

## 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).

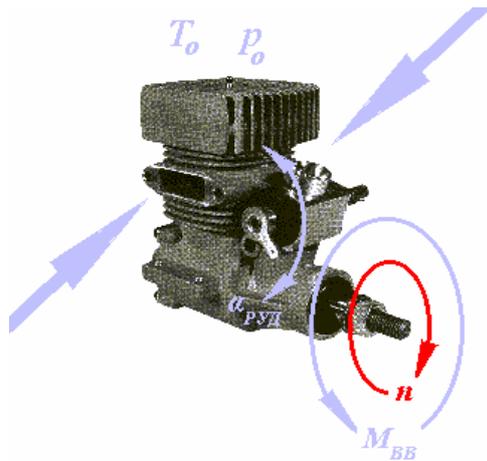


Рис. 1. Управляющие воздействия «виртуальной» модели АДПД

Сигналы:

$\alpha_{RUD}$  - положение рычага управления двигателем,

$M_{BB}$  - момент сопротивления воздушного винта,

$p_0, T_0$  - 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.

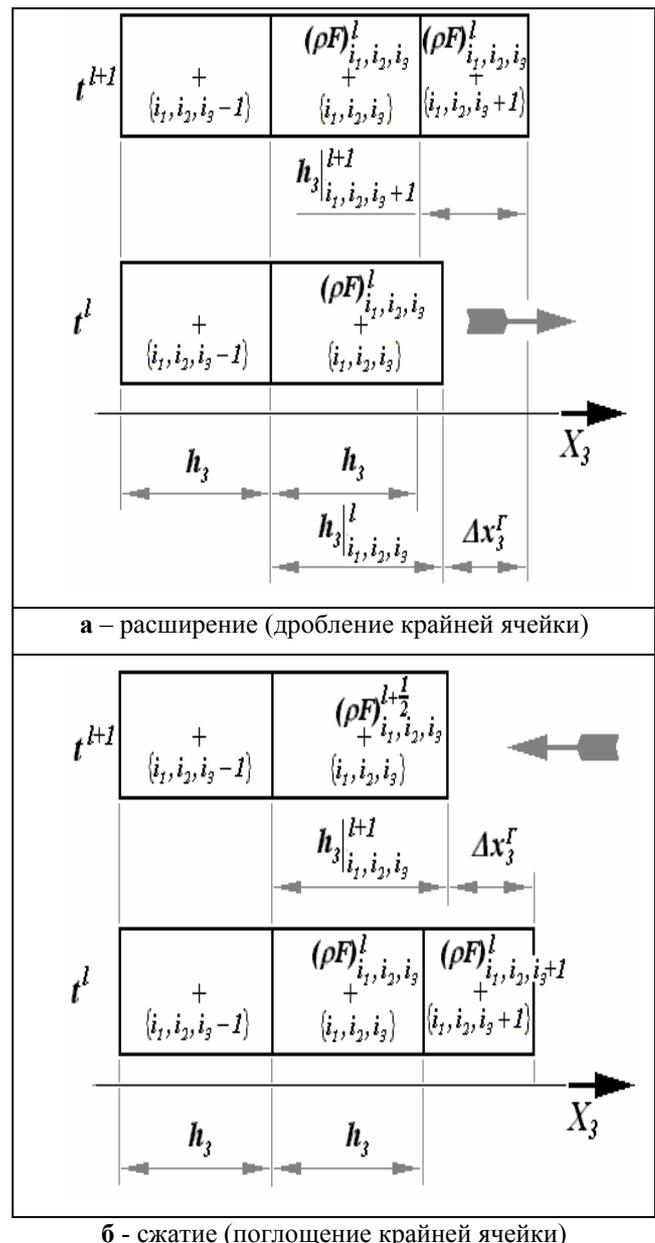


Рис. 2. Консервативный механизм адаптации подвижной сетки в граничных узлах

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.

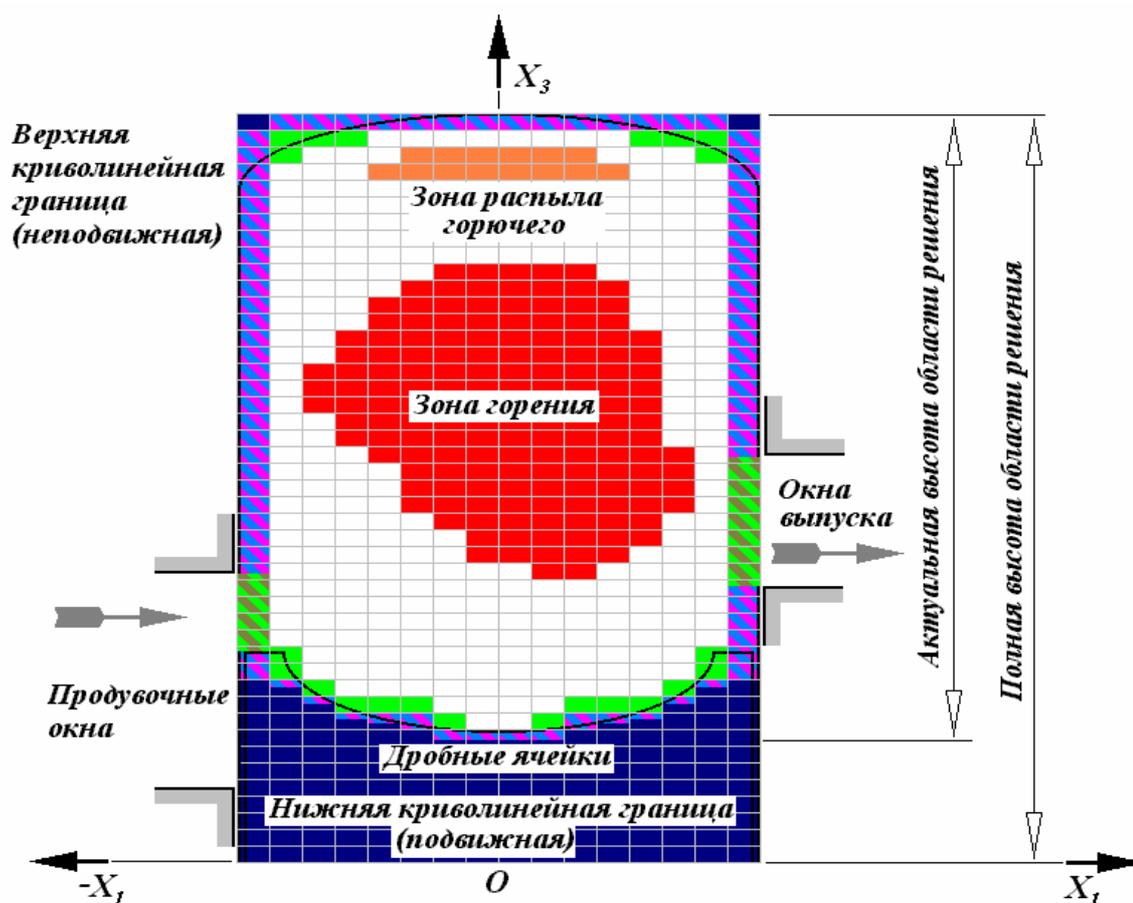


Рис. 3. Структура модели процесса в цилиндре (обозначения приведены в табл. 1)

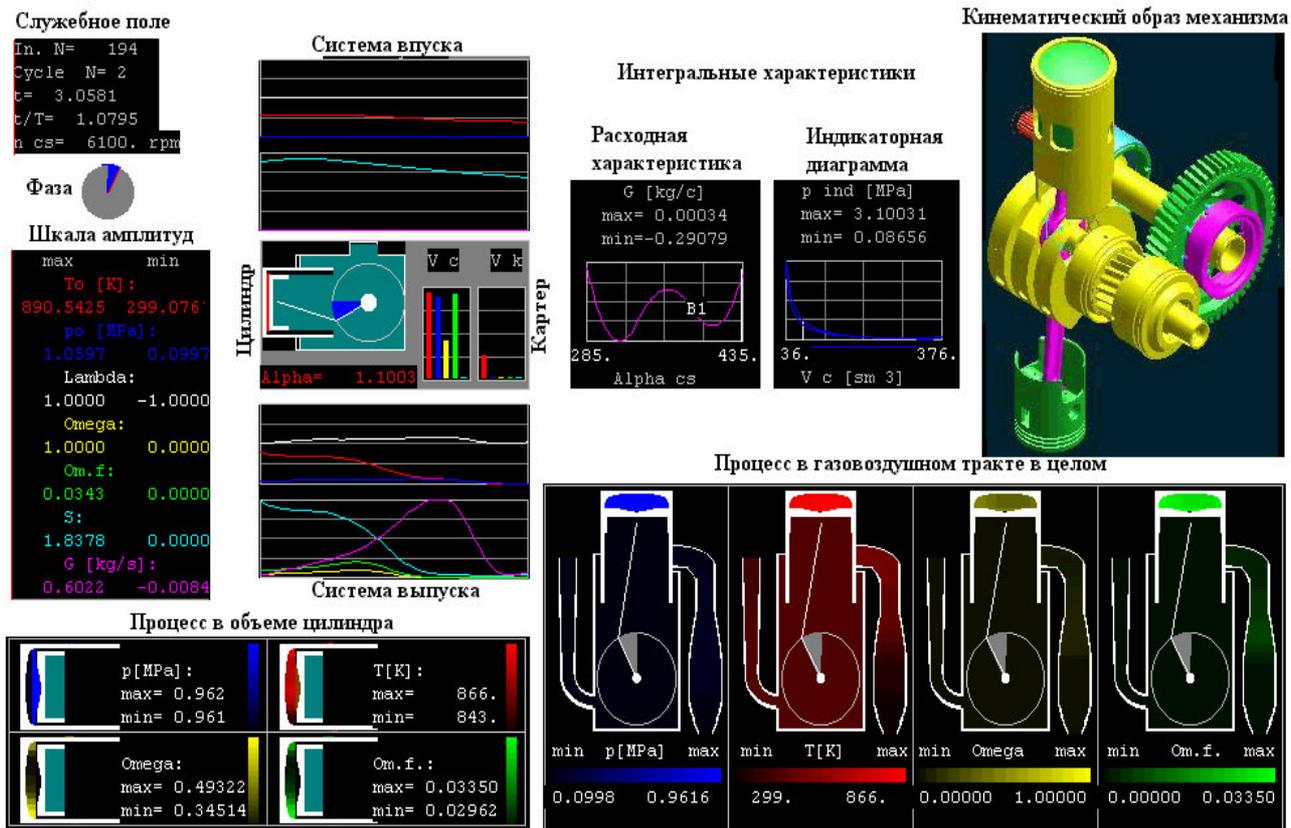


Рис. 4. Начальная фаза сгорания

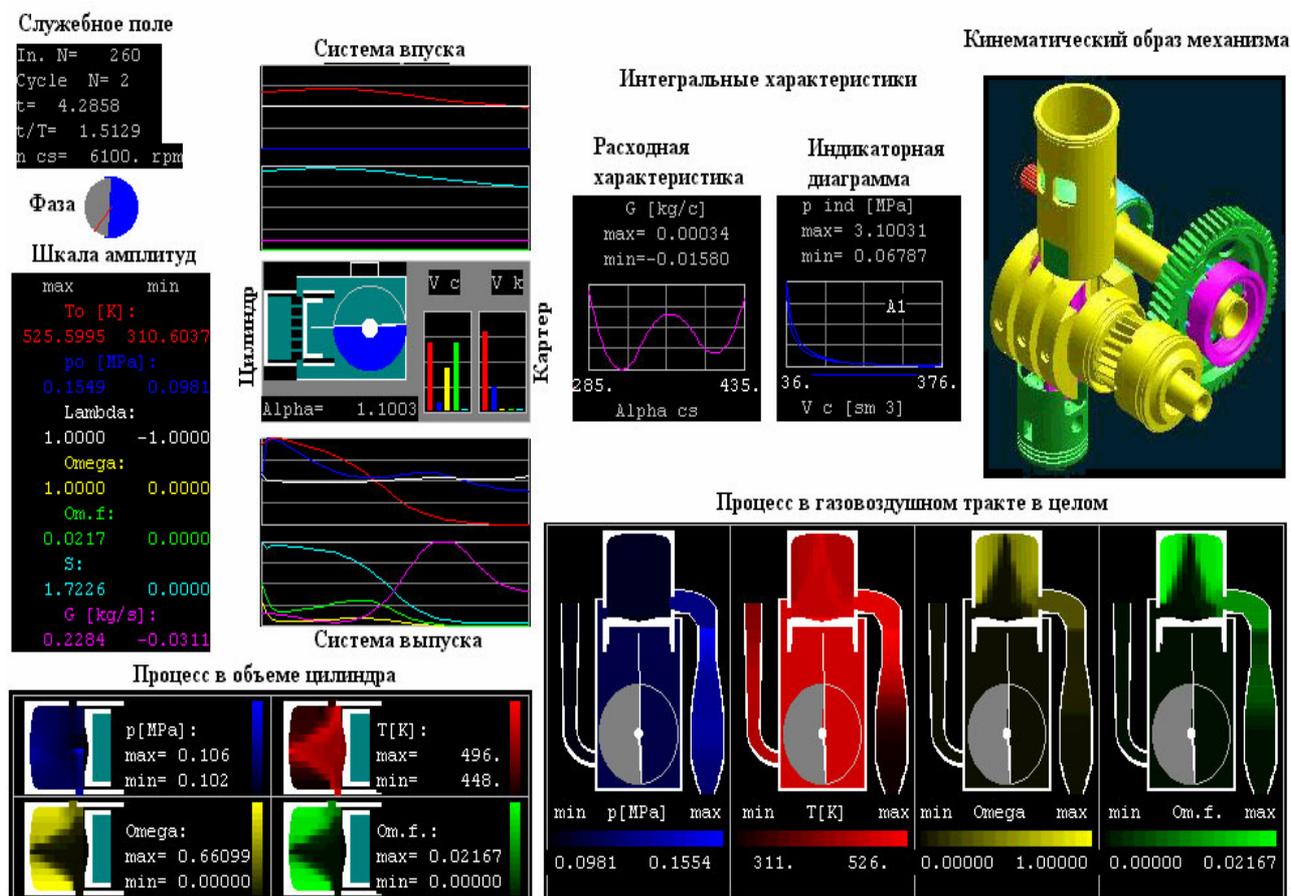


Рис. 5. Продувка и начало сжатия

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 возможности. –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.