иллюстраций и списка использованной литературы включающего 92 наименования и 19 страниц приложения. Полный объем работы 177 страниц.

В первой главе диссертации проведен обзор работ по исследованию нестационарных газодинамических явлений в ГВТ двигателя.

Рассматриваются исследования динамического наддува, основанные на использовании упрощенной системы дифференциальных уравнений нестационарного одномерного течения газа и анализируются достигнутые на этом пути результаты (Лутц О., Боднер В.А., Данилов В.В., Орлин А.С., Деннисон Е. и др.). Указанные теории описывают одну из сторон (инерционную или волновую) нестационарного течения газа и не могут дать количественно правильные рекомендации по использованию динамического наддува в ДВС.

Далее показано, что в последние 10-15 лет предпринимаются большие усилия по исследованию нестационарных явлений в ГВТ на основе численного решения на ЭВМ основной системы уравнений движения газа с учетом диссипативных процессов (Бенсон, Гил и Райт, Красовский О.Г., Киселев Б.А. и Ибрагимов Б.Р. и др.). При этом отмечается, что в существующих программах расчета газообмена ДВС мало внимания уделяется отработке их структуры и универсальности. Это препятствует широкому внедрению машинных методов расчета в практику.

К настоящему времени накоплено большое количество экспериментальных и теоретических данных относительно диапазона изменения показателей газообмена при динамическом наддуве. Эти данные имеют большой разброс, который объясняется тем, что эффективность динамического наддува зависит от конкретного соотношения конструкторских и термодинамических параметров.

Отсюда следует, что изучение динамического наддува должно вестись с помощью обобщенных переменных, учитывающих совместное влияние разнородных факторов.

В этой связи рассмотрены работы Круглова М.Г., Брандстеттера, Драганова Б.Х., посвященные выявлению критериев подобия газообмена ДВС на основе теории подобия и размерностей.

На основании проведенного обзора была поставлена указанная выше цель диссертационной работы и сформулированы основные задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

1. Разработать математическую модель газообмена ДВС.

2. Создать универсальную программу расчета газообмена ДВС.

3. Провести проверку разработанной методики расчета газообмена ДВС путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных.

4. Получить систему критериев подобия ГВТ, пригодную для обобщения результатов исследований газообмена ДВС.

5. Исследовать численным методом влияние различных параметров на процесс газообмена при динамическом наддуве.

6. Установить обобщенные зависимости, связывающие показатели газообмена и критерии подобия ГВТ для настроенного двигателя.

Во второй главе разработана математическая модель нестационарного течения газа в ГВТ двигателя при газообмене. При этом ГВТ представляется как совокупность протяженных участков трубопровода, газодинамический расчет которых производится в соответствии с известной одномерной моделью нестационарного неизоэнтропического течения:

$$\begin{cases} \frac{1}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{u}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0 ; & (1) \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} = -\lambda_T \frac{u^2}{2D} ; & (2) \\ \frac{\partial S}{\partial t} + u\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\kappa R}{a^2 D}\left[\lambda_T \frac{|u|^3}{2} - \frac{4\alpha_T}{\rho}\left(\frac{a^2}{\kappa R} - T_{cr}\right)\right] ; & (3) \\ \frac{P}{P_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{\kappa} \exp\left(\frac{S - S_0}{C_v}\right) , & (4) \end{cases}$$

где $\rho, P, u, a, S, R, \kappa, C_v$ – соответственно плотность,

давление, скорость потока, скорость звука, энтропия, газовая постоянная, показатель адиабаты и удельная теплоемкость при постоянном объеме ; λ_T и α – коэффициенты трения и теплоотдачи ; $T_{ст}$ и D – температура стенки и гидравлический диаметр канала ; x и t – координаты длины и времени.

Эта система преобразуется к характеристическому виду, решение строится в области x-t в узлах сетки с фиксированным шагом.

Протяженные участки трубопровода соединены между собой посредством элементов ГВТ, являющихся местными сопротивлениями, как, например, карбюратор, клапан, скачок сечения и т.п. Внутренние граничные условия на этих элементах ГВТ определяются с помощью теории распада произвольного разрыва (РПР) параметров. Эта теория предполагает, что произвольный разрыв параметров на стыке одномерных состояний из разных каналов немедленно распадается на конфигурацию движущихся устойчивых разрывов и зоны стационарного течения между ними.

Расчет конфигурации РПР для каждого вида граничных условий проводится в соответствии с методикой, предложенной Рудым Б.П., и основывается на применении нестационарных газодинамических функций.

При расчете конических каналов последние заменяются ступенчатыми, при этом длина элемента разбиения равна шагу сетки. Расчет течения внутри элемента сетки производится в соответствии с математической моделью (I-4). Стыковка параметров на границах соседних элементов производится по методике расчета РПР на скачках сечения.

Третья глава посвящена описанию универсальной программы для ЭВМ расчета газообмена ДВС, предназначенной для широкого круга исследователей, не являющихся одновременно и профессиональными программистами.

Создание универсальной программы базируется на нескольких основных принципах, из которых важнейшим, вытекающим из назначения программы, является стремление к уменьшению труда исследователя на ее отладку, доводку и перенастройку.

Другим важным принципом, проистекающим из самого названия программы, является ее универсальность, которая заключается в возможности расчета любой схемы ГВТ двигателя. Выражением этого принципа явилась блочная структура программы. Расчет каж-

дого элемента ГВТ оформлен в виде отдельного блока или процедуры. С помощью этих блоков легко построить программу, соответствующую конструктивным особенностям исследуемого двигателя.

Понятие универсальности также включает в себя относительную независимость программы от ее конкретной реализации на ЭВМ. Это достигается, в первую очередь, применением языка программирования высокого уровня. При этом необходимо иметь в виду, что существует определенное различие в версиях языка для разных машин. Поэтому при программировании используются только наиболее общие конструкции языка, присущие всем его реализациям.

При газодинамическом расчете разных схем ГВТ двигателей создаются всевозможные сочетания величин параметров, участвующих в расчете. В некоторых случаях это может привести к неустойчивости решения, и как следствие, к аварийному прерыванию выполнения программы. Указанное обстоятельство требует обеспечения надежной, устойчивой работы всех алгоритмов, заложенных в универсальной программе.

Изложенные принципы послужили основой к разработке данной программы.

Программа написана на алгоритмическом языке Алгол-60. Процедуры расчета основных элементов ГВТ, а также некоторые вспомогательные процедуры приведены совместно с контрольными тестами и с подробными инструкциями к использованию. Методика составления программы проиллюстрирована на примере расчета газообмена одноцилиндрового карбюраторного двигателя.

Четвертая глава посвящена расчетно-экспериментальному исследованию нестационарных газодинамических явлений, которое проводилось с целью проверки методики расчета газообмена ДВС. Эта проверка заключалась в сопоставлении расчетных и экспериментальных данных.

На первом этапе исследования проводилось на одноцилиндровой модельной установке. Ее главный узел состоит из цилиндра постоянного объема и патрубка, разъединенных клапаном. В цилиндре создается избыточное давление или разрежение. При открытии клапана в системе происходит нестационарное течение воздуха. Изменение давления в цилиндре и в патрубке записывается на осциллограмму. Расчет течения в модельной установке показал хорошее

соответствие с экспериментальными данными.

На следующем этапе работы определялся коэффициент наполнения двигателя Д-2I (2 Ч I20/I05, P_e = 5.4 кг/см^2, $n_{ном}$ = = I600 I/мин) при его работе по внешней скоростной характеристике как при использовании динамического наддува, так и без него. В ходе этого экспериментального исследования на двигателе поочередно устанавливались две индивидуальные впускные системы, соединяющие цилиндр ДВС с баком, емкостью I.2 м^3.

Система № I представляет собой трубопровод длиной I440 мм и с внутренним диаметром 35 мм. При работе с этой системой максимальный динамический наддув двигателя имеет место при частоте вращения n = I400 I/мин. Размеры настроенного впускного трубопровода были найдены с помощью полученных в работе критериальных зависимостей.

Система № 2 состоит из ресивера, емкостью 6 л, расположенного у клапана, и трубопровода, диаметром 60 мм, соединяющего ресивер с баком. При работе двигателя с этой системой в исследуемом диапазоне частот вращения динамический наддув практически отсутствует.

Использование динамического наддува на двигателе с экспериментальной системой № I обеспечило повышение коэффициента наполнения на 24% по сравнению с величиной коэффициента наполнения при работе с системой № 2.

Расчет наполнения двигателя, проведенный для случаев установки указанных двух впускных систем, показал хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных, что позволило сделать вывод о возможности применения разработанной методики для численного исследования газообмена ДВС.

На примере одноцилиндрового карбюраторного двигателя ЗИД-4.5 (N_e=4.5 л.с, ε = 4, n = 2000 I/мин, V_h = 520 см^3) в работе показана возможность эффективного использования численного метода исследования для получения надежных сведений о протекании газообмена. Полученные в результате этого исследования данные позволили увеличить мощность двигателя на 30% и были использованы при создании его новой модификации.

Пятая глава посвящена численному исследованию влияния конструкторских и термодинамических параметров четырехтактного ДВС на эффективность динамического наддува.

Из основной системы уравнений, описывающей течение газа в ГВТ двигателя, с помощью теории подобия получены критерии, учитывающие совместное влияние различных факторов на процесс газообмена.

Эти критерии, определяемые соответственно для впускной и выпускной систем, включают в себя такие параметры как рабочий объем цилиндра V_h, степень сжатия ε, частота циклов f, время-сечение клапана A, кинематическая вязкость ν_0 газа, длина $L_т$ и диаметр $d_т$ трубопровода, характерная скорость звука a_0. Величина a_0 на впуске определяется при нормальных атмосферных условиях, а на выпуске вычисляется из условия расширения газа от давления начала открытия выпускного клапана до атмосферного давления.

Получены следующие критерии подобия ГВТ:

$\frac{L_т f}{a_0}$ – критерий гомохронности, характеризующий отношение частоты собственных колебаний столба воздуха в трубопроводе к частоте вынужденных;

$\frac{A a_0}{V_h}$ – критерий, характеризующий усредненное число Маха в проходном сечении клапана;

$\frac{d^2 a_0}{V_h f}$ – критерий, характеризующий усредненное число Маха в трубопроводе;

$\frac{V_h f}{d_т \nu_0}$ – критерий, являющийся аналогом числа Рейнольдса и характеризующий режим течения в трубопроводе.

Полученная система критериев подобия ГВТ использована для обобщения результатов численного исследования динамического наддува четырехтактных ДВС.

Физический смысл динамического наддува заключается в следующем. Начальный импульс давления из цилиндра при выпуске (волна разрежения – при впуске) отражается от другого конца трубопровода волной противоположного знака, которая при своевременном приходе обратно к клапану перед его закрытием вызывает дозарядку цилиндра при впуске или отсос остаточных газов из камеры сгорания – при выпуске. Это способствует увеличению количества свежего заряда в цилиндре, а следовательно, и коэффициента наполнения η_v.

Коэффициент η_v является основным показателем качества газообмена ДВС, поэтому величина его может служить главным критерием эффективности динамического наддува. Максимум коэффициента η_v достигается настройкой ГВТ путем подбора конструкторских параметров впускной и выпускной систем.

Подбор этих параметров осуществляется с помощью теории планирования эксперимента с движением по градиенту. Суть данной теории заключается в следующем. Совокупность из N конструкторских параметров характеризуют исходной точкой в N-мерном пространстве. В окрестности точки строится модель отклика и находится вектор максимального улучшения параметра оптимизации. В направлении этого вектора делается несколько шагов и определяется новая исходная точка. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут оптимум.

В качестве параметра оптимизации при настройке впускной системы принимается количество свежей смеси, поступившее в цилиндр за процесс наполнения.

Параметром оптимизации при настройке выпускной системы в отсутствии продувки служит количество остаточных газов в цилиндре в конце выпуска.

Задача настройки как впускной, так и выпускной систем формулируется следующим образом. Для конкретного ДВС на выбранном скоростном режиме находится экстремум соответствующего параметра оптимизации в зависимости от длины и поперечного сечения трубопровода, фаз и время-сечения клапана.

Величины параметров оптимизации определяются из расчетов процессов выпуска и наполнения с учетом волновых явлений в трубопроводах.

При расчете выпуска начальные параметры газа в цилиндре перед открытием выпускного клапана определяются из расчета цикла ДВС.

Результаты оптимизации конструкторских параметров ГВТ были обработаны и представлены в виде графических критериальных зависимостей (рис. 1÷5). Здесь в качестве обобщенных переменных использовались критерии подобия ГВТ. Полученные критериальные зависимости позволяют определить основные конструкторские параметры настроенного ГВТ: длину и поперечное сечение трубопроводов, время-сечение клапанов впускной и выпускной систем. в

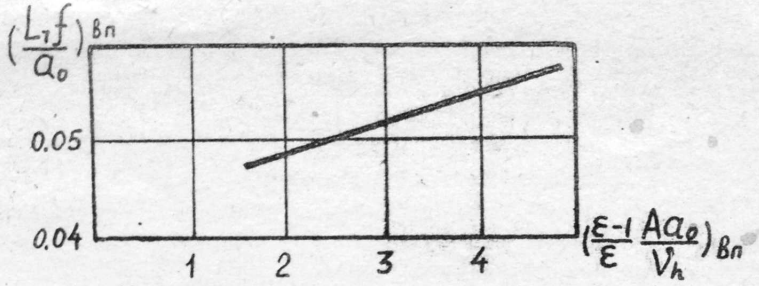


Рис. 1.

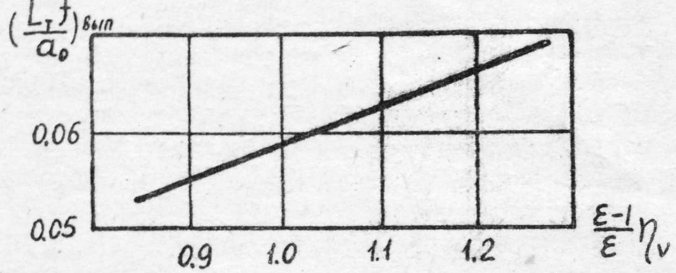


Рис. 2.

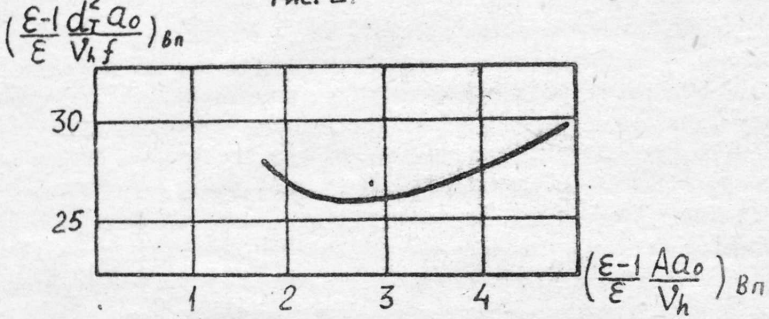


Рис. 3.

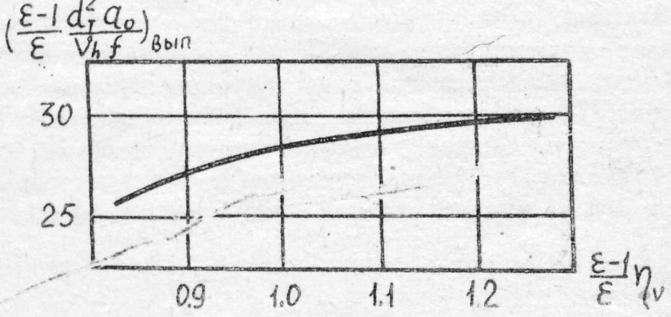


Рис. 4.

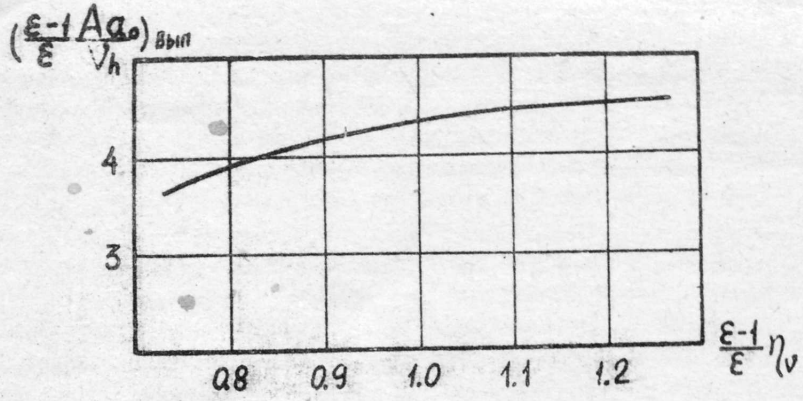

$\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\frac{A a_0}{V_h}\right)_{вып}$
4
3
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
$\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\eta_v$

Рис. 5.

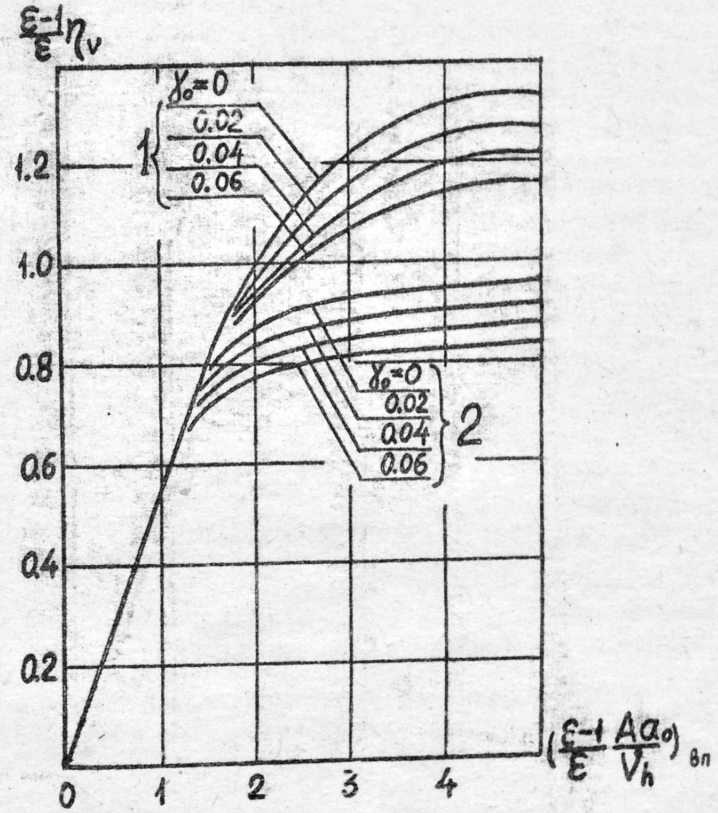

$\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\eta_v$
$\gamma_0=0$
0.02
0.04
0.06
1
$\gamma_0=0$
0.02
0.04
0.06
2
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1
2
3
4
$\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\frac{A a_0}{V_h}\right)_{вп}$

Рис. 6.

зависимости от соотношения основных параметров двигателя. Данные зависимости применимы как для дизельных, так и карбюраторных двигателей и могут быть использованы на этапе их проектирования.

При оценке влияния волновых явлений на протекание газообмена ДВС следует рассматривать обобщенную зависимость степени улучшения показателей двигателя от всей совокупности конструкторских и термодинамических параметров двигателя.

На рис. 6 представлена полученная в работе зависимость комплекса $\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\eta_v$ от критерия $\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\frac{Aa_0}{V_h}\right)_{впуска}$.

Эта обобщенная зависимость представлена в виде двух семейств кривых с параметром γ_0, характеризующим количество остаточных газов $G_{ог}$ в цилиндре:

$$\gamma_0 = \frac{G_{ог}}{\rho_0 V_h}, \qquad (5)$$

где ρ_0 – плотность окружающей среды.

Семейство кривых I относится к настроенной впускной системе, а семейство 2 получено при отсутствии впускного трубопровода, что можно условно считать эквивалентным случаю ненастроенного впуска с учетом поправки на потери от трения.

Тогда взаимное расположение кривых, принадлежащих разным семействам и взятых при одном значении γ_0, характеризует в обобщенном виде диапазон волновой настройки впускной системы.

С помощью рассматриваемой зависимости можно также оценить эффективность настройки выпускной системы. При неизменном впуске настройка выпуска приводит к уменьшению количества остаточных газов в цилиндре до предельного значения $\gamma_0 = 0$. Поэтому прирост коэффициента наполнения при настройке выпуска определяется на диаграмме как разность ординат кривых, принадлежащих к одному и тому же семейству, при этом значение γ_0 на одной кривой соответствует ненастроенному выпуску, а на другой – $\gamma_0 = 0$.

При значении критерия $\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\frac{Aa_0}{V_h}\right)_{вп} < 1.2$ эффективность настройки как впуска, так и выпуска равна нулю, что объясняется "запиранием" проходного сечения впускного клапана ($M = 1$) во время всего процесса наполнения. С ростом отношения $\left(\frac{A}{V_h}\right)_{вп}$ величина прироста коэффициента наполнения от настройки впуска постепенно увеличивается, достигая своего максимального значения при $\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\frac{Aa_0}{V_h}\right)_{вп} = 4.7$.

Из анализа данной зависимости можно заключить, что максимальный прирост коэффициента наполнения за счет настройки впускной системы существенно выше, чем от настройки выпуска. Это является свидетельством того, что дозарядка цилиндра от волновых явлений на впуске сильнее сказывается на увеличении массового заряда, чем удаление остаточных газов из цилиндра при настройке выпуска.

Указанная разница в механизме воздействия волновых явлений в впускной и выпускной системах на величину циклового заряда обусловила различное влияние степени сжатия двигателя на прирост коэффициента наполнения при настройке впуска и выпуска. С увеличением степени сжатия эффект от настройки выпуска снижается. Это объясняется тем, что при больших значениях ε количество остаточных газов мало, и даже их полное удаление из цилиндра относительно мало влияет на величину η_v .

Прирост коэффициента η_v от настройки впуска не зависит от степени сжатия. Это связано с тем, что при ее увеличении повышается плотность заряда за счет меньшего содержания в нем остаточных газов, однако при этом уменьшается надпоршневой объем цилиндра, – и масса заряда остается неизменной.

Обобщенная зависимость на рис. 6 получена для случая течения газа в ГВТ без трения. Оценить влияние трения на величину коэффициента η_v можно по критериальной зависимости, предоставленной на рис. 7.

Настройка ГВТ наиболее эффективна только при работе двигателя на одном скоростном режиме. Однако положительное влияние настройки, хотя и в меньшей степени, имеет место и на других скоростных режимах. На рис. 8 представлена обобщенная зависимость изменения коэффициента наполнения при работе двигателя по внешней скоростной характеристике с настроенной и ненастроенной впускной системой. Видно, что при отклонении частоты циклов от режима настройки на $\pm$ 20% величина коэффициента наполнения уменьшается на $\approx$ 18%.

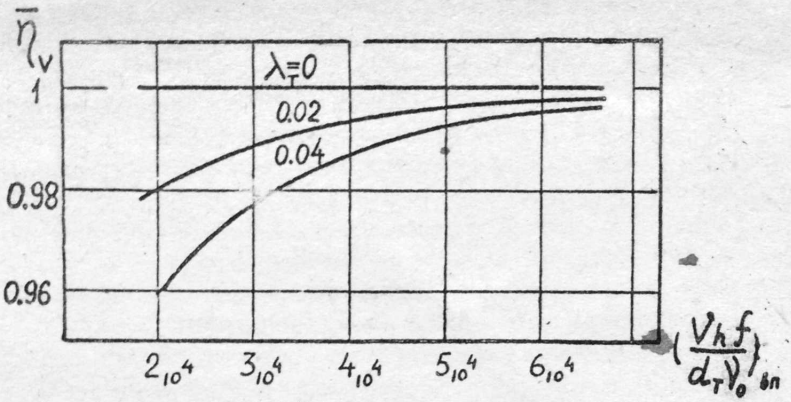

$\bar{\eta}_v$
1
0.98
0.96
λ_T=0
0.02
0.04
2_{10^4}
3_{10^4}
4_{10^4}
5_{10^4}
6_{10^4}
$\left(\frac{V_h f}{d_T V_0}\right)_{Bn}$

Рис. 7

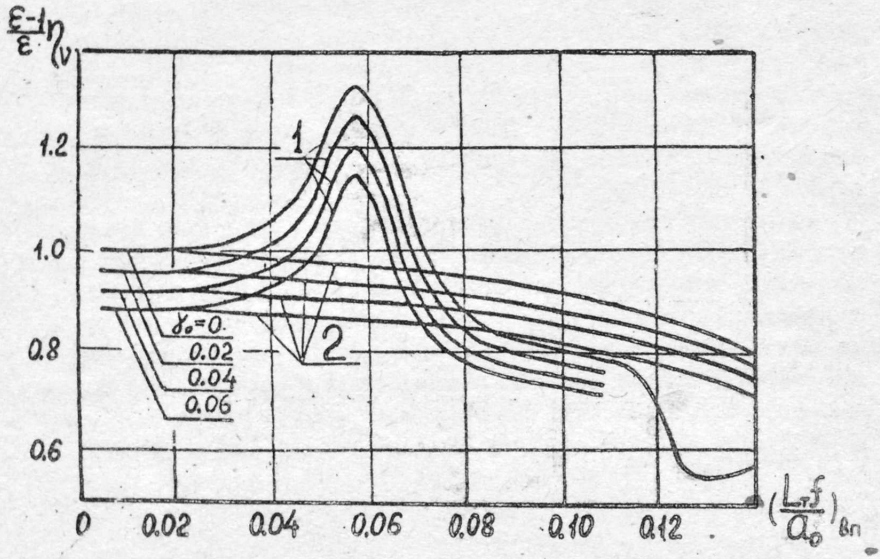

$\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\eta_{(v)}$
1.2
1.0
0.8
0.6
1
2
γ_0=0
0.02
0.04
0.06
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
$\left(\frac{L_T f}{a_0}\right)_{Bn}$

Рис. 8

ВЫВОДЫ

I. Для проведения численных расчетов нестационарного течения газа в трубопроводах ГВТ двигателей разработана новая методика, достоинство которой заключается в принципиальном единообразии записи соотношений на границах расчетных ячеек и на стыках трубопроводов. Эти соотношения представляют собой уравнения распада произвольного разрыва, записанные с помощью газодинамических функций нестационарного и стационарного потоков. Достоверность методики подтверждается хорошим согласованием расчетных и экспериментальных данных, полученных на одноцикловой модельной установке, а также на двигателях Д-2I и ЗИД-4.5.

2. Исходя из общепринятой модели нестационарного течения газа в ГВТ с помощью теории подобия получена система критериев подобия, составленных из основных конструкторских и термодинамических параметров двигателя. Система учитывает влияние большого числа факторов на процесс газообмена и является эффективным средством для обобщения результатов газодинамических исследований ДВС.

3. При обработке результатов численного исследования настройки четырехтактного ДВС с помощью полученных критериев подобия, найдены обобщенные зависимости, позволяющие оценить как саму величину коэффициента наполнения для вновь проектируемого двигателя, так и принципиальные возможности ее повышения за счет настройки. Использование критериальных зависимостей дает также возможность определить основные параметры настроенного ГВТ: длину и поперечное сечение трубопроводов, время-сечение впускных и выпускных органов.

4. Экспериментальное исследование, проведенное на двигателе Д-2I, подтвердило правильность определения основных параметров настроенного ГВТ с помощью расчетных критериальных зависимостей. При этом настройка впускной системы двигателя привела к повышению величины коэффициента наполнения на 24%.

5. Эффективность использования волновых явлений в четырехтактном двигателе, выражающаяся в повышении коэффициента наполнения, существенно выше от настройки впускной системы, чем выпускной. Причем с увеличением степени сжатия эффект от настрой-

МВТУ им. Н.Э. Баумана ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

ии выпуска снижается, а от настройки впуска - остается неизменным.

6. Разработанная универсальная программа отличается простотой и удобством в применении для газодинамического расчета различных схем ГВТ ДВС. Программа может быть рекомендована к внедрению в практику исследовательских и конструкторских организаций для сокращения сроков доводки систем воздухоснабжения как дизелей, так и карбюраторных двигателей.

7. Применение универсальной программы для исследования газообмена двигателя ЗИД-4.5 позволило в короткий срок определить причины, обусловливающие сравнительно низкое значение коэффициента наполнения. Устранение этих причин привело к повышению мощности двигателя на 30%. Результаты исследования внедрены в производство.

Основные положения диссертационной работы достаточно полно отражены в следующих печатных работах:

1. РУДОЙ Б.П., БЕРЕЗИН С.Р., ГРИШИН Ю.А. О подогреве газа при адиабатическом наполнении сосуда. Элементы теории рабочих процессов ДВС. Межвузовский научный сборник, Уфа, 1976, №1, с.40-45.

2. БЕРЕЗИН С.Р., РУДОЙ Б.П. О газодинамической связи впускной и выпускной систем четырехтактного ДВС. Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей. Межвузовский научный сборник № 1, Уфа, 1977, с. 13-17.

3. БЕРЕЗИН С.Р., РУДОЙ Б.П. О направлении движения газа при нестационарном наполнении и опорожнении сосуда. Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей. Межвузовский научный сборник № 2, Уфа, 1978, с. 119-122.

4. РУДОЙ Б.П., БЕРЕЗИН С.Р. Численное исследование процесса газообмена двухтактного двигателя с кривошипно-камерной продувкой. Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей. Межвузовский научный сборник № 2, Уфа, 1978, с. 7-14.

Д-65554 от 15.04.80 г. Тир. 100. Заказ 599 Объем 1 п.л.

Типография МВТУ им. Н.Э. Баумана