

РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОПОРШНЕВОГО СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Л.М. Жмудяк, д.т.н., проф., А.Л. Жмудяк, асп.
ГОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
Е.Г. Абрамов, директор
Компания «Вентор»

Рассмотрены конструкция и рабочий процесс однопоршневого свободнопоршневого двигателя (генератора газа) без клапанов на окнах в гильзе. ОСПД предназначен для генерации газа (продуктов сгорания) высокой энергии с последующим преобразованием в сопле или других устройствах. Потенциально ОСПД может работать с уникально высокой частотой циклов, следовательно, обладает высокой мощностью и компактностью. Создана и реализована программно-математическая модель, при помощи которой выполнен расчет параметров ОСПД, рабочим циклом в одной полости двигателя (по одну сторону поршня), а полость с другой стороны поршня — буферная. Расчеты показали, что простейший вариант ОСПД без регулирования может работать устойчиво при определенных конструктивных соотношениях.

Однопоршневой свободнопоршневой двигатель без клапанов на окнах газораспределения (ОСПД) включает поршневую часть, предназначенную для генерации газа (продуктов сгорания) высокой энергии, реализуемой в турбине, сопле или других устройствах. Созданием ОСПД занимались П.К. Морозенко, М.Д. Апашев, В.П. Демидов, И.Ф. Куянов, М.Г. Крупский, В.Д. Велиев, Е.В. Орловская, а также другие специалисты. Потенциально ОСПД может работать с уникальной для поршневых ДВС частотой циклов, обладает компактностью и высокой удельной мощностью, однако, несмотря на большой объем выполненных исследований, вопрос устойчивости работы двигателя такого типа остался открытым.

Для выяснения работоспособности ОСПД была создана математическая модель его поршневой части. Основу математической модели составляет система управления, описывающих нестационарные двухмерные газодинамические течения в цилиндрической системе координат. Расчет нестационарных параметров газа производится по схеме С.К. Годунова [1] с учетом методик, изложенных в работах [2, 3].

Модель реализована в виде компьютерной программы, позволяющей выполнить расчеты различных модификаций ОСПД.

Ниже приведены результаты моделирования несимметричного ОСПД, у которого рабочий процесс осуществляется только в одной полости цилиндра. Моделировалась работа на жидком топливе с внутренним смесеобразованием и рабочим процессом по циклу Дизеля.

Конструкция ОСПД схематично изображена на рис. 1.

В средней части цилиндра 1 прорезаны два вида окон: впускные 2 и выпускные 3. Окна объединены соответственно впускным 4 и выпускным 5 коллекторами. Внутри цилиндра находится плоский поршень 6, разделяющий цилиндр на рабочую и буферную полости. Торцы цилиндра закрыты крышками 7, в одной из которых имеется форсунка 8, а в другой — предохранительный клапан 9 и клапан системы запуска 10.

Предохранительный клапан предназначен для сброса в атмосферу части газа из буферной полости в случае неконтролируемого разгона двигателя (режим разноса). Клапан системы запуска обеспечивает запуск двигателя сжатым воздухом или при помощи пиропатронов. Топливный насос высокого давления (на рисунке не показан) должен приводиться за счет энергии движения цилиндра, однако конструкция привода пока не проработана.

Рабочий цикл осуществляется только в одной полости, которая называется рабочей (на рисунке левая), а другая является воздушным буфером и служит для безударного изменения направления движения поршня.

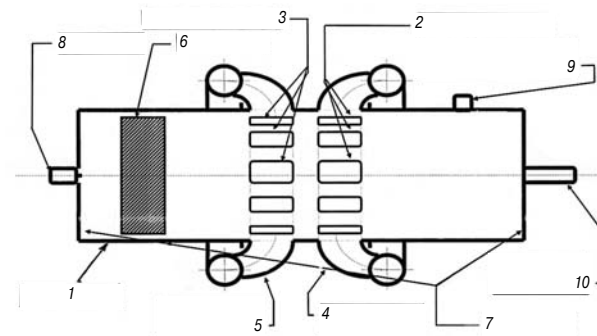


Рис. 1. Схема ОСПД

Первые попытки моделирования двигателя выявили высокую неустойчивость его работы по частоте циклов. Одна из причин неустойчивости — отсутствие нагрузки в данном варианте ОСПД (т. е. нагрузки, например, в виде газодинамического сопротивления генерируемому газу (продуктам сгорания)). Вторая причина — переменные степень сжатия и ход поршня. Объясним это на примере. Предположим, что двигатель работает устойчиво на определенной частоте. И пусть в результате какой-либо причины возникла некоторая нестабильность в рабочем цикле, например незначительно увеличилась цикловая подача топлива. В этом случае в рабочей полости сгорит чуть больше топлива, поршень разгонится чуть быстрее, сильнее сожмет воздух в буферной полости, вернется в рабочую полость с более высокой скоростью, и в следующем цикле, даже при исходной топливоподаче, сгорание произойдет при более высокой степени сжатия. Это приведет к более эффективному протеканию рабочих процессов, а следовательно, к еще большей степени сжатия в следующем цикле. Таким образом, процесс увеличения амплитуды движения поршня продолжается вплоть до срабатывания предохранительного клапана. В случае снижения цикловой подачи топлива вышеописанные процессы будут протекать с уменьшением амплитуды движения поршня, что приведет к остановке двигателя. Приведенный пример поясняет причину нестабильной работы двигателя данного типа и необходимость в регулировании частоты циклов. Конечно, как и все поршневые двигатели, ОСПД имеет факторы, стабилизирующие рабочий цикл: ухудшение наполнения и повышение потерь на трение с ростом частоты циклов. Как минимум, в рассчитанной конструкции при выбранных размерах цилиндра стабилизирующие факторы оказались слабыми.

Для стабилизации работы ОСПД в модель был введен регулятор. Моделировались разные способы регулирования: изменением цикловой подачи топлива, изменением количества горючей смеси во впускном трубопроводе¹ и дросселированием на впуске. Регулирование выполнялось по нескольким критериям: по максимальному давлению сгорания в рабочей полости, по частоте рабочего цикла. Наиболее эффективным² оказалось регулирование цикловой подачи топлива для достижения необходимой частоты рабочего процесса. При помощи моделирования и подбора конструктивных параметров был найден вариант ОСПД с устойчивым рабочим циклом.

¹ Моделировался и цикл двигателя с внешним смесеобразованием.

² Но не самым конструктивно простым.

Таблица 1

Основные исходные параметры

Параметры	Величина
Длина цилиндра, м	0,5
Диаметр цилиндра, м	0,15
Масса поршня, кг	1
Толщина поршня, м	0,09
Номинальная частота рабочих циклов, Гц	70

В табл. 1 содержатся основные исходные параметры моделируемого ОСПД. Номинальная частота рабочих циклов представляет собой частоту, на которую двигатель выводит автоматический регулятор. (Для ОСПД не существует общепринятого понятия частоты вращения коленчатого вала из-за отсутствия последнего. Поэтому частота рабочих циклов измеряется их количеством в секунду, то есть в герцах. Движение поршня от крышки рабочей полости к крышке буферной полости является рабочим ходом. Обратное движение поршня можно назвать ходом сжатия. При такой терминологии частота циклов равна числу рабочих ходов поршня или половине числа всех ходов поршня.)

Анализ результатов моделирования (табл. 2) указывает на низкое качество газообмена в двигателе: большое количество остаточных газов и низкий коэффициент наполнения рабочей полости свежим воздухом. Плохое качество газообмена объясняется высокой цикличностью ОСПД и тем, что в рассмотренной конструкции двигателя продукты сгорания трудно удалить из области крышки рабочей полости. Последнее является следствием простоты конструкции. Несмотря на это, для осуществления рабочего цикла свежего воздуха вполне достаточно, судя по значению коэффициента избытка воздуха.

Таблица 2

Показатели рабочего цикла

Параметры	Величина
Ход поршня, м	0,377
Частота циклов, Гц	70
Степень сжатия в рабочей полости	9,91
Степень сжатия в буферной полости	14,89
Максимальная скорость поршня, м/с	65,5
Максимальное давление сгорания в рабочей полости, МПа	4,01
Максимальное давление сжатия в буферной полости, МПа	7,44
Коэффициент наполнения	0,11
Коэффициент избытка воздуха	4,67
Коэффициент остаточных газов	0,55
Среднее индикаторное давление, кПа	26,64
Индикаторный КПД, %	27

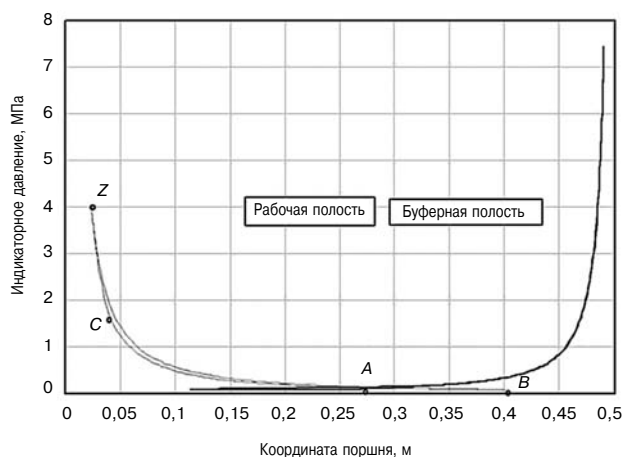


Рис. 2. Индикаторная диаграмма

На рис. 2 приведены индикаторные диаграммы установившегося рабочего цикла для каждой полости.

Основным результатом выполненных расчетов является вывод о потенциальной работоспособности двигателя данного типа. Наиболее проблем-

ными остаются вопросы регулирования, устойчивости и конструкция привода ТНВД.

Исследования выполнены при поддержке Федерального агентства по образованию, Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Литература

1. Численное решение многомерных задач газовой динамики / Под редакцией С.К. Годунова. — М.: Наука, 1976. — 400 с.
2. Параметры поршневого генератора газа поршнетурбинного двигателя / З.М. Ройфберг, Л.М. Жмудяк, Р.Х. Ицекзон и др. // Газотурбинные установки: Тез. докл. Всес. межвуз. конф., 22–24 ноября 1983 г. / МВТУ им. Н.Э. Баумана. — М., 1983. — 170 с.
3. Расчет свободнопоршневого двигателя с применением газодинамики // Е.Г. Абрамов, Л.М. Жмудяк. Совершенствование быстроходных дизелей: Тез. докл. Междунар. науч.-тех. конф. — Барнаул, 1993. — С. 16–17.



НА ЧТЗ ГОТОВЯТ К ЗАПУСКУ ВЫСОКОТОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИЗ ЧЕХИИ

Два обрабатывающих центра и токарный станок с ЧПУ чешской фирмы «Kovosvit MAS» смонтированы на производстве перспективных технологий Челябинского тракторного завода.

Технологическую наладку нового оборудования выполняют специалисты из Чехии.

Первую партию современного оборудования «Kovosvit MAS» поставил предприятию в прошлом году. В нынешнем также было несколько поставок. Восемь современных механообрабатывающих комплексов, предназначенных для изготовления деталей высокой точности для двигателей, в том числе перспективной серии «Т», сегодня производят продукцию.

На участке точных деталей завершается наладка девятого. Это вертикальный центр для одновременной обработки заготовки в пяти координатах. Ранее здесь были включены в производственный процесс два токарно-фрезерных центра и станок с ЧПУ.

На новом оборудовании участка изготавливают требующую особой точности и балансировки крыльчатку турбокомпрессора, комплектующие для топливной аппаратуры дизелей.

Чтобы обсудить перспективы дальнейшего сотрудничества весной на Челябинском тракторном заводе побывал председатель правления и владелец «Kovosvit MAS» Франтишек Комарек. Поставки оборудования чешского производства продолжатся и в 2013 г.

ЧТЗ И ЕГО ПАРТНЕР ПОКАЗЫВАЮТ В СТОЛИЦЕ НОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ СЕРИИ «Т»

На открывшейся 10 октября в столичном «Крокус-Экспо» выставке «Агросалон-2012» Челябинский тракторный завод представил перспективный четырехцилиндровый двигатель серии «Т».

На крупнейшей в стране выставке сельскохозяйственной техники и оборудования ЧТЗ демонстрирует свою новинку совместно с Ногинским заводом топливной аппаратуры, поставляющим на предприятие топливные насосы с электронным регулятором взамен аналогичного узла с механическим приводом. Планируется, что партнеры из Ногинска будут поставлять современную топливную аппаратуру для новых тракторных двигателей, серийный выпуск которых планируется на Челябинском тракторном заводе в следующем году.