

си, в том числе – в газовых двигателях, а также в случае применения рециркуляции.

Литература:

1. Матюхин, Л.М. Альтернатива коэффициенту наполнения / Матюхин Л.М. // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. Конф. «Двигатель-2007», посв. 100-летию МГТУ им. Н.Э.Баумана – М., 2007. – С. 80-85.

2. Матюхин, Л.М. Универсальная формула коэффициента наполнения четырехтактного двигателя внутреннего сгорания / Л.М. Матюхин // Вестн. МАДИ (ГТУ). – 2010. – Вып. 3 (22) – С. 39 – 43.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГАЗООБМЕНА В ГАЗОВОЗДУШНОМ ТРАКТЕ ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Михайлов В.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет);

На сегодняшний день трудно назвать область науки и техники где бы не использовалось математическое моделирование. Изучение процессов протекающих в системе газозоообменного тракта 2-тактного двигателя является непростой задачей, и в практику инженерных расчетов за последние два десятилетия широко внедрилось моделирование этих процессов.

Для оперативного моделирования таких процессов привлекаются быстросчетные модели невысокой пространственной детализации (одномерные модели) [1], так как применение детальных трехмерных моделей на порядки увеличивает время, затрачиваемое на моделирование. Используемые быстросчетные модели, хоть и позволяют быстро оценить предлагаемую конструкцию, но часто не удовлетворяют требуемой точности моделирования показателей исследуемого объекта. Для уменьшения величины отклонения требуется создание методики, способной повысить точность прогнозирования моделируемых показателей. С учетом вышесказанного использование методики параметрической идентификации модели процессов газозообмена в ГВТ 2-тактного ДВС представляется актуальной.

В настоящем исследовании предложена и реализована методика параметрической идентификации, построенная на использовании одномерной модели, при помощи которой предсказываются интегральные показатели 2-тактных двигателей. Разработанная методика является уточняющим дополнением к рациональной одномерной модели процессов в ГВТ 2-тактных ДВС. Применяемая одномерная модель имеет невысокую степень детализации и поэтому требует замыкающих соотношений. В качестве таких соотношений используются зависимости вида критериальных уравнений (продувочная характеристика (ПХ), характеристики потерь на граничном сечении, характеристики выгорания), полученные натурным или вычислительным экспериментом и необходимые для адекватного описания процессов в органах системы газозообмена.

Из всевозможных моделей применительно к процессам в ГВТ ДВС рациональными будут такие, что получены на основе законов сохранения, «огрубленных» вследствие принятых гипотез об одномерных пространственных распределениях. При этом для замыкания уравнений такой модели не сделано заметных дополнительных допущений. Применяемая модель должна быть замкнута без привлечения не свойственных ей допущений. Например, то, что параметры потока на гранич-

ных сечениях ГВТ связаны квазистационарными уравнениями, есть прямое следствие изначального округления. При этом, как универсального вида характеристики, так и указанные выше следствия являются составными частями замкнутой рациональной модели.

Предлагаемую методику удобно представить в виде нескольких этапов, где первоначально осуществляется оценка исходной предсказывающей силы применяемой одномерной модели. На этом этапе выполняется прямой расчет по исходным данным с применением характеристик разветвлений в нестационарном потоке, характеристик граничных сечений газоздушного тракта, закона выгорания и ПХ рабочей камеры. Эти характеристики получают путем измерения в статических условиях, либо вычисляются по специальным методикам.

На втором этапе методики производится параметрическая идентификация модели по условию соответствия полному набору данных об объекте. Осуществляется обоснованный выбор свободных параметров идентификации. Для 2-тактного двигателя на этом этапе для параметрической идентификации необходимо выбрать такие параметры модели, которые бы позволили получить близкое соответствие.

В силу рациональности применяемой модели «свободными» параметрами могут быть только такие, что определяют протекание зависимостей служащих для замыкания моделей элементов ГВТ. Использование в качестве параметра идентификации характеристик моделей граничных сечений не допустимо. Модель выгорания же сама может быть «откалибрована» путем параметрической идентификации, так что если процесс газообмена смоделировать в точности, итоговая модель процессов в ГВТ будет выдавать весьма близкую к измеренной индикаторную мощность. Поэтому в случае 2-тактного двигателя для использования в качестве «свободных» остаются параметры модели продувки, а именно – зависимости, замыкающей двухзонную модель, способную точнее предсказать как массовое наполнение, так и потери свежей смеси (СС) при продувке рабочей камеры. Поэтому именно данная зависимость – ПХ рабочей камеры была выбрана для решения обратной задачи подбора «свободных» параметров. В качестве таковых, были приняты семь параметров ПХ: x_0 – точка отрыва (предельный относительный объем зоны СС, при котором из выпускных окон истекает газовая смесь только из зоны продуктов сгорания), и координаты трех промежуточных точек кривой для интерполяции ПХ полиномом. Предполагается, что такое сочетание параметров ПХ обеспечит большое разнообразие вариантов ее протекания. Также два параметра идеализированной модели обратного пластинчатого клапана $F_{\text{ОПК}}(n)$, первый из которых описывает максимально открытое (на величину сечения канала), а второй полностью закрытое положение. Такой клапан считается полностью открытым при «прямом» перепаде давлений нестационарного торможения, и полностью закрытым при «обратном» перепаде давлений.

Протекание ПХ определялось путем идентификации по результатам измерений на двигателе в условиях стенда.

В качестве целевой функции (1) взяты суммы квадратов относительных разностей расчетных и экспериментальных значений N_i и G_B в точках внешней скоростной характеристики (ВСХ):

$$f = \sum_{i=12}^{16} \left[\left(\frac{N_{ip} - N_{iэ}}{N_{iэ}} \right)^2 + \left(\frac{G_{Bp} - G_{Bэ}}{G_{Bэ}} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

Решение задачи выполняется процедурой многопараметрической оптимизации, которая позволяет найти такое сочетание значений параметров идентификации, которое доставляет экстремум целевой функции.

Следующий этап методики это верификация модели – сопоставление расчетных показателей двигателя с показателями на двигателе с другой выпускной системой (в частности, «настроенной» на иной диапазон оборотов). Решение этой задачи представляет собой определение достоверности результатов, даваемых идентифицированной моделью.

Предлагаемую методику параметрической идентификации модели газообмена было решено проверить на двух объектах, представляющих собой 2-тактные двигатели с волновыми явлениями на выпуске – это АПД-800 – двигатель с принудительным воспламенением и внешним смесеобразованием разработки Уфимского моторостроительного производственного объединения (УМПО), и ЯАЗ-М204А – двигатель с воспламенением от сжатия и внутренним смесеобразованием, выпускавшийся на Ярославском моторном заводе.

При выполнении подготовительных мероприятий рассчитываются характеристики граничных сечений газоздушного тракта с использованием средств вычислительной гидрогазодинамики (пакет *FIRE*), при этом также вычислительным экспериментом получают ПХ. Для двигателя АПД-800 была рассчитана нестационарная газодинамическая характеристика тройника, имеющегося в выпускной системе, по методике, изложенной в [2]. Поведены измерения показателей выбранных объектов исследования работающих по ВСХ, с различными вариантами конструкции выпускного тракта.

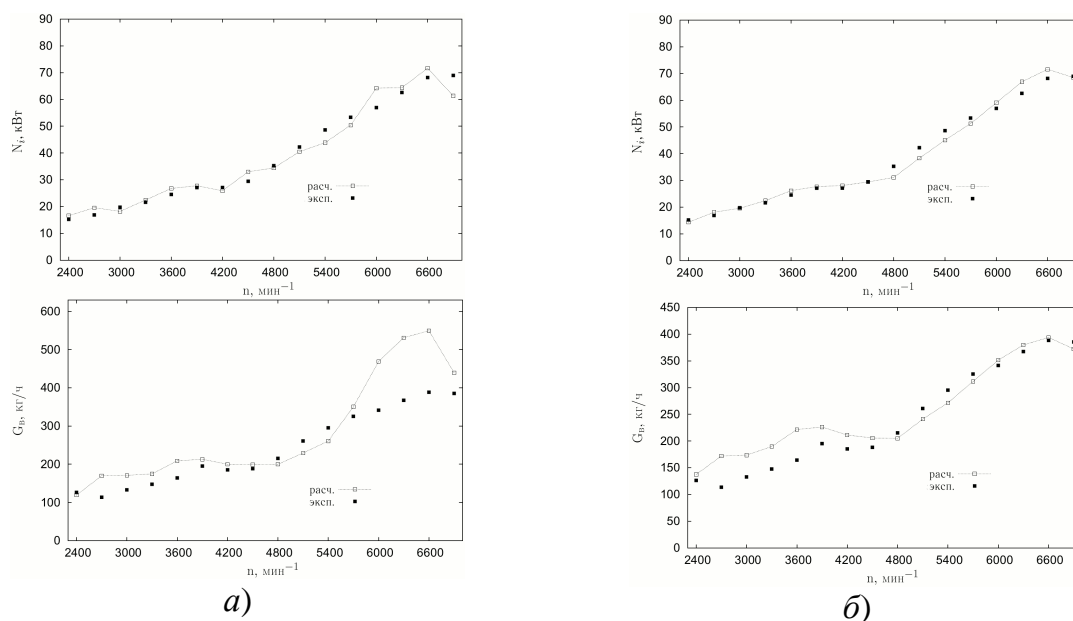


Рис. 1. Расчетные и экспериментальные значения индикаторной мощности и расхода воздуха по ВСХ: а) расчет без идентификации модели; б) расчет с идентификацией модели.

Структурные схемы («сборки») модели ГВТ каждого из двигателей создавались в графической среде системы имитационного моделирования (СИМ) *Horsepower Lab 1D* [3] с учетом их основных особенностей, и задавались исходные данные, включая характеристики элементов ГВТ. Данная СИМ была использована и для всех численных расчетов процессов в ГВТ.

Проводился расчет по одномерной рациональной модели идентифицированной по закону выгорания, но без идентификации по ПХ. Полученные из расчета показатели исследуемого двигателя (рис. 1а) сравниваются с показателями, рассчитанными по методике параметрической идентификации.

После этого выполнялись расчеты по идентификации модели ГВТ выбранных объектов исследования, при этом были использованы результаты измерений с двигателя, установленного на стенд в варианте, когда он был укомплектован выпускной системой используемой для идентификации модели. Полученные зависимости представлены на рис. 1, б.

Для верификации модели ГВТ проводился расчет по идентифицированной модели. Для оценки величины отклонения моделирования, показатели ДВС по результатам этих расчетов сравниваются с показателями, измеренными на двигателе с другой выпускной системой (рис. 2).

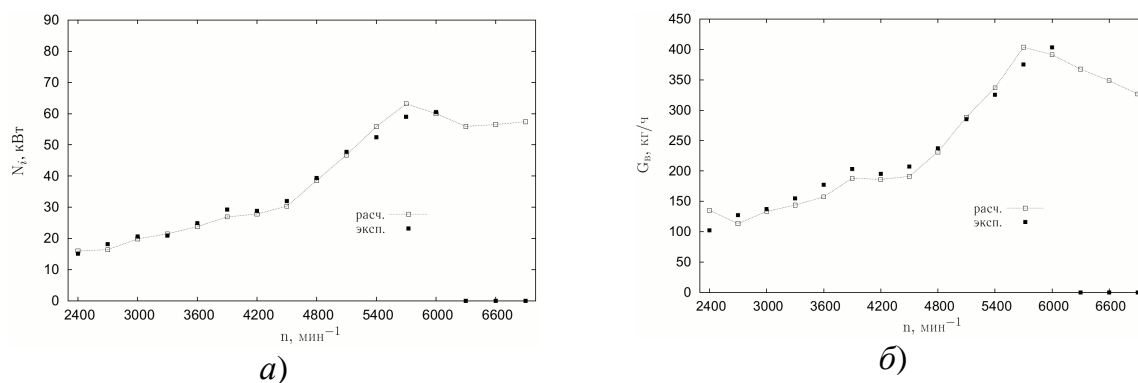


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные значения интегральных показателей на этапе верификации модели:
а) индикаторная мощность; б) расход воздуха.

В результате проведенного расчетно-экспериментального исследования получено, что применение методики параметрической идентификации для 2-тактных двигателей помогает повысить точность прогнозируемых параметров ДВС, в частности, для выбранного объекта исследования точность увеличена в три раза (см. рис. 1). При этом величина отклонения моделируемых интегральных показателей (при изменении условий однозначности, в частности с другой выпускной системой) относительно измеренных в условиях стенда не превышает 10 %.

Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что применение предлагаемой методики параметрической идентификации модели процессов газообмена позволяет повысить точность прогнозируемых показателей исследуемых 2-тактных ДВС, благодаря чему существенно улучшается качество и производительность выполняемых конструкторских задач, как при разработке новых вариантов выпускной системы, так и при проведении мероприятий по доводке двигателя.

Литература:

1. Основы численного моделирования рабочих процессов тепловых двигателей: учеб. пособие / А.А. Черноусов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 265 с.
2. Экспериментальная проверка модели взаимодействия волн конечной амплитуды с разветвлением канала / А.А. Черноусов // Ползуновский Вестник, Барнаул, АлтГТУ, 2006 г., №4. – с. 182 –186.

3. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 201063235. Программа для ЭВМ Horsepower Lab 1D для численного моделирования газообмена и рабочего процесса ДВС / А.А. Черноусов. М. : Роспатент, 2010. Зарег. 17.05.2010 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПУСКОВ-РАЗГОНОВ ДИЗЕЛЯ 4Ч 11/12,5 ДОБАВКОЙ ЛЕГКО ВОСПЛАМЕНЯЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ К ТОПЛИВУ

Патрахальцев Н.Н., Соловьёв Д.Е., Казаков С.А. (Российский университет дружбы народов)

Важнейшими режимами транспортных ДВС являются разгоны, в том числе разгон с места, сразу после пуска. Экстремальным режимом является пуск – разгон холодного дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха. Для оценки качества протекания неустановившихся режимов (НУР) разгонов предложены различные показатели [1]. Однако применимость их для случаев разгонов холодного дизеля в области низких частот вращения, начиная от пусковой, не подтверждена, а количественные показатели качества отсутствуют. Для повышения эффективности работы дизеля при НУР, известно применение метода регулирования рабочего процесса изменением физико – химических свойств топлива [2] (метода «физико – химического» регулирования – ФХР). Однако, информация, подтверждающая эффективность такого метода для низких, от пусковых, частот вращения при экстремально низких тепловых состояниях дизеля, практически отсутствует.

Целью работы являлась разработка и исследование метода повышения эффективности режимов пусков - разгонов, в том числе холодного дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха, в широком диапазоне частот вращения, начиная от пусковой, методом ФХР [3], добавкой к основному топливу легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ).

Целесообразность применения ЛВЖ в качестве добавки к дизельному топливу определяется как повышенной воспламеняемостью добавки, так и возможностью снижения дымности ОГ. Форсирование дизеля по мощности может быть достигнуто форсировкой по составу смеси до уровня, при котором достигается предел дымления.

Показатели качества протекания неустановившихся режимов работы (НУР) дизеля основаны на сравнении показателей при НУР и при установившихся режимах (УР), которые протекают при одинаковых частотах вращения и положениях регулирующего органа. К ним относятся следующие. Коэффициент загрузки двигателя по мощности (или моменту):

$$K_{3Ne} = \bar{N}_{e\zeta} / N_{eH}, \quad (1)$$

где $\bar{N}_{e\zeta}$ — средняя за технологический цикл потребителя энергии мощность потребителя; N_{eH} — номинальная мощность двигателя. Длительность переходного процесса разгона, иначе, время приёмистости ($t_{np.}$).

Относительный выигрыш во времени выполнения операции:

$$\Delta t = 1 - (t_{np.} / t_{np.г.}), \quad (2)$$

где $t_{np.г.}$ - время приёмистости генеральное, реальное, принятое за базу для последующих сравнений, определения эффективности методов совершенствования НУР и т. д.