М327541

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования
С С С Р

М о с к о в с к о е
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

РЫНДИН Владимир Витальевич

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ВО ВПУСКНОМ ТРУБОПРОВОДЕ И РАВНОМЕРНОСТИ НАПОЛНЕНИЯ МНОГОЦИЛИНДРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

(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 - 1978

Министерство высшего и среднего специального образования
С С С Р

М о с к о в с к о е
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

РЫНДИН Владимир Витальевич

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ВО ВПУСКНОМ ТРУБОПРОВОДЕ И РАВНОМЕРНОСТИ НАПОЛНЕНИЯ МНОГОЦИЛИНДРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

(05.04.02. - тепловые двигатели)

М32 7541

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

Москва - 1978

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1327541
Рындин В.В. Исследование н

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент ИВИН В.И.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, и.о.профессора ДЬЯЧЕНКО В.Г.,

кандидат технических наук, с.н.с. ШМАКОВ Д.К.

Ведущее предприятие – указано в решении Ученого Совета.

Защита диссертации состоится " " _____ 1978 года в " " часов на заседании Специализированного Совета К-33/5 "Тепловые машины и теоретические основы теплотехники" МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: г. Москва, 107005, Лефортовская набережная, д. 1, корпус факультета "Энергомашиностроение".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан " " _____ 1978 года.

Ваш отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенный печатью учреждения, просьба выслать по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., д. 5, МВТУ, ученому секретарю Совета К-33/5.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
к.т.н., доцент МАНУШИН Э.А.

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕЧНАЯ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Повышение удельной мощности и экономичности двигателей внутреннего сгорания продолжает оставаться важнейшей задачей современного двигателестроения, определенной в решениях XXУ съезда КПСС "Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976-80 годы". Решение этой задачи в значительной мере зависит от степени совершенства процессов газообмена, определяемой количеством поступающего в цилиндр двигателя свежего заряда и необходимыми затратами работы.

Впускные системы многоцилиндровых двигателей должны обеспечивать, кроме того, и равномерное распределение свежего заряда по всем цилиндрам. Неравномерность наполнения отрицательно сказывается на работе двигателя, так как служит причиной неравномерной нагрузки цилиндров, приводит к ухудшению экономичности, уменьшению мощности, неравномерному и более быстрому износу кривошипно-шатунного механизма. Равномерное наполнение цилиндров - одно из необходимых и решающих условий создания малотоксичных ДВС.

Неравномерность наполнения цилиндров - результат совокупного влияния процессов очистки и наполнения, но решающее значение на степень неравномерности наполнения цилиндров в четырехтактных двигателях оказывает характер протекания процесса наполнения и, следовательно, конструкция впускного тракта. Поэтому разработка впускных систем, обеспечивающих высокоэффективное и равномерное наполнение цилиндров многоцилиндрового двигателя, является актуальной задачей.

Широкое внедрение ЭЦВМ в практику позволяет применять в исследованиях различных вариантов впускных систем ДВС наряду с экспериментальными и расчетно-теоретические методы. Однако применяемые в настоящее время расчетные методики исследования разветвленных впускных систем базируются на ряде достаточно грубых допущений, которые не позволяют учитывать некоторые характерные особенности конструкции впускного тракта. Особенно это касается конструкции разветвлений трубопровода. Разработка граничных условий и экспериментальная их проверка являются необходимым условием создания высокоэффективных математических моделей.

Цель работы. Создание методики расчета нестационарного

течения газа в разветвленном впускном трубопроводе и исследование влияния нестационарного потока на эффективность и равномерность наполнения цилиндров многоцилиндрового двигателя.

Методы исследования. Расчетное исследование процесса наполнения многоцилиндрового двигателя и неустановившегося течения газа в разветвленном впускном трубопроводе выполнено на ЭЦВМ М-222 численным решением квазилинейных дифференциальных уравнений, описывающих одномерное неустановившееся течение газа в трубопроводе переменного сечения, методом сеток. Для выяснения сущности физических явлений, возникающих в процессе наполнения, а также для формулирования граничных условий используется теория волн конечной амплитуды. При выводе граничных условий уравнение энергии записывается в стационарном виде. Для учета потерь энергии и нестационарности потока вводятся нестационарные коэффициенты потерь. Определение нестационарных коэффициентов потерь, а также проверка методики расчета граничных условий в разветвлении выполнены методом физического моделирования неустановившегося потока в разветвленном трубопроводе. Экспериментальное исследование влияния конструкции впускного коллектора, а также влияния работы соседних цилиндров на равномерность наполнения проведено на динамической модели. Результаты экспериментального исследования использовались для обоснования и проверки граничных условий, принятых в математической модели.

Научная новизна. В предложенной методике расчета граничных условий в разветвлении впервые учитываются реальные особенности течения газа в разветвлении: изменение давления по всем ветвям разветвления и учтены потери энергии. Впервые дано применение уравнения энергии для неустановившегося течения к потоку, возникающему за волнами конечной амплитуды, что позволило процессы отражения волн от граничных сечений представить в координатах i-δ. На основании теории волн конечной амплитуды получено выражение для расчета максимального повышения давления у впускного клапана, которое отличается от известного выражения Н.Е.Жуковского для гидравлического удара членом, учитывающим сжимаемость газа. В результате теоретического исследования стационарного потока на входе в трубопровод с утолщенными стенками получена формула для расчета коэффициента потерь с учетом относительной толщины стенки трубы.

Практическая ценность. Разработанная методика расчета процесса наполнения с учетом нестационарности потока во впускном трубопроводе многоцилиндрового двигателя позволит производить "численные эксперименты" для впускных систем КДВС с целью оптимизации их конструкции. В результате сократятся затраты средств и времени на конструирование и доводку впускных систем многоцилиндровых двигателей. Особенно эффективно применение математического моделирования при исследовании неравномерности наполнения цилиндров, так как экспериментальные методы исследования неравномерности наполнения цилиндров на двигателях трудоёмки и неизбежно связаны с нежелательными изменениями конструкции двигателя, которые нарушают условия протекания газообмена, либо неточны.

Показано, что эффективным способом улучшения равномерности наполнения цилиндров является увеличение поперечного сечения коллектора. Применение впускного коллектора большого поперечного сечения на двигателе типа В-12 позволяет увеличить коэффициент наполнения в широком диапазоне скоростных режимов на 2-5% и снизить неравномерность наполнения цилиндров до 2-4%.

Апробация работы. Диссертационная работа заслушана на заседании кафедры "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1976 году. По основным разделам работы были сделаны доклады на научно-технических конференциях кафедры в 1976 г., 1977 г. и в Павлодарском индустриальном институте в 1977 году. Полученная в работе расчетная методика входит составной частью в общую методику расчета рабочего процесса многоцилиндрового комбинированного двигателя внутреннего сгорания, разрабатываемую на кафедре КДВС МВТУ им. Н.Э.Баумана. Основные результаты расчетно-экспериментального исследования внедряются в организации двигателестроения.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в трех печатных работах и в двух научно-технических отчетах кафедры "КДВС" МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и выводов. Она содержит 124 страницы основного текста, 52 рисунка, 4 таблицы, а также список использованной литературы, включающий 124 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе анализируются существующие методы расчетного исследования процесса наполнения многоцилиндрового двигателя с разветвленной впускной системой. Дается краткий обзор методов расчета неустановившихся потоков в трубопроводах ДВС (работы А.С.Орлина, М.Г.Круглова, М.А.Хайлова, Р.С.Бенсона, Е.Дженни, Г.Зейферта, Г.Листа и других авторов).

Показывается, что наполнение ДВС существенно зависит от протекания неустановившихся процессов во впускном трубопроводе. Существующие теории динамического наддува описывают одну из сторон (инерционную или волновую) неустановившегося течения, а математические модели, применяемые в них, являются частным случаем решения нелинейных уравнений, описывающих одномерное неустановившееся течение. Применение метода характеристик при решении уравнений неустановившегося движения газа позволяет учесть как инерционные, так и волновые явления, теплообмен и трение.

Однако методы определения граничных условий, особенно в разветвлениях трубопроводов, далеки от совершенства и нуждаются в дальнейшем развитии на базе экспериментальных и расчетных исследований. Необходимость таких работ вызвана тем, что существующие методы расчета граничных условий в разветвлении не отражают действительную картину течения газа в разветвлении и не дают возможность анализировать влияние различных конструктивных особенностей разветвлений на характер протекания неустановившихся процессов в разветвленном трубопроводе многоцилиндрового двигателя.

Величина степени неравномерности наполнения, установленная различными исследователями, находится в пределах 7-20% частично потому, что исследовались двигатели различных типов, а применяемые методы определения неравномерности наполнения цилиндров далеки от совершенства. Неравномерность наполнения цилиндров приводит к снижению мощности четырехтактного двигателя на 5-7% и двухтактного на 15-20%. До настоящего времени нет единого мнения о причинах неравномерности наполнения цилиндров и способах её уменьшения. Существующие методы расчёта неравномерности наполнения цилиндров основаны на ряде допущений, которые не позволяют не только количественно определить

наполнение отдельных цилиндров, но и вскрыть причину неравномерности наполнения.

В связи с этим в диссертационной работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать неустановившееся течение газа в разветвлении и разработать метод расчета граничных условий в разветвлении.

2. Разработать алгоритм и программу расчета процесса наполнения многоцилиндрового двигателя с разветвленным впускным трубопроводом.

3. Создать экспериментальную установку для исследования эффективности и равномерности наполнения цилиндров.

4. Исследовать влияние основных конструктивных размеров впускной системы и режимов работы двигателя на эффективность и равномерность наполнения цилиндров.

Во второй главе на основании теории волн конечной амплитуды рассматривается физическая картина и выводятся граничные условия неустановившегося течения во впускном тракте многоцилиндрового двигателя. Скорость потока за волной разрежения находится из выражения:

$$W = \frac{2}{K-1} a_0 \left[1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{K-1}{2K}}\right], \qquad (I)$$

где a_0 и Ро – скорость звука и давление газа в трубе до прихода волны разрежения; Р – давление газа в потоке за волной разрежения. Сравнение этого выражения с выражением для скорости стационарного потока при том же перепаде давления Р/Ро показывает, что скорость стационарного потока значительно больше скорости потока, вызванного волной разрежения. Если этот поток стационарно затормозить, то полное давление $P_{ст}^{*}$ будет меньше Ро и лишь при нестационарном торможении мы получим $P_{н}^{*}$=Ро. Если волну разрежения представить как сумму элементарных волн, то за период образования основной волны каждая элементарная волна успевает отразиться от открытого конца трубопровода в виде волны давления и вернуться к клапану. В результате чего происходит непрерывный разгон газа как в волнах разрежения, так и в волнах сжатия до условий стационарного потока, т.е. скорость потока становится равной скорости стационарного потока при том же перепаде давления. Если выражение для давления торможения в волне давления разложить по формуле бинома Ньютона, то получим

$$P_н^* = P + \rho a W^2 (1 + \varepsilon_н),$$

где $\varepsilon_н = \frac{k+1}{4} M + \frac{k+1}{12} M^2 + \dots$ – коэффициент, учитывающий сжимаемость газа при нестационарном его торможении. Если сравнить это выражение с аналогичным для полного давления стационарно заторможенного потока, то можно сделать вывод, что $P_н^*$ больше $P_{ст}^* = P_0$.

При прохождении волны разрежения через разветвление фронт её расширяется и распадается на два фронта различной интенсивности, распространяющихся в ветвях разветвления. Расширение фронта волны разрежения при увеличении сечения сопровождается образованием волны давления, в результате чего давление на выходе потока из разветвления повышается. Уравнение наложения волн имеет вид:

$$W_c^9 = W_i + \frac{2}{k-1} a_i \left[\left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{2k}} - 1 \right], \qquad (2)$$

где индекс "i" относится к параметрам газа в падающей волне разрежения; "с" – к параметрам газа на выходе из разветвления. Уравнения волн разрежения, вошедших в ветви разветвления, записываются в виде (I). В разветвлении можно выделить два потока, для которых можно написать соответствующее уравнение энергии для неустановившегося движения, предполагая, что параметры потоков равномерно распределены по каждому из сечений г–г, б–б и с–с до и за разветвлением:

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_г + i_г + \frac{W_г^2}{2} = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_c + i_{ct} + \zeta \frac{W_c^2}{2};$$

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_б + i_б + \frac{W_б^2}{2} = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_c + i_{ct} + \frac{W_c^2}{2} + \zeta \frac{W_c^2}{2},$$

где ζ – коэффициент необратимых потерь в разветвлении. Поскольку функция $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ в данном случае неизвестна, уравнения энергии используются в квазистационарной постановке. Для учета необратимых потерь энергии и перераспределения части энергии потока на его ускорение или замедление в эти уравнения вводятся нестационарные коэффициенты потерь $\zeta_{г-c}$ и $\zeta_{б-c}$ для главной и боковой ветви разветвления, определяемых экспериментально. Уравнения энергии удобно для расчетов записать в виде:

$$\frac{k}{k-1} \frac{P_г}{\rho_г} + \frac{W_г^2}{2} = \frac{k}{k-1} \frac{P_c}{\rho_{ct}} + \frac{W_c^2}{2 \alpha_{г-c}^2}; \qquad (3)$$

$$\frac{k}{k-1} \frac{P_б}{\rho_б} + \frac{W_б^2}{2} = \frac{k}{k-1} \frac{P_c}{\rho_{ct}} + \frac{W_c^2}{2 \alpha_{б-c}^2}, \qquad (4)$$

где $\alpha_{г-c} = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_{г-c}}}$ и $\alpha_{б-c} = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_{б-c}}}$ – скоростные коэффициенты.

Уравнение неразрывности для разветвления записывается в

виде:

$$\gamma \cdot \rho_c \cdot w_c \cdot F_c = \rho_r \cdot w_r \cdot F_r + \rho_\delta \cdot w_\delta \cdot F_\delta, \qquad (5)$$

где $\gamma = \frac{\rho_c}{\rho_{c_1}} = e^{\frac{\Delta s}{R}}$ – коэффициент, характеризующий относительное уменьшение плотности газа на выходе из разветвления вследствие приращения температуры при наличии гидравлических потерь. Для расчета параметров потока в разветвлении система уравнений, составленная из уравнений энергии, неразрывности, наложения волн и волн в ветвях разветвления решается численными методами с учётом изоэнтропной связи параметров газа в волнах разрежения.

В общем случае коэффициенты потерь в разветвлении зависят от угла θ между ветвями разветвления, отношения их площадей сечений и числа Маха на выходе из разветвления. Для исключения взаимного влияния отдельных элементов впускного трубопровода исследование неустановившегося потока и определение коэффициентов потерь в разветвлении производилось на модели с ударной трубой. В этом случае коэффициенты потерь можно распространять на широкий круг двигателей. Экспериментальная установка состоит из ударной трубы с присоединенным к камере высокого давления разветвлением. Ветви разветвлений выполнены длиной 1,5 м, что позволяет получить в разветвлении квазиустановившийся поток, достаточной для проведения измерений продолжительности. В экспериментальном исследовании определялись коэффициенты потерь в нестационарном потоке для разветвлений с пересечением труб равного диаметра под углом 35, 90 и 145 градусов, а также труб различного диаметра с отношением площадей $\varphi = \frac{F_\delta}{F_c} = 1$; 2,37; 5,76 при пересечении их под прямым углом. Исследование выполнено при трех перепадах давления на диафрагме, соответствующих значениям числа $M = 0{,}2 \div 0{,}5$. С увеличением интенсивности волн разрежения растет скорость потока в разветвлении, а значит растет доля энергии потока, затрачиваемая на разгон потока. В уравнении энергии для нестационарного потока эту энергию учитывает член $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$. Однако рост скорости суммарного потока на выходе из разветвления происходит значительно быстрее, чем в ветвях разветвления, и, следовательно, $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_c$ растет быстрее, чем $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_r$ и $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)_\delta$ с увеличением M и φ, что в конечном итоге приводит к росту $\zeta_{c_1 c_2}$. Необратимые потери с ростом числа Маха увеличиваются, а с ростом отношения φ уменьшаются, несмотря на рост суммарного коэффициента потерь $\zeta_{c_1 c_2}$.

Полученные значения давлений в разветвлении расчетным пу-

тем на основании одномерного квазистационарного анализа хорошо согласуются с экспериментальными данными при изменении скорости потока в исследованной области чисел М.

В третьей главе приведено описание математической модели неустановившегося течения в разветвленном впускном трубопроводе и процесса наполнения цилиндров двигателя. Математическое моделирование разветвленных впускных систем осуществляется посредством рассмотрения отдельных участков трубопровода, для которых можно принять справедливой модель одномерного потока. Неизменные параметры окружающей среды вблизи открытого конца трубопровода или параметры после компрессора (граничные условия на входе в трубопровод), слияние или разделение потоков в разветвлении (граничные условия в разветвлении) и наполнение цилиндров (граничные условия у клапана) выделяют одномерный неустановившийся поток во впускном трубопроводе. На границах трубопровода течение рассматривается квазистационарным. Для сокращения времени счета в данной работе применяется система дифференциальных уравнений, описывающая одномерное неустановившееся изоэнтропное течение в трубе переменного сечения по длине, которая записывается в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial \tau} + W\cdot\frac{\partial W}{\partial X} + \frac{2}{k-1}\cdot A\cdot\frac{\partial A}{\partial X} = 0; \\ \frac{\partial A}{\partial \tau} + W\frac{\partial A}{\partial X} + \frac{k-1}{2}\cdot A\cdot\frac{\partial W}{\partial X} + (k-1)\cdot\frac{W\cdot A}{D_r}\cdot\frac{dD_r}{dX} = 0; \\ A = P^{\frac{k-1}{2k}} = R^{\frac{1}{k-1}}, \end{cases}$$

где $A = a/a_0$ – безразмерная скорость звука; $W = w/a_0$ – безразмерная скорость потока; $X = x/\ell$ – относительная координата вдоль оси трубопровода; $\tau = \frac{a_0 t}{\ell}$ – безразмерное время; $P = p/p_0$ – безразмерное давление; $R = \frac{\rho}{\rho_0}$ – безразмерная плотность газа; a_0, p_0, ρ_0 – параметры газа при атмосферных условиях или после компрессора в комбинированном двигателе. Данная система приводится к характеристическому виду методом Римана. Решение характеристической системы уравнений осуществляется разностным методом Годунова С.К. "счет характеристическими слоями".

Втекание газа в цилиндр рассчитывается квазистационарным методом по уравнениям одномерного потока. Параметры потока у клапана определяются по соотношениям на характеристике, приходящей со стороны трубопровода, и из условия наполнения цилиндра. Для определения параметров газа в цилиндре используются уравнения состояния, сохранения массы и энергетического

баланса. Отличие расчетной схемы от реального потока учитывается введением коэффициента расхода μ. В данной работе рассматривается влияние только впускной системы на наполнение цилиндров четырехтактного двигателя, поэтому процесс продувки не рассматривается.

Узел разветвления является границей для неустановившихся одномерных потоков соответствующих участков впускного трубопровода. Условия в разветвлении определяют взаимодействие этих потоков. В граничную точку каждого участка разветвления в момент времени Z_j приходит одна характеристика. Для расчета параметров потока на входе в каждое ответвление необходимо составить по три уравнения связи (по числу неизвестных параметров P, ρ, W) для каждого трубопровода, входящего в разветвление. В случае соединения трех трубопроводов надо составить систему из девяти уравнений связи. Наряду с тремя уравнениями характеристик в эту систему войдут уравнения энергии, неразрывности и адиабатного изменения состояния в данном сечении трубопровода. Исходная система уравнений решается численными методами с шагом в один градус поворота коленчатого вала.

Программа составлена на языке АЛГОЛ-60 для вычислительной машины М-222. Время счета одного варианта с учетом трансляции программы и выводом результатов в виде таблиц и графиков составляет около 42-х минут.

В четвертой главе описана экспериментальная установка и методика проведения экспериментов. Для исследования неустановившегося потока во впускном тракте многоцилиндрового двигателя, а также для исследования неравномерности наполнения цилиндров и влияния формы и размеров коллектора на наполнение двигателя на кафедре "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Н.Э.Баумана создана экспериментальная установка. Установка позволяет производить моделирование потока во всех элементах впускного тракта при однократном открытии впускного клапана и исключить тем самым влияние остаточных колебаний давления от предыдущего цикла, что значительно упрощает обработку экспериментальных данных и позволяет выделить степень влияния соседних цилиндров на их наполнение.

Установка состоит из ресивера, исследуемого впускного коллектора, головки блока цилиндров двигателя Д-6, механизма

однократного открытия клапана, распределительного вала, электродвигателя, гильзы, закрытой крышкой, системы подачи газа в ресивер из баллона или компрессора и измерительной аппаратуры. Клапаны цилиндра, наполнение которого исследуется, открываются механизмом однократного открытия. Клапаны других цилиндров, одного или нескольких, приводятся в действие непрерывно вращающимся распределительным валом посредством толкателей. Воздух, поступающий во впускные каналы этих цилиндров из коллектора, выпускается в атмосферу. Переставляя толкатели клапанов и механизм однократного открытия, можно изменять сочетание и порядок работы цилиндров. Применение механизма однократного открытия клапанов позволяет определить величину заряда цилиндра объемным методом по давлению и температуре газа в цилиндре в начале и в конце цикла.

Величина наполнения цилиндра оценивалась коэффициентом наполнения, который определяется отношением действительной массы газа, вошедшей в цилиндр, к теоретическому количеству газа, которое могло заполнить рабочий объём цилиндра при заданном перепаде давления в коллекторе и в цилиндре Рк/Рц и температуре То на впуске. Температура газа в цилиндре в результате смешения неподвижного газа с газом потока определялась из первого закона термодинамики при адиабатном смешении потока с неподвижным газом в цилиндре и без совершения внешней механической работы. В результате было получено выражение для коэффициента наполнения цилиндра модели в виде:

$$\eta_{cv} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{\frac{P_a}{P_o} - 1}{\frac{P_k}{P_o} - 1},$$

где ε – степень сжатия; к – показатель адиабаты; Ро– атмосферное давление.

В экспериментальном исследовании перепады давления были в диапазоне 1,1÷1,3 и выбирались из условия подобия потоков во впускном коллекторе двигателя и модели. Частота вращения распределительного вала изменялась в пределах 500÷1200 об/мин. В процессе эксперимента были исследованы два варианта впускного коллектора с одинаковыми впускными патрубками, но различным отношением площади поперечного сечения подводящих патрубков к площади поперечного сечения коллектора – 1:5 для

коллектора большого сечения и I:I для коллектора малого сечения. Форма и размеры коллектора большого сечения были выбраны из условия размещения его в развале блока цилиндров двигателя типа Б-I2.

При исследовании потока во впускном коллекторе измерялось давление на стенке впускного патрубка работающего цилиндра на удалении одного диаметра от входа в клапан, в коллекторе и в цилиндре. Регистрация давления осуществлялась индуктивными датчиками ДИ-II, а закона подъёма клапана специальным индуктивным датчиком. Сигналы датчиков усиливались усилителями ТА-5 и записывались осциллографом Н-I05 со шлейфами М004 I,2. Тарированием измерительной системы на ударной трубе установлено, что суммарная относительная погрешность измерения давления в нестационарном потоке не превышает 3%.

В пятой главе изложены результаты расчетно-экспериментального исследования влияния впускного коллектора и режимов работы на наполнение многоцилиндрового двигателя. При одноцикловой работе модели без учета работы соседних цилиндров установлено, что все цилиндры имеют одинаковое наполнение. С увеличением относительного поперечного сечения коллектора ψ наполнение всех цилиндров увеличивается. Так, коэффициент наполнения цилиндров при частоте вращения распределительного вала 900 об/мин для коллектора большого сечения равен 0,74 и 0,63 - для коллектора малого сечения. Одинаковое наполнение цилиндров указывает на то, что расположение цилиндра и отражение волн от закрытого конца трубопровода не являются причинами неравномерного наполнения цилиндров. На втором этапе исследовалось влияние совместной работы нескольких цилиндров на наполнение исследуемого цилиндра. В процессе наполнения смежных цилиндров образуются волны разрежения, которые распространяются в коллекторе, давление перед клапанами исследуемого цилиндра понижается, и ухудшается его наполнение. Наибольшее влияние друг на друга оказывают цилиндры, периоды впуска которых перекрываются. Причем влияние предыдущего по порядку работы цилиндра и последующего на наполнение исследуемого цилиндра различно. В результате экспериментального исследования на модели установлено, что предыдущий по порядку работы цилиндр увеличивает наполнение исследуемого цилиндра за счет волны давления, возникающей в результа-

те нестационарного торможения потока при закрытии клапана предыдущего цилиндра, а последующий цилиндр- ухудшает наполнение за счет волны разрежения, приходящей к клапану исследуемого цилиндра в конце его наполнения. При совместной работе трех цилиндров - предыдущего, исследуемого и последующего - противоположное влияние предыдущего и последующего цилиндров приводит к некоторому промежуточному наполнению исследуемого цилиндра по сравнению с наполнением его при работе только последующего или предыдущего цилиндра. При этом процесс наполнения исследуемого цилиндра в большей степени определяется интенсивностью и моментом прихода волны разрежения от последующего по порядку работы цилиндра. При совместной работе всех цилиндров модели наполнение исследуемого цилиндра мало отличалось от его наполнения при совместной работе только трех цилиндров. Так как расстояние между цилиндрами, периоды впуска которых перекрываются, различно, то различны интенсивность и момент прихода волн от предыдущего и последующего цилиндров к клапанам исследуемого цилиндра, а значит будет различным их совместное влияние на наполнение исследуемого цилиндра. Иными словами, неодинаковость протекания процессов впуска (неодинаковость колебаний давления перед клапанами) вызывает неодинаковость наполнения цилиндров.

Для впускного коллектора большого сечения амплитуда колебаний давления меньше, поэтому влияние предыдущего и последующего цилиндров сказывается в меньшей степени на наполнении исследуемого цилиндра. Наибольшая неравномерность наполнения получается в случае применения коллектора малого поперечного сечения, с отношением $\psi = I$, что можно объяснить большей амплитудой волны разрежения от последующего по порядку работы цилиндра. Применение коллектора большого сечения, $\psi = 5$, позволяет не только увеличить коэффициент наполнения всех цилиндров, но и уменьшить степень неравномерности наполнения при совместной работе цилиндров. Увеличение ψ от I до 3-х позволяет снизить степень неравномерности наполнения цилиндров с 9% до 5%. Дальнейшее увеличение этого отношения сказывается на повышении равномерности наполнения в меньшей степени. Поэтому наиболее рациональным будет увеличение этого отношения до 3-5.

В процессе расчетного исследования было выявлено влияние конструктивных параметров впускного коллектора, порядка работы

цилиндров и режима работы двигателя на наполнение цилиндров. Исследование влияния порядка работы и длины закрытого конца трубопровода ещё раз подтвердило, что основное влияние на неравномерность наполнения цилиндров оказывает работа цилиндров, периоды впуска которых перекрываются. Расчетное исследование так же, как и экспериментальное, показало возможность форсировки двигателя по оборотам при увеличении площади поперечного сечения впускного коллектора. Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами экспериментов.

В Ы В О Д Ы :

1. На основании теории волн конечной амплитуды показано, что повышение давления у впускного клапана до давления, больше атмосферного, есть результат разгона нестационарного потока, вызванного волной разрежения, в отраженных волнах от открытого конца трубопровода и цилиндра до условий стационарного потока и нестационарного торможения этого потока при уменьшении проходного сечения клапана.

Получено выражение для расчета максимального повышения давления у впускного клапана с учетом сжимаемости газа.

2. Изложена методика расчета параметров неустановившегося потока в различных элементах впускного тракта с учетом нестационарности потока.

3. В результате теоретического анализа стационарного потока на входе в трубопровод с утолщенными стенками получена формула для расчета коэффициента потерь на входе в зависимости от относительной толщины стенок трубы.

4. В результате экспериментального исследования нестационарного потока в разветвленном трубопроводе, проведенного на физической модели, установлено, что разница давления по ветвям разветвления может достигать 25%. Поэтому результаты расчетов нестационарного потока в разветвлении, основанные на допущении о неизменности давления в разветвлении, могут существенно отличаться от действительных. Предложенная методика позволяет рассчитывать параметры нестационарного потока в разветвлении с точностью не менее 4%.

5. Разработанная программа расчета на ЭЦВМ процесса на-

полнения с учетом нестационарности потока во впускном трубопроводе многоцилиндрового двигателя позволяет исследовать влияние конструктивных параметров впускного коллектора, порядка работы, фаз газораспределения и режима работы на эффективность наполнения и равномерность распределения заряда по цилиндрам.

6. В результате экспериментального исследования на динамической модели установлено, что расположение цилиндра и отражение волн разрежения от закрытого конца трубопровода не являются главными причинами неравномерного наполнения цилиндров двигателя.

7. Наибольшее влияние на равномерность наполнения оказывают цилиндры, периоды впуска которых перекрываются. При этом предыдущий по порядку работы цилиндр может как увеличивать, так и уменьшать коэффициент наполнения в зависимости от колебаний давления перед выпускными клапанами исследуемого цилиндра, а последующий - во всех случаях ухудшает наполнение рассматриваемого цилиндра.

8. Применение коллектора большого объема с отношением площади сечения впускного патрубка и коллектора I:5 позволяет увеличить коэффициент наполнения в широком диапазоне скоростных режимов на 2-5% и снизить неравномерность наполнения цилиндров до 2-4%.

По материалам диссертации опубликовано:

I. Ивин В.И., Васильев Л.А., Рындин В.В. Определение погрешностей при измерении полного давления в нестационарном потоке газа. "Известия вузов. Машиностроение.", 1974, № 9.

2. Ивин В.И., Рындин В.В. Исследование нестационарного потока в разветвлениях впускных трубопроводов ДВС. "Известия вузов. Машиностроение", 1976, № 9.

3. Ивин В.И., Козлов В.И., Рындин В.В. Одноцикловая установка для моделирования неустановившегося потока во впускном тракте КДВС. "Известия вузов. Машиностроение", 1977, № 3.

Л-71439. Подп.к печ.22/2-78. Тир.100. Объем I п.л. Заказ 254

Типография МВТУ им. Н.Э. Баумана