

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В АВИАЦИОННОМ ДВУХТАКТНОМ ПОРШНЕВОМ ДВИГАТЕЛЕ

М.В. Амброжевич, аспирант,

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина

Постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами. Создание работоспособного двигателя – это всегда поиск компромисса, когда необходимо учесть и согласовать множество разнородных и противоречивых факторов в поисках оптимальных параметров всей технической системы. На языке моделирования это означает *постановку и решение многофакторной вариационной задачи*, что применительно к авиационному двухтактному поршневому двигателю (АДПД) позволило бы уже на начальных этапах НИР (техническое предложение, эскизный проект) непосредственно получить геометрию проточной части ПД, массогабаритные характеристики, диаграммы «угол-сечение», величину угла опережения зажигания, частотные, расходные и высотно-скоростные характеристики и т.п. Однако на данном этапе развития информационных технологий такого рода многофакторная вариационная задача неподъёмна, она может быть решена лишь в частном виде, когда при заданной геометрии и частотных характеристиках ПД определяются поля параметров термогазодинамического процесса с последующей их оптимизацией.

Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем. Анализируя многочисленные публикации, приходится констатировать, что между теоретическими разработками методов оптимизации на основе вариационного исчисления и практическими их приложениями для решения конкретных технических задач лежит глубокая пропасть.

Цель и постановка задачи исследования. Цель работы – создание инструментария ранних стадий проектирования, позволяющего с необходимой достоверностью прогнозировать характеристики

объекта проектирования. Верификация инструментария проведена на АДПД. Решалась прямая комплексно-сопряжённая газодинамическая задача на базе целостной нестационарной модели процессов в камере сгорания и по всей проточной части АДПД, учитывающей взаимовлияние основных узлов ПД, с отражением кинематики и динамики оригинала в виде обратной связи.

Результаты исследований. Идеология комплексно-сопряжённой модели рабочего процесса в АДПД изложена в работе [1]. Всё многообразие факторов различной физической природы, определяющих и составляющих газодинамический процесс в двигателе, представлено в форме распределённых или локализованных особенностей (типа «источник-сток»). Метод особенностей позволяет привести систему уравнений, описывающих процесс, к формально однородному виду и, как следствие, использовать для её решения единый численный метод и унифицированный набор средств программной реализации.

Для определения положения подвижной границы поршневой группы, скорости её движения, а также соответствующих частотных характеристик процесса используется сопряжённая динамическая модель кривошипно-шатунного механизма. Комплексно-сопряжённая модель АДПД, подобно физическому оригиналу, является саморегулирующимся объектом, т.к. отображает кинематику и динамику в качестве обратной связи. В результате можно говорить о «виртуальной» модели двигателя ввиду того, что набор входных факторов численного эксперимента совпадает с управляющими воздействиями

физического оригинала – сигналами и откликами (рис. 1).

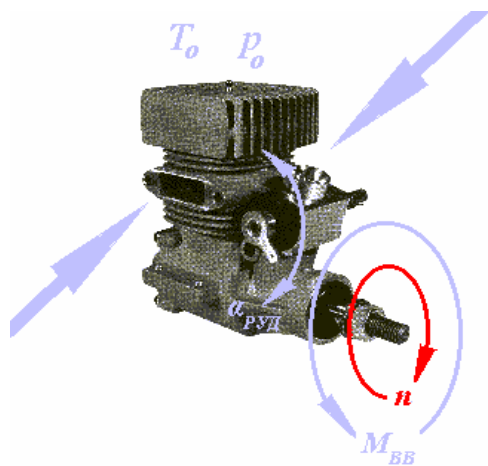


Рис. 1. Управляющие воздействия «виртуальной» модели АДПД

Сигналы:

α_{PUD} - положение рычага управления двигателем,

M_{BV} - момент сопротивления воздушного винта,

p_o, T_o - внешние условия.

Отклик:

n - частота вращения вала.

Процессы, протекающие в цилиндре, являются определяющими в работе всего АДПД. Трёхмерная (3D) подмодель течения в цилиндре обладает следующими особенностями:

Использует консервативную следящую подвижную сетку (рис. 2), причем все манипуляции на границах проводятся таким образом, чтобы избежать исчезающе малые значения шага по оси с автоматическим соблюдением КФЛ – условия.

Внутренние криволинейные границы цилиндра на регулярных сетках отображаются методом особенностей в виде «газотермодинамической маски» [1]. Для имитации условий непроницаемости твердых границ расположены двухрядные агрегаты ячеек, содержащие ИС импульса и энергии (только для перемещающихся стенок) (рис. 3).

Основное содержание 3D подмодели процесса в цилиндре соответствует схеме действующих источников - стоков (ИС), показанной на рис. 3 и в табл. 1.

Отдельные фазы процесса в двухтактном АДПД с кривошипно-камерной продувкой («кадры»

анимации) с комментариями, помещенными в табл. 2, изображены на рис. 4, 5.

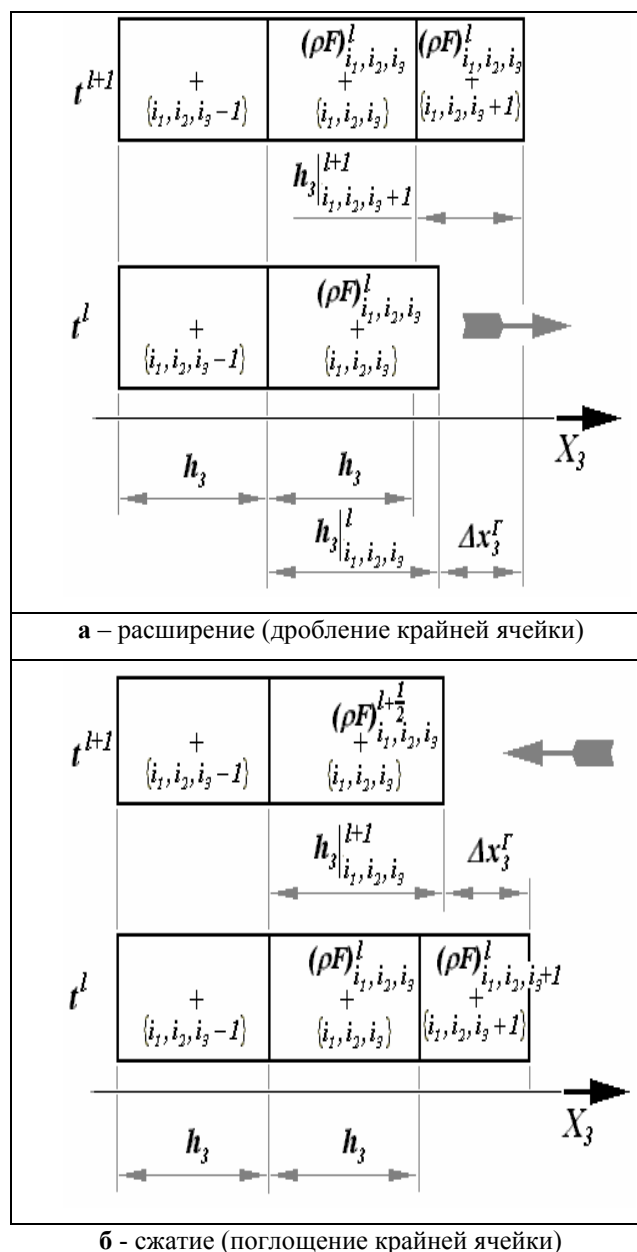


Рис. 2. Консервативный механизм адаптации подвижной сетки в граничных узлах

Получена удовлетворительная для решения задач НИОКР корреляция результатов численных и натурных исследований по основным показателям рабочего процесса. Разработан комплекс мероприятий по улучшению качества наполнения цилиндра путем тангенциально-осевой закрутки воздуха, подаваемого через перфорации наподобие применяемых в конструкции двигателя JuMo-207 [2, 3] вместо продувочных окон с относительно слабым направляющим действием.

Перспективы дальнейших исследований.

Современные интегрированные технологии моделирования газодинамических процессов подразумевают наличие тетрады «физико-математическое ядро → сеточные методы численного решения уравнений модели → расчетные алгоритмы и средства программной реализации → графические оболочки». Вопросы визуализации результатов ЧЭ имеют принципиальное значение, а аспекты разработки соответствующих программных оболочек выходят далеко за рамки чисто технических задач [4]. Существующие «фирменные» средства отображения интегрированы в специализированные пакеты (СП) и без них непосредственно использоваться не могут. При необходимости синхронного графического отображения результатов, которые в эволюционных задачах присутствует практически всегда, возникает

трудноразрешимая проблема совместимости нескольких программных продуктов в синхронном режиме. Адаптация частных графических возможностей СП к автономному использованию не представляется рациональной как с точки зрения техники, так и экономики.

Для синхронного анимационного сопровождения ЧЭ представленной комплексно-сопряженной модели ПДВС разработана специализированная ГО, использующая графические примитивы библиотеки Developer Visual Studio (DVS) [5, 6]. Облик ГО (рис. 4, 5) следует рассматривать как результат компромисса между требованием наглядности, полноты и удобства восприятия основного потока информации, с одной стороны, а с другой – сохранения ресурсоемкости на приемлемом уровне.

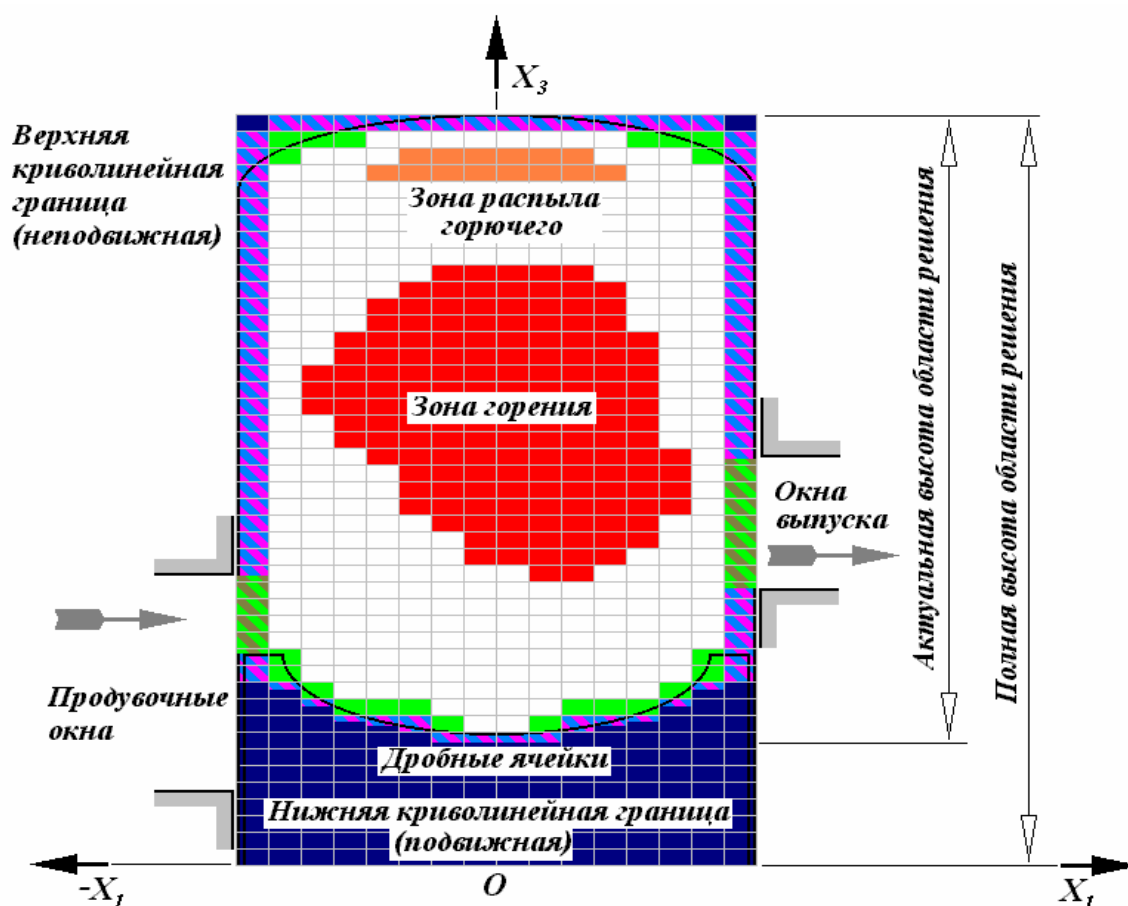


Рис. 3. Структура модели процесса в цилиндре (обозначения приведены в табл. 1)

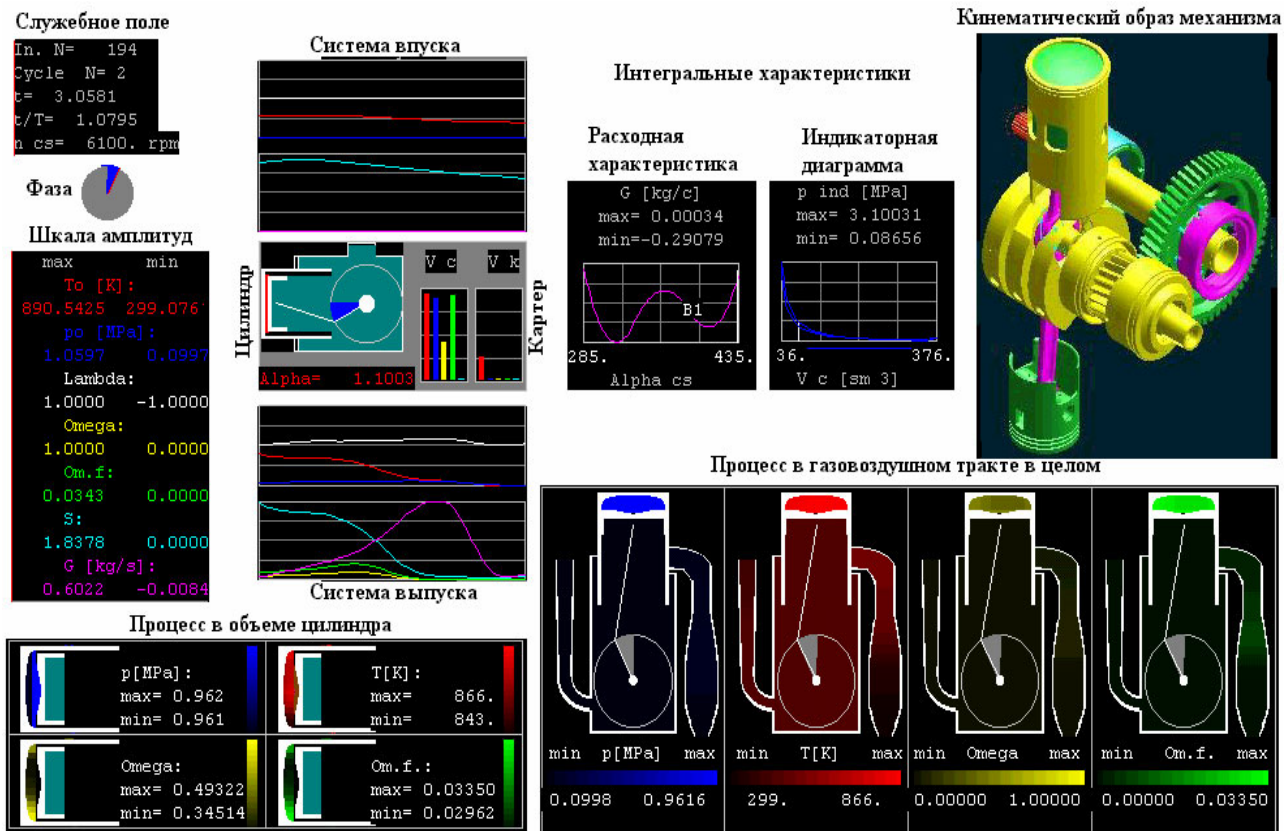


Рис. 4. Начальная фаза сгорания

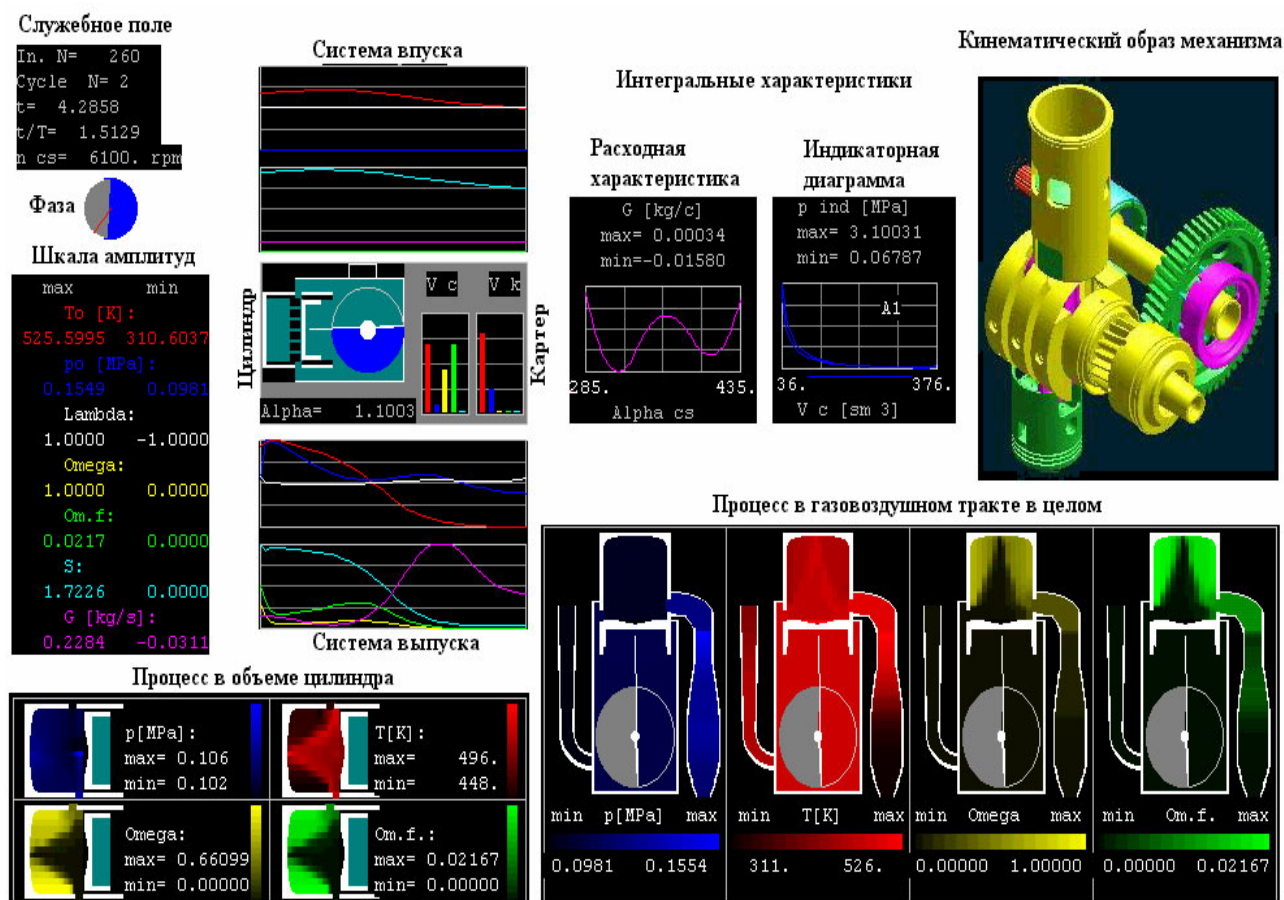


Рис. 5. Продувка и начало сжатия

Таблица 1









Обозн. на рис.3	Характер имитируемого фактора	Локализация
	Эффекты реакции горения	Переменная
	Теплообмен со стенками	
	Диссипативные силы	Всюду
	Подача горючего	Постоянная в момент впрыска
	Турбулентный обмен	Всюду
	Направляющие свойства криволинейных поверхностей («ГТД – маска»)	Переменная
	Взаимодействие с твердыми границами в направлении X_1 и X_2 («ГТД – маска»)	
	Обмен с внешними телами	
	Инертные ячейки сетки	

Таблица 2

Характеристики фазы	№ рисунка, фаза	4 - Начало горения	5 - Продувка и начало сжатия	
	Положение КШМ	Расширение вблизи ВМТ	Двигается к НМТ	
	Фаза	Подвод теплоты	Продувка и сжатие	
	Продувочные окна	Закрыты	Полностью открыты	
	Выпускные окна	Закрыты	Полностью открыты	
	Впускной клапан	Начинает закрываться	Закрыт	
	Внутр объем цилиндра	Горение	Начальная стадия	-
		Газо-обмен	-	Интенсивная фаза, однако наблюдается плохая вентиляция периферийных зон
	Впускной коллектор	Покоящийся воздух с однородным полем параметров	Покоящийся воздух с однородным полем параметров	
	Выпускной коллектор	Газовоздушная смесь с низким уровнем скоростей и однородным полем давлений. Зона высоких температур вблизи выпускных окон	Относительно низкие фоновые скорости потока при высокой интенсивности волновых процессов. Объем заполнен преимущественно продувочным воздухом	

Выводы. Предложенная технология позволяет проводить анализ особенностей протекания нестационарного термогазодинамического процесса по всей проточной части двигателя и, следовательно, основных параметров и характеристик двигателя на любых стадиях технического проектирования, что даёт воз-можность прогнозировать облик будущего объекта, проводить оптимизацию по параметрам и процессу и анализировать рабочий процесс уже готового технического объекта.

Литература

1. Амброжевич М.В. Комплексно-сопряженная мо-дель рабочего процесса в авиационном двухтактном поршневом двигателе // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Сб. науч. тр.– Харків: ХАІ, 2002.– Вып. 30. Двигуни та енергоустановки.– С. 37-42.

2. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двухтактные двигатели.– М.: Машгиз, 1960.- 556 с.

3. Орлин А.С. Исследование рабочего процесса авиадвигателя УМО-207А.– М.: Оборонгиз, 1946.- 19 с.

4. Бондарев А.Е., Бондарев Е.Н. Функции визуализации в вычислительной аэрогазодинамике // Полет.- 2000.- № 10.– С. 53-60.

5. Бартедьев О.В. Современный FORTRAN.– М.: Диалог-МИФИ, 2000.- 448 с.

6. Бартедьев О.В. Visual Fortran: новые воз-можности. –М.: Диалог-МИФИ, 1999.- 304 с.

Поступила в редакцию 25.04.03

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки УССР, И.М. Приходько, ХВУ, г. Харьков; канд. техн. наук, ст. науч. сотр. А.Е. Демин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.