

М420559

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ С С С Р

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

НА ДОМ
ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

МАСЛОВ ЮРИЙ ЛУКИЧ

СНИЖЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ВЫПУСКНЫХ КАНАЛАХ
ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
(05.04.02 - тепловые двигатели)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1984

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

Научный руководитель — Заслуженный деятель науки и техники
РСФСР, доктор технических наук,
профессор КРУГЛОВ М.Г.

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор СИМСОН А.Э.
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ДАВЫДКОВ Б.Н.

Ведущее г

З
на зас
машины
Ленина
го Зна
адресу
"Энерг

Н.Э.Б

ВЫСШ
МВТУ

спец
канд

4" часов
пловые
ордена
Красно-
ана по
корпус

ТУ имени

р, просьба
д. 5,
15.05.

И.

Л-83

Тир. 100.

Типография МВТУ им.Н.Э.Баумана, 107005 Москва, 2-я Бауманская 5.

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-85 гг. и на период до 1990 года" перед двигателестроением поставлена задача "расширения производства двигателей с высокими технико-экономическими показателями" и "повышения топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) за счет совершенствования их конструкции". Для двухтактных ДВС технико-экономические показатели в значительной степени определяются процессом газообмена, качество которого зависит от протекания газодинамических процессов в газозооудном тракте и в особенности в выпускной системе. Поэтому одним из направлений улучшения технико-экономических показателей двухтактных ДВС является разработка рациональной конструкции выпускной системы, обеспечивающей наилучшие условия для совместной работы поршневой и лопаточной частей.

Течение газов во многих элементах выпускной системы имеет нестационарный трехмерный характер с наличием отрывных зон, что затрудняет как теоретические, так и экспериментальные исследования таких течений. В последние годы, в связи с достижениями вычислительной техники и газодинамики ДВС, при теоретических исследованиях все более широкое применение находит метод математического моделирования с помощью ЭВМ. В этом случае достоверность полученных результатов во многом зависит от точности граничных условий и в особенности за выпускными окнами, задание которых требует в свою очередь выполнения сложных и трудоемких экспериментальных исследований.

Цель работы. Целью диссертационной работы является улучшение технико-экономических показателей двухтактного двигателя за счет снижения газодинамических потерь в выпускных каналах, получение рекомендаций для их рационального проектирования, разработка и экспериментальная проверка расчетной методики задания граничных условий в системе "цилиндр-выпускное окно-трубопровод" для математического моделирования нестационарного течения в выпускной системе.

Методы исследования. Математическая модель течения газов за выпускными окнами основана на комплексном исследовании физических особенностей отрывного потока и положениях принципа разделя-



щих линий тока (РЛТ); модель течения на прямолинейных участках каналов — на одномерных нестационарных уравнениях газовой динамики; задание граничных условий за выпускными окнами — на применении метода распада произвольного разрыва (РПР) и результатов расчета отрывного потока. Экспериментальные исследования выполнены методом физического моделирования на газодинамических установках и на двигателе 4Д 13/14.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается: в установлении особенностей течений в системе "цилиндр-выпускное окно-трубопровод" в широком диапазоне перепадов давлений и проходных сечений окон; в разработке метода расчета отрывного течения через выпускные окна и использовании полученных результатов для обоснования конструктивных решений и для получения аналитических зависимостей, входящих в методику задания граничных условий, обеспечивающих получение достоверных результатов без использования экспериментальных данных.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований получены практические рекомендации, направленные на снижение газодинамических потерь в выпускных каналах двухтактных двигателей, которые могут быть применены как на проектируемых двигателях, так и уже находящихся в эксплуатации.

Разработанные алгоритмы и программы расчета на ЭВМ отвечают требованиям унификации и модульности, поэтому они могут быть включены в единую систему автоматизированного проектирования двигателя.

Для измерения мгновенной температуры газов в цилиндре двигателя в процессе газообмена разработан приемник периодического погружения, позволяющий проводить измерение в течение одного рабочего цикла и сочетающий малую тепловую инерционность с достаточной прочностью чувствительного элемента. На способ измерения мгновенной температуры газов в цилиндре ДВС и устройство для его осуществления получено авторское свидетельство.

Реализация работы в производстве. Результаты проведенных расчетно-экспериментальных исследований внедрены в ПО "Завод им. Малышева" и ОКБ "Горизонт", что подтверждено актами о внедрении.

Апробация работы. Диссертационная работа заслушана на заседании кафедры "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Н.Э.Баумана в октябре 1983 г. По основным разделам работы бы-

ли сделаны доклады на Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития КДВС и двигателей новых схем и топлив" в октябре 1980 года в МВТУ им. Н.Э.Баумана, на научных конференциях в октябре 1981 г. в МВТУ им. Н.Э.Баумана и в феврале 1983 г. в МАДИ, на отраслевом совещании "Повышение топливной экономичности автотракторных средств" в апреле 1983 г. в НАМИ.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 4 печатных работах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения. Она содержит 149 страниц основного текста, 70 страниц с иллюстрациями, 8 таблиц, а также список использованной литературы, включающий 142 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проводится обзор существующих методов исследований нестационарных течений газа в выпускных системах ДВС. Отмечается, что современной тенденцией является все более широкое применение расчетных методов исследований. Однако созданные ранее упрощенные методы расчета (квазистационарные, акустические, инерционные) не отражают реальные физические особенности нестационарного течения. Современное развитие ЭВМ и достижения газодинамики ДВС позволяют отказаться от указанных методов и перейти к использованию более совершенных математических моделей.

Общепризнанной и практически реализуемой моделью является одномерная модель, описывающая течение на гладких участках трубопровода и на участках их сопряжения: выпускные органы, разветвления, колена и др. Однако течение газа на участках сопряжения носит сложный пространственный отрывной характер, поэтому эти течения обычно не рассчитываются, а соответствующие им граничные условия для гладких участков трубопроводов определяют на основании упрощенных одномерных квазистационарных методик или задают по результатам экспериментальных исследований. Такие подходы снижают точность результатов расчета и сужают границы их применения. В то же время на кафедре "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Н.Э.Баумана имеется положительный опыт использования для определения граничных условий на некоторых типах участков сопряжений (например, разветвлений) метода распада произвольного разрыва, позволяющего учесть распространение волн, а

для определения потерь (например, за выпускным клапаном) метода разделяющих линий тока. Однако до настоящего времени отсутствует удовлетворительная методика расчета течения газа в системе "цилиндр-выпускное окно-трубопровод".

В соответствии с целью исследования и проведенным анализом в работе были поставлены следующие задачи:

- разработать на базе положений разделяющих линий тока метод расчета течений через выпускные окна, учитывающий отрыв потока и связанные с этим явлением потери энергии;

- с использованием результатов расчета отрывного течения и теории распада произвольного разрыва разработать методику задания граничных условий в системе "цилиндр-выпускное окно-трубопровод", алгоритмы и программы для их расчета;

- проверить достоверность результатов расчета по разработанной методике путем их сопоставления с результатами физического моделирования и эксперимента на двигателе;

- на основании расчетно-экспериментальных исследований спроектировать выпускной канал с улучшенными аэродинамическими характеристиками, провести экспериментальную оценку влияния снижения газодинамических потерь в выпускных каналах на технико-экономические показатели двигателя и разработать практические рекомендации по совершенствованию выпускных каналов двухтактных двигателей.

Во второй главе излагаются основные положения расчета параметров отрывного течения за выпускными окнами и методики задания граничных условий в системе "цилиндр-выпускное окно-трубопровод", приводятся алгоритмы и программы расчета разработанных граничных условий и нестационарного течения в выпускной системе двухтактного двигателя.

В основу расчета положена физическая модель, разработанная по результатам визуальных исследований отрывного течения за выпускными окнами, которые позволили определить следующие особенности исследуемого течения. При истечении газов из цилиндра поток, выходя из окна (рис. I), сначала сужается до минимального сечения $m-m'$, а затем вниз по течению расширяется, заполняя на некотором расстоянии все сечение выпускного патрубка. При этом сверху и снизу образуются отрывные зоны А и В, в которых происходит циркуляционное движение газов. Границами отрывных зон и основного потока являются РЛТ - $1'm'p'$ и $1mp$, через которые вследствие турбулентного перемешивания происходит постоянный обмен массами, коли-

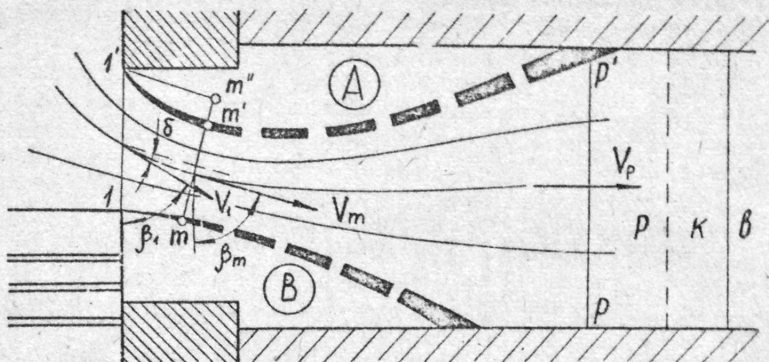


Рис. 1. Истечение из цилиндра через выпускное окно

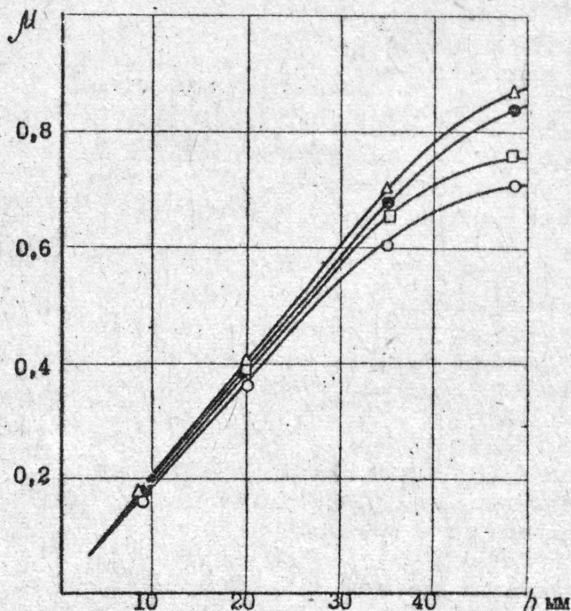


Рис. 2. Изменение коэффициента расхода выпускных патрубков

○ - безлопаточный; □ - безлопаточный с приливом;
● - лопаточный; ▲ - лопаточный с приливом

чеством движения и энергией. Этот обмен начинается с момента отрыва (точки I и I'), усиливается вниз по течению и становится наиболее интенсивным на участке расширения.

В разработанной расчетной методике использованы допущения о равенстве давлений в минимальном сечении $m-m'$ и отрывных зонах A и B (подтвержденное специальным экспериментом) и отсутствии потерь на участке сужения потока. Кроме того, предполагается, что все потери сосредоточены на участке расширения, а течение считается адиабатическим, так как потери теплоты при течении в окнах невелики по сравнению с потерями теплоты в стенки трубопровода. С учетом этих допущений и на основании уравнения сохранения количества движения для участка сужения потока получено соотношение:

$$\frac{2K}{K+1} \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{1}{K-1}} \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_m} q(\lambda_1) \lambda_1 \cos \delta + \mathcal{K}(\lambda_1) = \frac{2K}{K+1} \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{1}{K-1}} \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_m} q(\lambda_m) \lambda_m + \mathcal{K}(\lambda_m); \quad (I)$$

где λ — приведенная скорость потока; β_1 и β_m ($\delta = \beta_m - \beta_1$) — углы входа векторов средних скоростей потока; $\mathcal{K}(\lambda)$ и $q(\lambda)$ — газодинамические функции. (Индексы I и m относятся соответственно к сечениям I' и m-m').

Выражение (I) для известного режима течения на входе, задаваемого значением λ_1 , и определенных углах β_1 и β_m позволяет определить приведенную скорость λ_m .

Затем из уравнения расхода, записанного для участка сужения потока

$$F_1 \sin \beta_1 q(\lambda_1) = F_m q(\lambda_m), \quad (2)$$

находим величину площади минимального сечения F_m .

Приведенную скорость потока λ_p в сечении присоединения определяем из уравнения сохранения количества движения для внезапного расширения потока от сечения m-m' до сечения p-p':

$$Z(\lambda_p) = Z(\lambda_m) + \left(\frac{K+1}{2} \right)^{\frac{1}{K-1}} \frac{1}{\psi(\lambda_m)} \left(\frac{P_p}{P_m} - 1 \right), \quad (3)$$

где $Z(\lambda)$ и $\psi(\lambda)$ — газодинамические функции.

Коэффициент восстановления полного давления σ_0 , оценивающий потери, находим из уравнения расхода

$$F_m q(\lambda_m) = \sigma_0 F_p q(\lambda_p). \quad (4)$$

По полученным значениям σ_0 и λ_p определяем перепад давлений в выпускных окнах

$$\frac{P_p}{P_p} = \frac{1}{\sigma_0 \mathcal{K}(\lambda_p)}, \quad (5)$$

который сравниваем с заданным перепадом давлений. Если P_4/P_0 с требуемой точностью соответствует заданному, то расчет заканчивается. При невыполнении указанного условия расчет повторяется при новом значении λ_1 . После выполнения условий точности определяем расход газа через выпускные окна

$$G = m \frac{P_0 G_0 F_p Q(\lambda_p)}{\sqrt{T^*}}, \quad (6)$$

где $m = \sqrt{\frac{K}{R} \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}}}$.

При сверхкритическом режиме расчет несколько упрощается, так как в этом случае в минимальном сечении устанавливается критическая скорость ($\lambda_m = 1$) и поэтому из уравнения (I) однозначно определяется λ_1 .

Также разработана методика учета потерь, связанных с отрывом потока при течении в канале с поворотом, которая базируется на тех же основных принципах.

Результаты расчета отрывного течения использованы при разработке методики задания граничных условий за выпускными окнами, которая основывается на решении задачи о РПР для каждого расчетного шага по времени. При этом считаем, что при изменении проходного сечения окон для существующего перепада давлений в окнах в рассматриваемый момент времени происходит мгновенное изменение параметров истечения по отношению к существовавшим на предыдущем шаге с образованием определенной волновой конфигурации, состоящей из волны сжатия и контактной поверхности в трубопроводе и пространственной волны разрежения в цилиндре (рис. I). При этом за фронтом волны сжатия с перепадом давлений P_4/P_0 , температура, давление и скорость газа повышаются, а на контактной поверхности, распространяющейся вслед за волной сжатия устанавливается равенство давлений и скоростей. Вслед за движущейся волной и контактной поверхностью в зоне окна мгновенно устанавливается режим стационарного течения. В цилиндре интенсивность распространяемой волны разрежения невелика, поэтому в расчетах ее не учитываем.

Расчет граничных условий за окнами проводится следующим образом. Вначале из уравнений (3) и (4) находятся значения λ_p и G_0 . Затем, выражая перепад давлений на фронте волны сжатия через отношения давлений в соответствующих зонах $P:K, B$ (рис. I) с помощью газодинамических функций $\mathcal{H}(M)$ и $\mathcal{H}'(M)$ для стационарных и нестационарных участков течения и учитывая равенство давлений

на контактной поверхности, получаем:

$$\frac{P_u}{P_b} = \frac{P_u}{P_i} \frac{P_i}{P_p} \frac{P_p}{P_k} \frac{P_k}{P_b} = \frac{1}{\sigma_0 \mathcal{K}(M_p)} \frac{\mathcal{K}'(M_k)}{\mathcal{K}'(M_b)} \quad (7)$$

Из выражения (7) после определения параметров потока в зонах P и K определяем перепад давлений в цилиндре и основании волны сжатия P_u/P_b , который сравниваем с существующим и в случае несоответствия расчет повторяется.

Для проведения расчетов на следующем временном шаге параметрами газа в зоне δ будут являться параметры газа зоны P предыдущего расчетного шага. Давление и температура газа в цилиндре определяются с учетом изменения объема, энергии и вытекшей за расчетный шаг массы газа.

По аналогии с методикой задания граничных условий за окнами на базе расчета отрывного течения в канале с поворотом и теории РПР разработана методика задания граничных условий за поворотом канала.

Разработанные алгоритмы и программа расчета граничных условий оформлены в виде отдельных модулей программного комплекса расчета нестационарного течения в выпускной системе, который использовался для расчета течения в трубопроводах одноцикловой динамической модели и двигателя 4Д 13/14.

В третьей главе изложены методики визуальных исследований отрывного течения за окнами оптическим методом на приборе ИАБ-451 и методом физического моделирования при стационарных и нестационарных режимах течения на различных газодинамических установках, описаны экспериментальные установки, представлены полученные результаты и проведен их анализ.

Визуальные исследования проводились в широком диапазоне перепадов давлений и проходных сечений окон на плоской модели, оборудованной необходимыми приборами для измерения давления в цилиндре P_u , расхода воздуха G_δ и осредненного полного давления P_p^* в выходном сечении патрубка. Расход воздуха измерялся нормальной диафрагмой, изготовленной и установленной согласно правилам РД 50-213-8, полное давление — плоской шаговой гребенкой с прямым расположением приемников, давление в цилиндре — образцовым манометром. Фотографии отрывного течения, полученные шпирен-методом и методом цветного раstra и приведенные в работе, позволили разработать физическую модель течения и получить информацию о границах потока, расположения и размерах отрывных зон A и B ,

величине минимального сечения F_m и значениях углов β_1 и β_m .

Исследования при стационарных режимах течения проводились на объемной модели, на которой были исследованы патрубки различной конструкции — безлопаточный (прямой и с поворотом), лопаточный с направляющими лопатками за перемычками между окнами и с поворотом, безлопаточный и лопаточный с поворотом и приливом, заполняющим верхнюю основную отрывную зону A и сифилирированным по результатам визуальных исследований и расчетов отрывного течения за окнами. Эксперименты также проводились в широком диапазоне перепадов давлений и проходных сечений окон и практически охватывают все возможные режимы истечения, встречающиеся в реальных условиях.

Результаты экспериментальных исследований удовлетворительно согласуются с результатами расчетов по разработанной методике. Наибольшее расхождение величины расхода G не превышает 7,5%, причем последнее соответствует малым открытиям окон, при которых практически невозможно учесть утечки через зазоры между поршнем и гильзой.

В процессе исследований экспериментально подтверждено увеличение расхода газа через опытные выпускные каналы с приливами в верхней части по сравнению с базовыми в среднем на 7,7% для безлопаточных патрубков и на 14% для лопаточных (рис. 2).

Экспериментальные исследования при нестационарных режимах течения проводились на установке с динамической одноцикловой моделью, позволяющей исключить влияние предыдущих циклов на процессы истечения через выпускные окна. Время открытия окон модели составляет $t = 0,015-0,018$ с. К модели пристыкован трубопровод длиной $l = 3,5$ м и площадью проходного сечения, равной максимальной площади окон. Длина трубопровода определялась из соотношения $2l > a_0 t$ (где a_0 — скорость звука), что позволяет записать датчиком волну давления, распространяющуюся от окон, без искажения волной, отраженной от открытого конца трубопровода. Конструкция модели позволяет в широком диапазоне изменять интенсивность, продолжительность и крутизну переднего и заднего фронтов исходной волны. Модель оснащена необходимой аппаратурой, позволяющей регистрировать перемещение поршня, изменение давления в цилиндре, исходную и отраженную волну давления в трубопроводе.

Результаты экспериментальных исследований удовлетворительно

согласуются с результатами расчетов нестационарного течения в системе "цилиндр-выпускное окно-трубопровод".

На модели также проводились сравнительные испытания базовых патрубков и опытных с профилированным приливом в верхней части канала. Установка более совершенного в аэродинамическом отношении патрубка позволила уменьшить давление в цилиндре в процессе истечения, увеличить на 4-5% интенсивность волны давления и на 6-8% располагаемую энергию газов в трубопроводе (рис. 3).

По результатам теоретических и экспериментальных исследований течений в каналах, выполненных для различных режимов течений, разработаны рекомендации по профилированию выпускных каналов, позволяющие уменьшить их гидравлическое сопротивление.

Выпускные окна должны выполняться с наклоном верхней стенки под углом $14-20^\circ$ и с прямой нижней стенкой, а канал в верхней своей части должен иметь прилив, заполняющий верхнюю отрывную зону. Прилив является продолжением наклона окон и обеспечивает плавное уменьшение площади проходного сечения канала на 20% на расстояние 0,9-1,3 высоты окна. В зависимости от конструктивных особенностей выпускного патрубка канал далее должен сохранять постоянную площадь проходного сечения или плавно расширяться до размеров проходного сечения трубопровода. Дополнительное увеличение пропускной способности выпускных каналов достигается установкой направляющих поворотных лопаток за перемычками между окнами, причем в этом случае приливы размещаются в межлопаточных каналах.

В четвертой главе описаны экспериментальная установка с двигателем 4Д 13/14 и методика проведения исследования нестационарного течения в выпускном трубопроводе. С целью устранения влияния работы соседних цилиндров эксперименты проводились в индивидуальном выпускном трубопроводе опытного цилиндра, оборудованного необходимой аппаратурой для измерения давления и мгновенной температуры газов.

Измерение давления в цилиндре двигателя проводилось охлаждаемым индуктивным датчиком ДДИ-21 в комплекте с усилителем ИВП-2, преобразователем напряжения ПНШ-4 и осциллографом К-115. Причем для снижения уровня помех к стандартной измерительной схеме дополнительно включен блок питания с повышенной стабилизацией по току. В выпускном трубопроводе измерение давлений проводилось индуктивным датчиком ДДИ, установленным в охлаждаемом контейнере, в комплекте с усилителем ТА-5. Для измерения мгновенной температуры га-

10

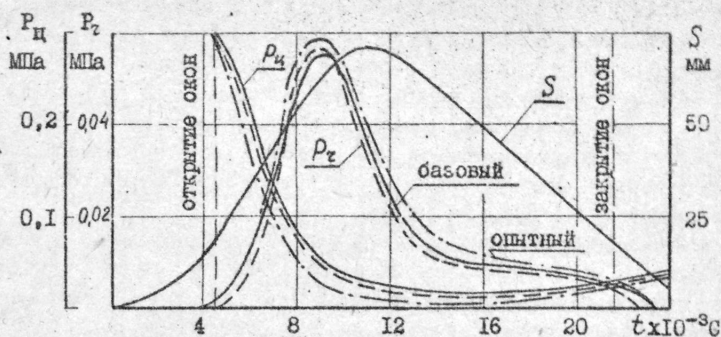


Рис. 3. Изменение давлений в цилиндре и выпускном трубопроводе одноцикловой модели:

— — эксперимент;
 --- — расчет

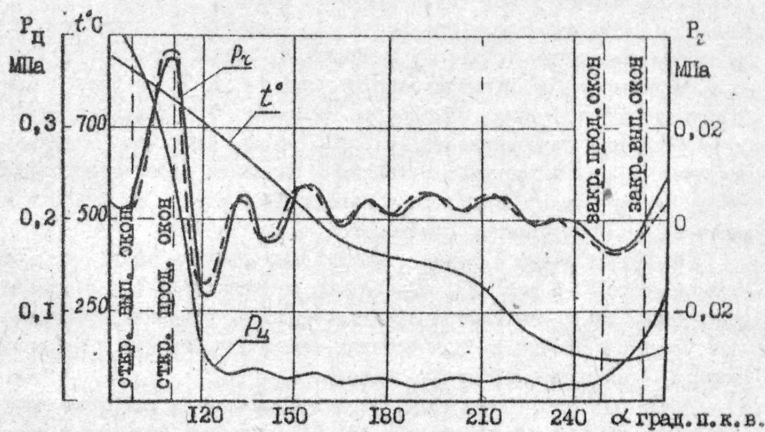


Рис. 4. Результаты исследований на двигателе 4Д 13/14

— — эксперимент
 --- — расчет

зов в цилиндре двигателя был разработан термоприемник периодического погружения, позволяющий производить измерение температуры в период газообмена в течение одного рабочего цикла.

При разработке конструкции термоприемника были проведены анализ методов измерения, обзор выполненных работ по измерению температуры газов в цилиндрах ДВС и рассмотрены теоретические основы измерения температуры газового потока термометром сопротивления.

Из рассмотрения особенностей теплообмена проволоочки с газовым потоком и из анализа погрешностей измерения следует, что при всех прочих равных условиях наибольшую погрешность в измерениях вносит тепловая инерция проволоочки ϵ , существенно искажающая характер изменения нестационарной температуры среды. Указанную погрешность измерения аналитически определить весьма сложно, поэтому при обработке сигналов датчика используются различные методы ее коррекции: двух и трех проволоочек, экстраполяция на нулевой диаметр, введение электрических корректирующих устройств и коррекция с учетом изменения скорости потока.

Из приведенных методов коррекции наиболее совершенными в условиях измерения температуры выпускных газов являются методы трех проволоочек и автоматической коррекции на ЭВМ с учетом изменения скорости потока. Однако эти методы являются весьма трудоемкими, поэтому представляется целесообразным уменьшать величину ϵ за счет совершенствования приемника. Наиболее эффективно снижение тепловой инерции достигается уменьшением диаметра проволоочки до значений, обусловленных необходимой ее прочностью.

Наиболее полно основным требованиям отвечают вольфрам-рениевые сплавы ВАР-5 и ВР-20, обладающие по сравнению с вольфрамом, который обычно применяется при изготовлении приемников, повышенным пределом прочности при высоких температурах, лучшей свариваемостью и коррозионной стойкостью.

Существующие конструкции термоприемников не удовлетворяют целям проводимых исследований, так как обладают невысокой точностью измерения температуры газов в цилиндре в процессе газообмена. Это объясняется тем, что измерения проводятся в продолжение всего рабочего цикла, включая высокие температуры воспламенения и горения топлива, что вызывает необходимость применения проволочек увеличенного диаметра и, следовательно, увеличение погрешнос-

ти измерения.

Разработанный термоприемник представляет собой нормально-закрытый клапан прямого действия тарельчатого типа с электропневматическим приводом и сменным датчиком температуры, размещенным в поперечно-обтекаемой камере торможения, выполненной в стержне клапана. Датчик температуры - однопроволочный термометр сопротивления с проволокой $\alpha = 0,010$ мм из сплава ВР-20.

Перед установкой на двигатель были проведены тарировки датчиков температуры, получены зависимости изменения сопротивления проволоки от температуры $R_t/R_{20} = f(t^\circ)$ и экспериментально исследованы возможности разработанного термоприемника. Так были определены коэффициенты восстановления температуры приемника с открытым чувствительным элементом и с различными камерами торможения и значения постоянной тепловой инерции приемника с проволоками разного диаметра из различных материалов.

С учетом экспериментальных данных изменения давления и мгновенной температуры газов в цилиндре были проведены численные расчеты нестационарного течения в индивидуальном выпускном трубопроводе на различных режимах работы двигателя. Анализ полученных расчетных и экспериментальных результатов показывает их удовлетворительное согласование на всех исследованных режимах (рис. 4), что позволяет рекомендовать разработанную расчетную методику задания граничных условий за выпускными окнами при математическом моделировании нестационарного течения в выпускных системах двухтактных ДВС.

В пятой главе приведены результаты экспериментальной оценки влияния снижения газодинамических потерь в выпускных каналах на технико-экономические показатели двигателя, описаны методики проведения испытаний и обработки результатов, даны оценки погрешностей измерения экспериментальных величин и определения основных показателей двигателя.

Испытания проводились на двигателе 4Д 13/14, оборудованном необходимой аппаратурой и приборами для снятия основных характеристик и параметров рабочего процесса со штатной выпускной системой и опытной, изготовленной в соответствии с полученными рекомендациями.

Снятие характеристик проводилось в диапазоне от $n = 900$ – 2100 мин.⁻¹ при строго фиксированном положении рейки топливного насоса и при постоянных величинах противодавления на выпуск и тем-

ператур воды и масла в двигателе. По результатам исследований построены скоростные характеристики и диаграммы изменения основных параметров рабочего процесса двигателя.

Анализ результатов показывает, что с уменьшением газодинамических потерь в выпускных каналах на всех частотах вращения в среднем на 4-5% увеличивается расход воздуха G_b через двигатель. Причем увеличение расхода воздуха происходит при уменьшении давления продувочного воздуха P_k , что связано со снижением давления в цилиндре в конце выпуска и в период продувки.

Одновременно с уменьшением P_k снижается во всем диапазоне изменения n и значения t_k , что при прочих равных условиях уменьшает температуру начала сжатия T_a , увеличивает наполнение цилиндра свежим зарядом и приводит к снижению затрат мощности на привод нагнетателя. Кроме того, увеличение циклового расхода воздуха приводит к улучшению очистки цилиндров от отработавших газов и к снижению возможности их заброса в продувочный ресивер.

Увеличение коэффициента избытка продувочного воздуха приводит к снижению температуры выпускных газов и способствует снижению теплонпряженного состояния основных деталей цилиндро-поршневой группы.

Комплексное воздействие на рабочий процесс перечисленных факторов улучшает технико-экономические показатели двигателя во всем диапазоне скоростных режимов, причем в наибольшей степени на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Так, на номинальном режиме достигнуто увеличение мощности двигателя на 3,1% при одновременном уменьшении удельного эффективного расхода топлива на 2,5%.

По результатам сравнительных испытаний сделан вывод, что снижение газодинамических потерь в выпускных каналах является важным резервом повышения технико-экономических показателей двухтактных двигателей.

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод расчета течения газа через выпускные окна и каналы двухтактного двигателя, учитывающий отрыв потока и связанные с этим явлениями потери энергии и позволяющий без использования эмпирических коэффициентов с учетом сжимаемости газа определять основные потери отрывного течения, действительный расход и другие параметры газового потока во всех сечениях выпускного канала.

2. С использованием результатов расчета отрывного течения на базе теории распада произвольного разрыва разработана расчетная методика задания граничных условий для системы "цилиндр-выпускное окно-трубопровод" и алгоритмы и программы для их расчета на ЭВМ.

3. С учетом разработанных граничных условий для проведения численных расчетов нестационарного течения в выпускных системах разработаны алгоритмы и программа расчета, модульный принцип построения которой позволяет проводить математическое моделирование нестационарных процессов в выпускных системах различных двухтактных двигателей.

4. Комплексная проверка результатов расчета по разработанным алгоритмам, проведенная путем сравнения с результатами экспериментальных исследований методом физического моделирования на газодинамических моделях при стационарных и нестационарных режимах течения и на двигателе, показала их хорошее согласование, что позволяет рекомендовать разработанные алгоритмы для использования при проведении расчетных исследований ДВС.

5. В процессе исследований методом физического моделирования разработаны конструкции газодинамических моделей, которые в сочетании с методикой визуальных исследований позволяют значительно сократить затраты средств и времени при экспериментальной доводке сложных выпускных систем.

6. Для измерения мгновенной температуры газов в цилиндре ДВС в процессе газообмена разработан приемник периодического погружения, сочетающий малую тепловую инерционность с достаточной механической прочностью чувствительного элемента. В процессе создания конструкции приемника разработаны методики экспериментального определения постоянной тепловой инерции и коэффициентов восстановления температуры, а также исследовано влияние геометрических и физических параметров чувствительного элемента на инерционные погрешности измерения.

7. Выполнен комплекс работ по совершенствованию аппаратуры и методов измерений давлений в цилиндре в процессе газообмена и в выпускном трубопроводе индуктивными датчиками типа ДДИ и ДМИ, которые рекомендованы для использования при проведении экспериментальных исследований.

8. На основании проведенных расчетно-экспериментальных исследований получены практические рекомендации по профилированию вы-

пусковых каналов двухтактных двигателей, обеспечивающих снижение газодинамических потерь в выпускных каналах, реализованные на двигателе 4Д 13/14. Достигнутое в среднем на 14% увеличение пропускной способности выпускных каналов позволило увеличить в среднем на 4-5% расход воздуха через двигатель и улучшить его технико-экономические показатели во всем диапазоне скоростных режимов. На номинальном режиме достигнуто увеличение мощности на 3,1% при одновременном снижении удельного расхода топлива на 2,5%.

Полученные результаты подтверждают, что снижение газодинамических потерь в выпускных каналах является важным резервом улучшения технико-экономических показателей двухтактных двигателей как на проектируемых, так и уже находящихся в эксплуатации. Внедрение указанных мероприятий в двигателестроение может принести значительный экономический эффект.

По материалам диссертации опубликовано:

1. Маслов Ю.Л., Савенков А.М. Экспериментальное определение постоянной тепловой инерции термометра сопротивления. - Элементы, теории рабочих процессов ДВС. - Уфа: УАИ, 1976, вып. I, с. 45-53.

2. Граничные условия для численного расчета нестационарного течения через окна двухтактного двигателя/ Ю.А.Гришин, М.Г.Круглов, Ю.Л.Маслов, А.М.Савенков. - Перспективы развития КДВС и двигателей новых схем и топлив: Тезисы докладов Всесоюзной науч.-технич. конференции. - М., 1980, с. 81-82.

3. Круглов М.Г., Савенков А.М., Маслов Ю.Л. Термоприемник периодического погружения для измерения температуры газов в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. - Машины, приборы, стенды. - М.: Внешторгиздат, 1980, № 7, с. 50.

4. А.С. № 983063 (СССР). Способ определения температурного поля газов в цилиндре двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / М.Г.Круглов, А.М.Савенков, Ю.Л.Маслов. - Опубл. в Б.И. 1982, № 47.

А.М.Савенков
10.05.84.

