М 327661

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

ЛАШКО Василий Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДВС С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ИМПУЛЬСОВ

(05.04.02 – тепловые двигатели)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1978

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТС

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

ЛАШКО Василий Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДВС С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ИМПУЛЬСОВ

(05.04.02 - тепловые двигатели)

№ 327661

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

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1327661
Лашко В.А.Исследование пр

Москва - 1978

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

Научный руководитель - к.т.н., доцент ИВИН В.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук
профессор Симсон А.Э.
кандидат технических наук
доцент Шабаров А.Б.

Ведущее предприятие - ЦНИДИ.

Защита диссертации состоится "24" апреля 1978 г. в "14" 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 " " _____ 1977 года.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные 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
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современное дизелестроение развивается в направлении повышения удельной мощности и экономичности комбинированных двигателей внутреннего сгорания (КДВС). Одним из эффективных путей улучшения удельных показателей - совершенствование газотурбинного наддува с целью максимального использования энергии выпускных газов.

Использование импульсного наддува обеспечивает минимальные потери располагаемой энергии выпускных газов в широком диапазоне режимов работы, улучшает характеристику КДВС.

Однако вследствие переменного по величине потока газа на лопатках турбины и потерь, связанных с парциальностью, к.п.д. турбокомпрессора в импульсной системе снижается на 15÷20%. Отмечены усталостные разрушения лопаток как результат воздействия пульсирующего потока газа.

При наддуве постоянного давления в выпускном трубопроводе теряется кинетическая энергия и энергия импульса, но в турбине энергия газов используется более эффективно. Все это создает предпосылки для установки преобразователей импульсов, которые сочетают важнейшие преимущества импульсного наддува и наддува при постоянном давлении.

В последние годы рядом институтов и заводов, а также зарубежными фирмами ведутся интенсивные исследования систем турбонаддува с преобразователями импульсов перед турбиной. Полученные результаты свидетельствуют о имеющемся резерве повышения удельной мощности и экономичности, улучшения характеристики КДВС.

В исследованиях систем наддува с преобразователем импульсов используют экспериментальные методы, что связано с большими затратами средств и времени. Удовлетворительного метода расчета, позволяющего оптимизировать систему наддува с преобразователем импульсов, значительно сократить сроки конструирования и доводки выпускной системы в настоящее время нет. Математическое моделирование, как один из эффективных методов исследования процессов выпуска, определяет основное содержание диссертационной работы.

Цель работы. Разработка методики численного исследования процессов выпуска на ЭВМ с целью оптимизации геометрии систем КДВС с преобразователем импульсов.

Методы исследования. Неустановившиеся процессы в выпускной системе КДВС с преобразователем импульсов исследуются методом численного моделирования. Математическая модель принадлежит к краевой задаче с системой гиперболических уравнений, для однозначного решения которой необходимы начальные и граничные условия. Численное интегрирование основной системы уравнений осуществляется с помощью конечно-разностного метода характеристик. Уравнения граничных условий в выпускной системе представляют собой алгебраические нелинейные уравнения, которые решаются численными методами. Экспериментальное исследование отрывного потока в камере преобразователя импульсов осуществляется с помощью физического моделирования течения на статической модели.

Научная новизна. При описании граничных условий в преобразователе импульсов предполагается сочетание одномерной и двумерной модели течения. Уравнения одномерного течения используются при описании струйного течения. Обоснование одномерной аппроксимации в данном случае основано на качественном анализе результатов численной реализации уравнений Навье-Стокса, полученные Гиневским А.С. Двумерная модель описывает режим отрывного течения. Для расчета отрыва потока в преобразователе импульсов используется метод разделяющей линии тока.

Уравнения граничных условий в преобразователе импульсов представлены с учетом прямых и обратных волн давления, и массовой волны. Разработаны в соответствии с математической моделью алгоритм и программа расчета на ЭЦВМ нестационарных процессов в выпускной системе с преобразователем импульсов перед турбиной. Обоснованы методы реализации граничных условий в разветвлении, у турбины, цилиндра, и в преобразователе импульсов.

Практическая ценность. Разработанная методика численного моделирования позволит производить "численные эксперименты" для выпускных систем КДВС с преобразователем импульсов с целью их оптимизации. В результате сократятся затраты средств и времени на доводку сложных силовых установок, повышение их мощности и улучшения других технико-экономических показателей.

Проверка точности математического моделирования показала удовлетворительное совпадение результатов с экспериментальными данными, и подтвердила возможность использования ее в исследованиях нестационарных процессов в выпускной системе газотурбинного наддува с преобразователем импульсов.

Апробация работы. Фрагменты диссертационной работы были заслушаны на заседании кафедры "Комбинированные ДВС" МВТУ имени Баумана в 1976 г. и полностью - в 1977 году. Основные разделы работы доложены на научно-технической конференции по итогам НИР кафедры в 1977 году, на семинаре молодых специалистов кафедры в 1975, 1976 и 1977 г.г., на 13-й научно-технической конференции Хабаровского политехнического института в 1974 году.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в двух печатных работах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводов. Она содержит 95 страниц основного текста, 33 рисунка. В библиографии указано 180 наименований литературных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен критический анализ существующих методов расчета систем газотурбинного наддува КДВС. Отмечаются некоторые особенности работ А.Э.Симсона. В.Г.Рябикина, M.Nutt , которые заключаются в следующем:

1. Отсутствуют граничные соотношения, которые можно использовать при расчете методом характеристик нестационарных процессов системы газотурбинного наддува с преобразователем импульсов.

2. Методы описывают лишь струйное смешение с постоянным значением скорости и давления по длине камеры преобразователя и не рассматривают другие режимы течения.

3. Обоснование расчетной модели течения с точки зрения структуры потока не проводилось.

Геометрическая форма преобразователя импульсов в диссертации рассматривается как частный случай разветвления, имея в виду математическое моделирование течения. В связи с этим анализируются работы Deckker B.E.L., Male D.H, Benson R.S.

и др., в которых используются методы расчета неустановившегося потока в разветвлениях, базирующихся на уравнениях одномерного течения. Как показывает критический анализ, применение уравнений одномерного потока в разветвленных каналах в основном непригодно, даже с привлечением эмпирических поправочных коэффициентов. Обосновывается необходимость расчета отрыва потока. Далее в диссертации рассматриваются три главных направления, в которых проводились расчетные исследования течений с отрывом потока от твердых границ: численное интегрирование уравнений Навье-Стокса, методы, основанные на рассмотрении отдельных характерных областей потока (поэлементные методы), интегральные методы.

На основании анализа работ Белоцерковского О.М., Яненко Н.Н., Allen D.N., Thom A. и др.показано, что результаты численной реализации уравнений Навье-Стокса для отдельных режимов течения в разветвленном канале позволяют составить качественное представление о движении потока в разветвлении и дают материал, необходимый при физической и математической формулировке граничных условий. Однако использование уравнений Навье-Стокса в качестве граничного условия для численного решения гиперболических уравнений, описывающих нестационарное течение газа в газовоздушных каналах КДВС, практически невозможно.

Методы, основанные на рассмотрении отдельных характерных областей потока, предложены в работах Chapman D.R, Korst H.H., Nash J.F., Бондарева Е.Н. и др. Поэлементные методы сравнительно просто описываются математически и позволяют с достаточной точностью рассчитывать течения с развитой зоной отрыва. В диссертации обосновывается целесообразность использования их для описания режима стрывного течения в преобразователе импульсов.

Интегральные методы расчета связаны с более сложной моделью, чем поэлементные методы и отражены в работах Crocco L., Lighthill M.J., Lees L., Гогиша Л.В., Степанова Г.Ю., Нейланда В.Я., Елькина Ю.Г. и др. Анализ методов показывает, что вследствие сложного математического описания дозвукового внутреннего течения и невозможности выполнения условия взаимодействия вязкого и невязкого потока на реальных конструкциях, использовать их практически не удается.

Вторая глава посвящена математическому описанию нестационарных процессов в разветвленной выпускной системе КДВС с преобразователем импульсов.

В данной работе используется конечно-разностный метод характеристик, который описывает одномерное, однородное и нестационарное течение газа в выпускном трубопроводе без разветвлений. Движение неадиабатического, совершенного и вязкого газа в этом случае описывается системой уравнений гиперболического типа, которая относится к разряду краевых задач математической физики.

Уравнения граничных условий основаны на гипотезе квазистационарности. Действительное пространственное течение в канале у цилиндра в расчетах заменяется одномерным течением через эквивалентное сопло. Для определения параметров газа во входном сечении выпускного трубопровода используется расчетная модель "постоянного давления по длине". Граничные условия у турбины были приняты из тех же соображений как и у цилиндра - истечение через эквивалентное сопло. Потери энергии учитываются коэффициентом восстановления полного давления.

В разветвлении используется модель, основанная на допущении о равенстве статических давлений.

В работе на основании расчетного анализа импульсных систем двигателей 8ЧНСП 18/22 и 6ЧНСП 18/22 и результатов численного расчета уравнений Навье-Стокса для системы параллельных струй в спутном потоке, полученные Гиневским А.С., предлагается рассматривать два основных режима течения в преобразователе импульсов - режим струйного смешения и режим отрывного течения.

Уравнения прямых и обратных волн, и массовой волны, а также энергии, неразрывности и импульса одномерного потока при описании струйного течения были представлены в следующем виде:

$$\bar{W}_1^{n+1} + \frac{2}{K-1}\bar{a}_{s1}^n \bar{a}_1^{n+1} = A_1^n ,$$

$$\bar{W}_2^{n+1} + \frac{2}{K-1}\bar{a}_{s2}^n \bar{a}_2^{n+1} = A_2^n ,$$

$$\bar{W}_3^{n+1} - \frac{2}{K-1}\bar{a}_{s3}^n \bar{a}_3^{n+1} = A_3^n ,$$

$$\frac{(\bar{a}_1^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}}{(\bar{a}_1^{n+1}\,\bar{a}_{s1}^{n+1})^2}\bar{W}_1^{n+1}+\frac{(\bar{a}_2^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}}{(\bar{a}_2^{n+1}\,\bar{a}_{s2}^{n+1})^2}\bar{W}_2^{n+1}$$

$$-2\frac{(\bar{a}_3^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}}{(\bar{a}_3^{n+1}\,\bar{a}_{s3}^{n+1})^2}\bar{W}_3^{n+1}=0,$$

$$\left[(\bar{a}_1^{n+1}\,\bar{a}_{s1}^{n+1})^2+\frac{K-1}{2}(\bar{W}_1^{n+1})^2\right]\bar{W}_1^{n+1}\frac{(\bar{a}_1^{n+1})^{\frac{2}{K-1}}}{(\bar{a}_{s1}^{n+1})^2}+$$

$$+\left[(\bar{a}_2\cdot\bar{a}_{s2}^{n+1})^2+\frac{K-1}{2}(\bar{W}_2^{n+1})^2\right]\bar{W}_2^{n+1}\frac{(\bar{a}_2^{n+1})^{\frac{2}{K-1}}}{(\bar{a}_{s2}^{n+1})^2}=$$

$$=\left[(\bar{a}_3^{n+1}\,\bar{a}_{s3}^{n+1})^2+\frac{K-1}{2}(\bar{W}_3^{n+1})^2\right]2\cdot\bar{W}_3^{n+1}\frac{(\bar{a}_3^{n+1})^{\frac{2}{K-1}}}{(\bar{a}_{s3}^{n+1})^2},$$

$$\frac{K\cdot(\bar{a}_3^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}(\bar{W}_3^{n+1})^2}{(\bar{a}_3^{n+1}\,\bar{a}_{s3}^{n+1})^2}+2\cdot(\bar{a}_3^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}=$$

$$=\frac{K\cdot(\bar{a}_1^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}(\bar{W}_1^{n+1})^2}{(\bar{a}_1^{n+1}\cdot\bar{a}_{s1}^{n+1})^2}+(\bar{a}_1^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}+$$

$$+\frac{K\cdot(\bar{a}_2^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}}(\bar{W}_2^{n+1})^2}{(\bar{a}_2^{n+1}\cdot\bar{a}_{s2}^{n+1})^2}+(\bar{a}_2^{n+1})^{\frac{2K}{K-1}},$$

$$\bar{a}_2^{n+1}=\bar{a}_1^{n+1},\qquad \bar{a}_{s1}^{n+1}=B_1^n,\qquad \bar{a}_{s2}^{n+1}=B_2^n,$$

$$(\bar{a}_1^{n+1}\,\bar{a}_{s1}^{n+1})^2+\frac{K-1}{2}(\bar{W}_1^{n+1})^2=(\bar{a}_3^{n+1}\,\bar{a}_{s3}^{n+1})^2+\frac{K-1}{2}(\bar{W}_3^{n+1})^2,$$

gdzie:
$$A_i^n=\bar{W}_i^n\pm\frac{2\cdot\bar{a}_{si}^n}{K-1}\bar{a}_i^n+(\bar{W}_i^n\pm\bar{a}_{si}^n\cdot\bar{a}_i^n)\Big[W_i^n-$$

$$-\bar{W}_{i-1}^n\pm\frac{2\cdot\bar{a}_{si}^n}{K-1}(\bar{a}_i^n-\bar{a}_{i-1}^n)\Big]\frac{\Delta\bar{t}}{\Delta\bar{x}}+\Delta\bar{t}\cdot\Phi_i^n,$$

$$B_i^n=\bar{a}_{si}^n-\bar{W}_i^n(\bar{a}_{si}^n-\bar{a}_{si-1}^n)\frac{\Delta\bar{t}}{\Delta\bar{x}}+\Delta\bar{t}\cdot\Phi_{si}^n,$$

$$\Phi_i^n=-\frac{a_H\cdot\lambda}{6\cdot n_{gł}\cdot d}\cdot\frac{\bar{W}_i^n|\bar{W}_i^n|}{2}+2\cdot\bar{a}_i^n\cdot\Phi_{si}^n,$$

$$\Phi_{si}^n=\frac{K-1}{12\cdot n_{gł}}\cdot\frac{\lambda}{d}\cdot\frac{a_H\cdot|\bar{W}_i^n|}{2\cdot\bar{a}_{si}^n\cdot(\bar{a}_i^n)^2},$$

$$(i=1,2,\ldots M)$$

$$\bar{W}=\frac{W}{a_H},\qquad \bar{a}=\left(\frac{p}{p_H}\right)^{\frac{K-1}{2K}},$$

$$\bar{a}_s=\exp\left(\frac{K-1}{2K}\cdot\frac{S-S_H}{AR}\right),$$

$$\Delta\bar{x}=\frac{6\cdot n_{gł}\cdot\Delta x}{a_H},\qquad \Delta\bar{t}=6\cdot n_{gł}\cdot\Delta t,$$

Δx – шаг расчетной сетки по длине выпускного трубопровода; Δt – шаг по времени; $n_{дв}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя; $a_н$, $P_н$, $S_н$ – начальные значения скорости звука, давления и температуры; W, P, S – текущие значения скорости потока, давления и энтропии; λ – коэффициент гидравлического трения; d – диаметр трубопровода; n – индекс временного слоя; i – индекс, обозначающий расчетное сечение; M – количество точек по длине выпускного трубопровода.

Режим отрывного течения описывается двумерной моделью. С использованием метода разделяющей линии тока система уравнений записана в следующем виде:

$$\bar{W}_1^{n+1} + \frac{2\cdot\bar{a}_{S1}^{n}}{K-1}\,\bar{a}_1^{n+1} = A_1^{n},$$

$$\bar{W}_3^{n+1} - \frac{2\cdot\bar{a}_{S3}^{n}}{K-1}\,\bar{a}_3^{n+1} = A_3^{n},$$

$$\bar{a}_{S1}^{n+1} = B_1^{n},\quad \bar{a}_5^{n+1} = \bar{a}_2^{n+1},$$

$$\frac{2}{K-1}\left(\bar{a}_1^{n+1}\cdot\bar{a}_{S1}^{n+1}\right)^2 + \left(\bar{W}_1^{n+1}\right)^2 = \frac{2}{K-1}\left(\bar{a}_3^{n+1}\cdot\bar{a}_{S3}^{n+1}\right)^2 + \left(\bar{W}_3^{n+1}\right)^2,$$

$$\frac{2}{K-1}\left(\bar{a}_1^{n+1}\cdot\bar{a}_{S1}^{n+1}\right)^2 + \left(\bar{W}_1^{n+1}\right)^2 = \frac{2}{K-1}\left(\bar{a}_2^{n+1}\cdot\bar{a}_{S2}^{n+1}\right)^2 + \left(\bar{W}_2^{n+1}\right)^2,$$

$$W_c^{*2} = 0{,}348 + 0{,}018\,\frac{\bar{W}_2^{n+1}}{\bar{a}_2^{n+1}},$$

$$\left(\frac{\bar{a}_3^{n+1}}{\bar{a}_6^{n+1}}\right)^2 = \lambda_6,\quad N = f(M_1),$$

$$\frac{2}{K-1}\left(\bar{a}_5^{n+1}\cdot\bar{a}_{S5}^{n+1}\right)^2 = \frac{2}{K-1}\left(\bar{a}_1^{n+1}\cdot\bar{a}_{S1}^{n+1}\right)^2 + \left(\bar{W}_1^{n+1}\right)^2,$$

$$\bar{W}_1^{n+1}\,\frac{\left(\bar{a}_1^{n+1}\right)^{\frac{2K}{K-1}}}{\left(\bar{a}_1^{n+1}\cdot\bar{a}_{S1}^{n+1}\right)^2} - 2\cdot\bar{W}_3^{n+1}\,\frac{\left(\bar{a}_3^{n+1}\right)^{\frac{2K}{K-1}}}{\left(\bar{a}_3^{n+1}\cdot\bar{a}_{S3}^{n+1}\right)^2} = 0,$$

$$\lambda_5 = \frac{1 + \frac{K-1}{2}\left(\frac{\bar{W}_2^{n+1}}{\bar{a}_2^{n+1}}\right)^2}{1 + \frac{K-1}{2}\left(1 - W_c^{*2}\right)\left(\frac{\bar{W}_2^{n+1}}{\bar{a}_2^{n+1}}\right)^2},$$

$$\bar{W}_6^{n+1} = 0,\quad \bar{a}_6^{n+1} = \frac{A_6^{n}}{\frac{2\cdot\bar{a}_{S6}^{n+1}}{K-1}},$$

где: N - параметр присоединения;

$\lambda_в = \frac{\rho_c}{\rho_в}$, $W_c^* = \frac{W_c}{W_1}$, $\rho_c, \rho_в$ - плотность на средней линии слоя смешения и в зоне отрыва; W_c - скорость на средней линии слоя смешения.

В работе процессы в цилиндре, протекающие во время газообмена, описываются уравнением первого закона термодинамики для открытых систем и уравнением сохранения массы. В качестве замыкающего соотношения используется уравнение состояния. В расчетах процессов сжатия, сгорания и расширения используется метод Гриневецкого-Мазинга.

В расчетах процесса наполнения принимается допущение о постоянстве давления по объему впускного коллектора во времени.

В третьей главе изложена методика и результаты экспериментального исследования отрывного течения в преобразователе импульсов, выполненное методом физического моделирования.

Экспериментальные исследования ставили целью определение интегральных характеристик потока, обоснование выбора координаты граничного сечения и проверку расчетной модели отрывного течения, предложенную в работе.

Геометрические параметры преобразователя импульсов выбирались из условий наилучшего использования энергии выпускных газов. Площадь соплового сечения была выбрана согласно рекомендациям Никольского Н.К., полученным на двигателе 8ЧН 26/26. Геометрические размеры диффузора принимались из условия безотрывного течения. Неустановившийся поток газа в преобразователе импульсов рассматривается в квазистационарном приближении. Это позволяет использовать в исследовании граничных условий и структуры потока в преобразователе импульсов КДВС модели стационарных потоков. При исследовании на статических моделях возможно только приближенное подобие в образце и модели.

Геометрическое подобие преобразователя импульсов удовлетворяется полностью. Число Pr исключается из рассмотрения, так как считается, что стенки выпускного трубопровода имеют тепловую изоляцию. На основании опубликованных в литературе экспериментальных результатов по отрыву потока предполагается, что влиянием числа Рейнольдса и Струхаля можно пренебречь. Из условия $M_н = M_{gв}$. получено необходимое соотношение, позволяющее зада-

вать при экспериментальном исследовании соответствующий режим течения.

В работе используется метод осреднения неравномерного потока, основная идея которого состоит во введении некоторого мысленно определенного поступательного движения газа в данном сечении с постоянными по сечению скоростью $W_{ср}$, давлением $P_{ср}$ и температурой T. Экспериментальная установка, предложенная в работе, предназначена для физического моделирования отрывного течения в преобразователе импульсов. Измерение полей полных давлений производится трубками Пито в 24 точках в каждом из трех сечений, расположенных в камере преобразователя с координатами $\bar{x} = x/r_{тр} = 0{,}6;\ 2{,}8;\ 5{,}2$ от места схода потока с сопловой кромки преобразователя. Выбор числа точек замеров параметров в сечении каналов был сделан из соображений обеспечения необходимой точности осреднения энтропийным методом. Измерение статического давления вдоль камеры преобразователя импульсов осуществлялось с помощью жидкостных дифференциальных манометров.

Экспериментальные исследования, приведенные в работе, подтвердили справедливость предложенной модели отрывного течения в преобразователе импульсов. Полученные экспериментальные значения донного давления $P_{с}$, давление в точке присоединения $P_{\sim}$ и коэффициента донного давления $C_{Pс}$ достаточно хорошо согласуются с расчетными данными (рис.I).

Как показали измерения статического давления в восьми точках по периметру и в 24-х точках в каждом из трех сечений камеры преобразователя, наибольшее отклонение от минимального значения статического давления в сечении составляло в основной зоне отрыва 0,5%. В зоне присоединения эта величина достигала 5%. Это позволяет принять приближенно нулевой градиент давления в сечении. Обоснование сингулярного отрыва в камере преобразователя означает, что напряжение трения в месте отрыва потока обращается в нуль. Выполнение этих условий позволило принять отрыв потока в преобразователе импульсов приближенно двумерным.

Распределение статического давления по длине камеры преобразователя согласуется с предпосылками, которые были использованы при обосновании расчетной модели отрывного течения. Суть

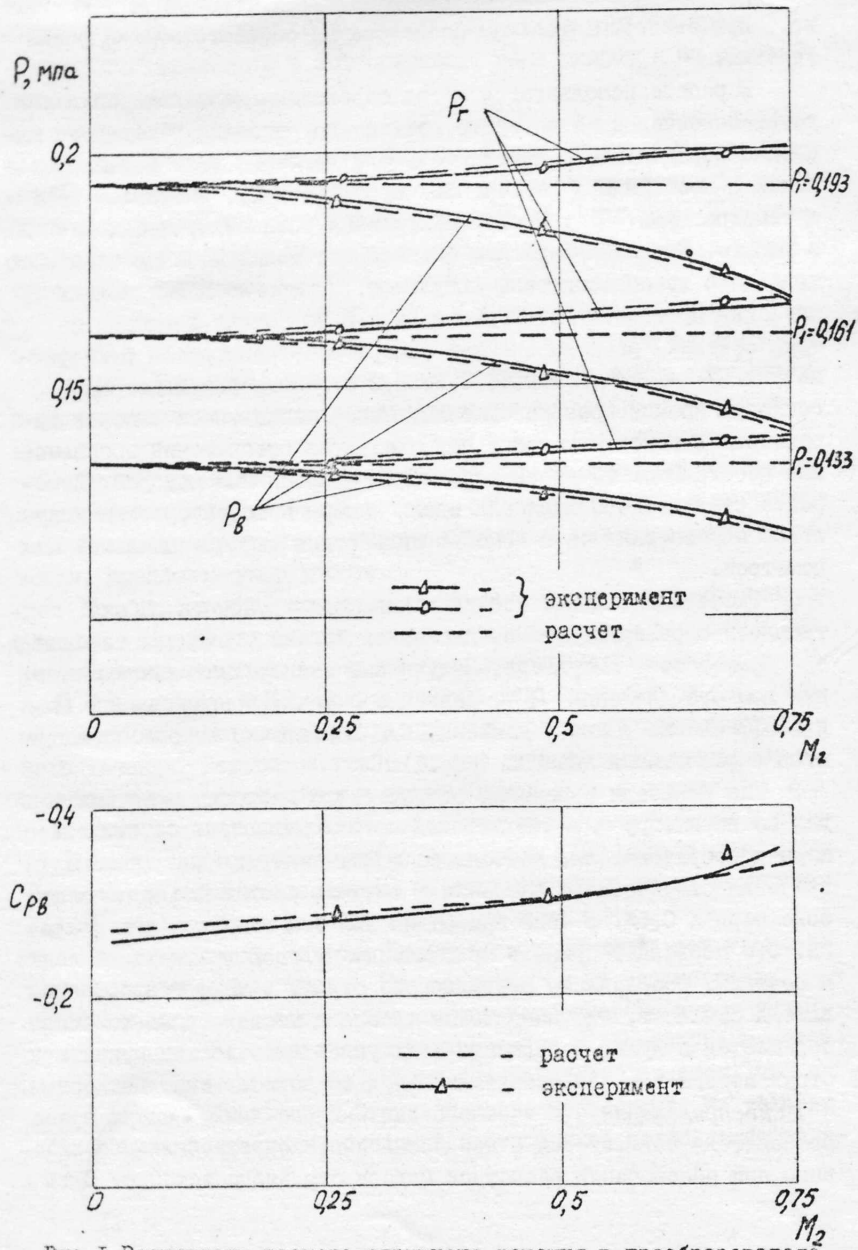


Рис.I Результаты расчета отрывного течения в преобразователе импульсов.

их сводилась к следующему: градиент статического давления вдоль стенки камеры преобразователя пренебрежимо мал на некотором расстоянии от точки присоединения вверх по потоку, быстро возрастает при приближении к этой точке и может достигать максимального значения вблизи точки отрыва.

Результаты измерений полей скоростей по длине камеры преобразователя во всем диапазоне изменения числа Маха на месте схода потока с сопловой кромки преобразователя в дозвуковой области показали, что отрывная зона занимает максимальную длину, равную 3,5 r_p . Исследования показали, что отрывная зона по структуре стационарна и отрыв переходного типа исключается.

Для оценки аэродинамического качества и энергетического состояния потока в камере преобразователя использовались коэффициенты восстановления полного давления и потерь энергии. Результаты статических продувок показывают, что σ и γ уменьшается с увеличением числа Маха в сечении на сопловой кромке преобразователя.

<u>В четвертой главе</u> рассмотрены особенности численного решения краевой задачи для выпускной системы КДВС с преобразователем импульсов.

Численное решение основной системы уравнений, описывающей нестационарные процессы в выпускном неразветвленном трубопроводе, возможно различными способами построения характеристической сетки. Расчетная сетка обратного типа, используемая в работе, обладает рядом достоинств. Такую сетку можно легко изменить в процессе решения. Число искомых величин, которые надо хранить в памяти электронной вычислительной машины, сокращается. Результаты здесь выдаются в фиксированных точках выпускной системы, что удобно с практической точки зрения.

Используемая в работе система граничных уравнений у цилиндра и трубины не решается в явном виде. Решение их возможно получить лишь численным методом. Указана возможность интерпретации систем уравнений как единого уравнения вида $x = f(x)$. Это не означает, что нужно стремиться искать явные выражения для $x = f(x)$, соответствующие своим системам. Под $x = f(x)$ подразумевается не формула, а совокупность правил, служащих для вычисления значений функций $f(x)$ по заданным значениям аргумента x . Направление течения у цилиндра и турбины

определяется заранее, не прибегая к решению граничных уравнений. Уравнения граничных условий у цилиндра и турбины реализованы на ЭЦВМ с помощью метода хорд.

В разветвлении численное решение граничных уравнений находится в одной из двух областей определения функции $f(\bar{a})$. Поскольку заранее неизвестно в какой, итерации ведутся одновременно в обеих. После определения области, в которой существует решение, итерации продолжают до их сходимости.

Для реализации граничных соотношений на ЭВМ использовалась стандартная программа СП Р 1053 транслятора ТА-1М. Система уравнений, описывающая течение газа в преобразователе импульсов, реализована на ЭЦВМ с помощью метода Ньютона.

Численное интегрирование уравнения работы при определении среднего индикаторного давления и среднего давления насосных ходов выполнено по формуле Симпсона. Средние и истинные мольные теплоемкости чистого воздуха и "чистых" продуктов сгорания (при α = I) аппроксимировались полиномами 6-й степени. Вычисление значений полинома осуществлялось по схеме Горнера.

Интегрирование системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс газообмена, осуществлялось методом Рунге-Кутта - СП Р0745 транслятора ТА-1М.

Проверка точности методики численного моделирования осуществлялась путем сопоставления результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными для двигателя 8ЧНСП 18/22. Сравнение расчетных диаграмм изменения давления за первым цилиндром и у турбины с экспериментальными (рис.2) показало удовлетворительное качественное и количественное совпадение. Это свидетельствует о правильном выборе исходных уравнений процессов в выпускной системе КДВС с преобразователем импульсов и методов их решения.

Суммарная погрешность численного интегрирования по расходу у турбины и энергетическому балансу достигают в рассмотренном примере 2%. Полученные расчетные значения g_e и P_e отличаются от экспериментальных значений на 2÷8%. Процесс на ЭЦВМ устойчиво сходится в течение трех-четырех циклов. Причем чем большее количество цилиндров подсоединяется, тем большее время требуется для выполнения условия цикличности. Общее время

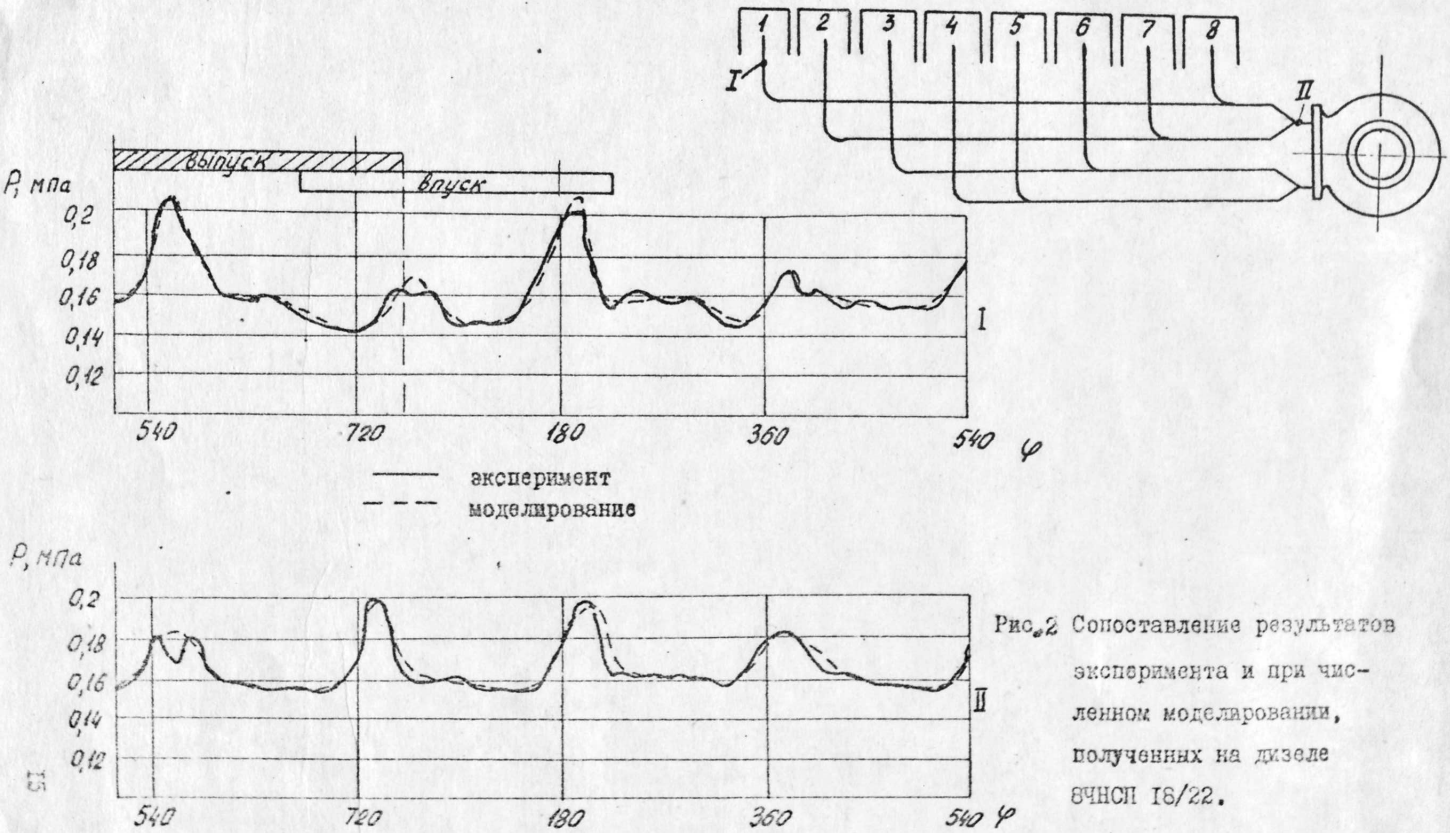


Рис. 2 Сопоставление результатов эксперимента и при численном моделировании, полученных на дизеле 8ЧНСП 18/22.

счета на ЭЦВМ М-222 составляло от 2 до 15 часов в зависимости от схемы выпускного коллектора и числа цилиндров.

В Ы В О Д Ы

1. Проанализированы конструктивные соотношения и геометрия преобразователей импульсов и предлагаются рекомендации для выбора их значений в первом приближении.

2. На основании численных методов решения уравнений Навье-Стокса и экспериментальных результатов, полученных в работе, показана целесообразность применения приближенных и полуэмпирических методов расчета внутреннего отрыва потока в камере преобразователя импульсов.

3. Предложены уравнения граничных условий для режима отрывного и струйного течения газа в преобразователе импульсов с учетом прямых и обратных волн давления, и массовой волны.

4. Разработан алгоритм и программа расчета на ЭЦВМ процесса выпуска многоцилиндровых двигателей с разветвленной выпускной системой, включая рабочие процессы в цилиндре двигателя, индикаторные и эффективные показатели.

5. Обоснованы методы реализации граничных условий на ЭЦВМ при решении краевой задачи для выпускной системы газотурбинного наддува с преобразователем импульсов.

Основное содержание диссертации изложено в статьях:

1. Лашко В.А. Неустановившиеся процессы в разветвленных передачах и каналах. Известия ВУЗов, Машиностроение, № 4,1977.

2. Лашко В.А. Математическая модель нестационарного течения. Известия ВУЗов.Машиностроение, № 1, 1978.

Типография МВТУ им.Баумана. Тираж 100 экз. Объем 1 п.л.
Л 71447 Дата разрешения в печать 28.II.78 г.
Зак. 272