

Рис. 5. Зависимость эффективной мощности N_e двигателя ЭМ-100 от величины цикловых утечек газов V через ЦПГ при частоте вращения коленчатого вала 2000, 3000 и 4000 об/мин

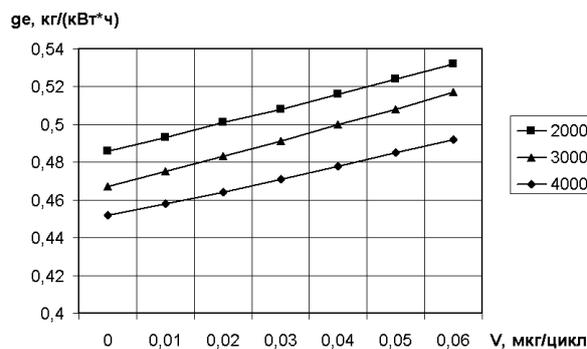


Рис. 5. Зависимость эффективного удельного расхода g_e двигателя ЭМ-100 от величины цикловых утечек газов V через ЦПГ при частоте вращения коленчатого вала 2000, 3000 и 4000 мин⁻¹

Литература:

1. Загайко, С.А. Расчет механических потерь в двигателях внутреннего сгорания: Учебное пособие / С. А. Загайко; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2006. – 123 с.
2. Энглиш, К. Поршневые кольца. Том 1. Теория, изготовление, конструкция и расчет / Пер. с нем С.К. Личака. – М.: Машгис, 1962. – 583 с.
3. Система имитационного моделирования "Альбея" (ядро): руководство пользователя, руководство программиста: учебное пособие / В.Г. Горбачев [и др.]; Уфимск. госуд. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 1995. – 112 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШТАНГОВОГО ДИЗЕЛЬ-МОЛОТА

Рудой И.Б. (Уфимский государственный авиационный технический университет)

В настоящее время, несмотря на активное внедрение гидравлических молотов на российский рынок сваебойных машин, штанговый дизель-молот (ШДМ) остается наиболее распространенным сваебойным агрегатом.

К сожалению, серьезные работы по совершенствованию рабочего процесса ШДМ прекратились более десятилетия назад. Однако, подробный сравнительный анализ возможностей дизель- и гидромолотов показывает необходимость совершенствования рабочего процесса и конструкций дизель-молотов по следующим основным причинам:

- КПД дизель-молота значительно выше, чем у гидромолота, поскольку происходит прямое преобразование энергии топлива в энергию удара, минуя приводной двигатель и гидростанцию;
- стоимость дизель-молота на порядок меньше стоимости гидромолота;
- имеются хорошие предпосылки для качественного управления и сервиса на уровне современных гидромолотов, а также улучшения экологических и эргономических показателей.

Для правильного выбора направления работ по совершенствованию ШДМ нужно иметь надежную физическую и математическую модель реально существующего объекта. Такая модель объекта вкупе с возможностями современной компьютерной техники и удобным программным сервисом помогает понять многие

физические процессы, которые при достаточно дорогих экспериментальных исследованиях могут быть не замечены или неправильно интерпретированы.

Кроме того, необходимость компьютерного моделирования работы дизель-молота обуславливается сложностью экспериментального воспроизведения и большим объемом изменяемых параметров (в т.ч. геометрических) для проведения исследований.

Исследование рабочего процесса ШДМ проводилось с помощью системы имитационного моделирования (СИМ) двигателей внутреннего сгорания «Альбея-ДВС» v.5.01, разработанной на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Уфимского государственного авиационного технического университета [1, 2, 3].

Объектом моделирования являлся штанговый дизель-молот СП-6В.

Для СИМ «Альбея-ДВС» разработана математическая модель рабочего процесса дизель-молота, включающая

- сжатие, горение и расширение;
- процессы выпуска и наполнения во время движения цилиндра, являющегося одновременно ударной массой;
- динамику движения цилиндра с учетом ограничения подъема по высоте;
- учет механических потерь на трение колец и штанг.

Все моделирование велось с учетом вертикальной неподвижности поршня (имитация стендовых испытаний дизель-молота).

Расчетная схема штангового дизель-молота показана на рис. 1. Моделирование велось методом установления, т.е. имитировался выход дизель-молота на установившийся режим при фиксированных начальных и граничных условиях.

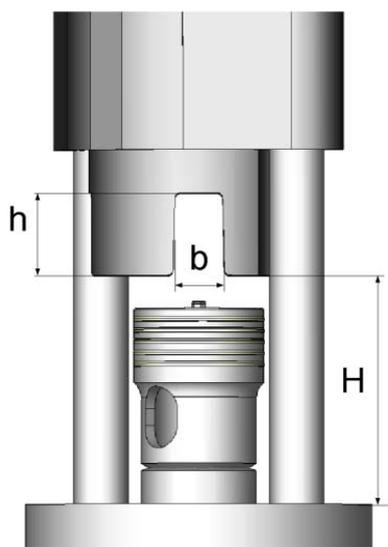


Рис.1. Расчетная схема штангового дизель-молота

Если значение заранее выбранного контролируемого параметра, в частности максимального давления цикла и скорости вылета цилиндра, в двух соседних циклах отличаются друг от друга менее чем на 1%, считается, что установление произошло и полученные в результате моделирования расчетные значения соответствуют заданным начальным и граничным условиям.

Особенностями конструкции штангового дизель-молота является отсутствие принудительной продувки цилиндра для обеспечения смены заряда и наличие четырех опор на цилиндре, между которыми располагаются пазы «окна», высотой h и шириной b (рис.1),

изначально не предназначенные для продувки, но оказывающие серьезное влияние на процесс смены заряда. В дальнейшем, цилиндрический объем, заключенный между опорами, будет называться «оконная зона».

При анализе процесса смены заряда было установлено, что масса воздуха, необходимая для устойчивой работы дизель-молота, поступает в цилиндр за счет внутрицилиндровых волновых процессов, возникающих в оконной зоне при сходе цилиндра с поршня, а также за счет движения поршня в оконной зоне в момент посадки цилиндра на поршень.

При сходе цилиндра с поршня при движении вверх происходит истечение газа через открывающиеся окна с возникновением волны разрежения, движущейся в направлении днища цилиндра, которая отражается от днища также волной разрежения, возвращающейся к открытой части цилиндра и способствующей подсасыванию определенного количества воздуха в цилиндр.

При определении реального и максимального коэффициентов наполнения учитывались следующие факторы, влияющие на рабочий процесс дизель-молота:

- масса цилиндра;
- момент начала топливоподачи (высота топливоподачи);
- начальная высота подъема цилиндра;
- цикловая подача топлива;
- ширина и высота «окон»-пазов;
- наличие ограничения на подъем ударной части 2,5 м.

Вначале был определен коэффициент наполнения цилиндра массой 2500 кг при начальной высоте подъема 2,5 м и высоте начала топливоподачи 0,13 м при продувке только за счет волновых процессов. Его величина составила 0,088 и соответствующая ему высота подъема цилиндра 1,316 м. По результатам проведенных стендовых испытаний было определено, что при тех же исходных данных высота подъема составила 2,2 м. Из чего был сделан вывод, что имеются дополнительные источники свежего заряда.

Рассматривалось влияние вертикальной составляющей скорости атмосферного ветра, однако это влияние оказалось незначительным.

Была выдвинута гипотеза, что воздух забирается из оконной зоны при движении цилиндра вниз. Относительное движение поршня в оконной зоне приводит к захвату части воздуха, попавшего в оконную зону при опускании цилиндра. Требовалось определить, какая часть этого воздуха может попасть в цилиндр. Был введен параметр «коэффициент удержания воздуха», равный отношению массы воздуха, поступившего в цилиндр из оконной зоны к полной массе воздуха в оконной зоне, и построена зависимость от него высоты подъема цилиндра при отсутствии верхнего ограничения на высоту. При этом учитывалось частичное истечение смеси отработавших газов и воздуха в атмосферу при движении поршня в оконной зоне.

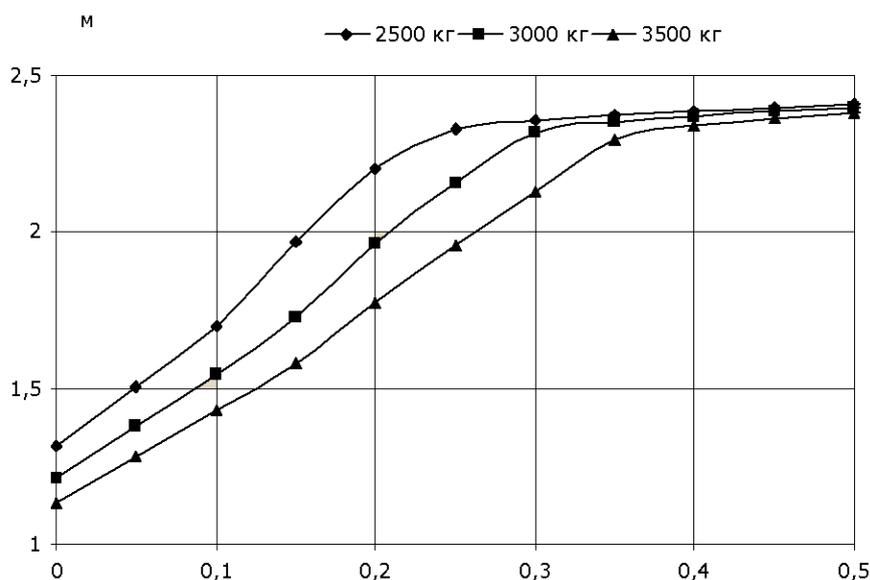


Рис. 2. Зависимость высоты подъема от коэффициента удержания воздуха при различной массе цилиндра

Точке с высотой 2,2 м соответствует коэффициент удержания воздуха 0,2 (рис. 2), а соответствующий ему коэффициент наполнения 0,17 (рис. 3) для массы цилиндра 2500 кг.

Для определения предельного (максимального) значения коэффициента наполнения необходимо было поставить условие, что истечения смеси отработавших газов и воздуха в атмосферу при движении поршня в оконной зоне не должно происходить, т.е. в период относительного движения поршня вверх в оконной зоне «окна» должны быть закрыты. При этом условии величина максимального коэффициента наполнения составила 0,54.

На рис. 4. показана зависимость коэффициента наполнения от ширины «окон»-пазов и массы цилиндра

Далее был проведен анализ реального количества топлива, участвующего в рабочем процессе. Значения определялись при реальном и максимальном коэффициентах наполнения (рис. 5.)

Из технических условий на дизель-молот известно, что величина цикловой подачи топлива находится в диапазоне 3000...5000 мг. Таким образом из результатов расчетов следует, что не все впрыснутое топливо участвует в рабочем процессе.

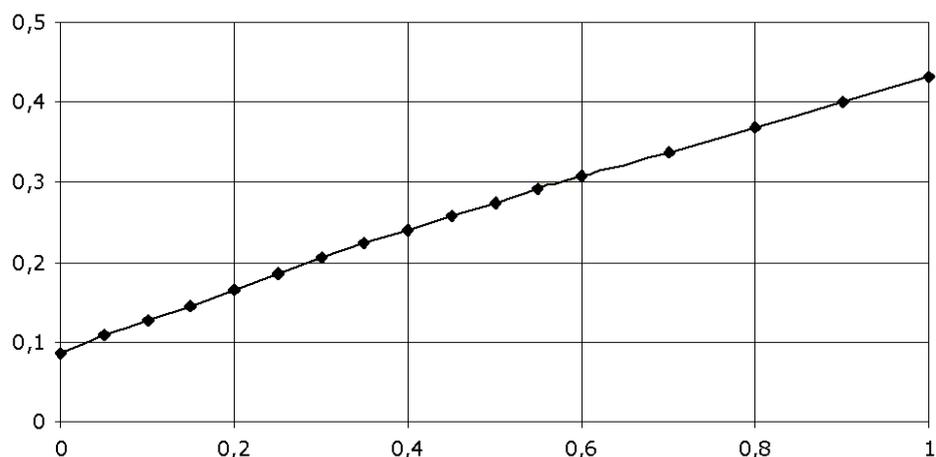


Рис. 3. Зависимость коэффициента наполнения от коэффициента удержания воздуха

Анализ показал, что смесеобразование в камере сгорания не является оптимальным из-за:

- наличия крупных капель в распыливаемом топливе;
- направления струй к днищу цилиндра.

По этой причине возможно присутствие в камере сгорания свежего заряда, не вступившего в реакцию с топливом. Для проверки влияния качества смесеобразования на показатели дизель-молота была предложена модифицированная форсунка с уменьшенным диаметром отверстий и горизонтальным направлением струй для более эффективного образования горючей смеси.

Использование модифицированной форсунки при стендовых испытаниях показало существенное улучшение качества смесеобразования по сравнению с серийной форсункой за счет правильного распределения топлива по камере сгорания и более тонкого распыла. Поэтому можно утверждать, что в при использовании модифицированной форсунки воздух, попавший в цилиндр, используется практически полностью

Дальнейшие расчеты и стендовые испытания показали, что полученные при коэффициенте наполнения 0,17 расчетные результаты для цилиндров массой 3000

кг и 3500 кг хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при использовании модифицированной форсунки.

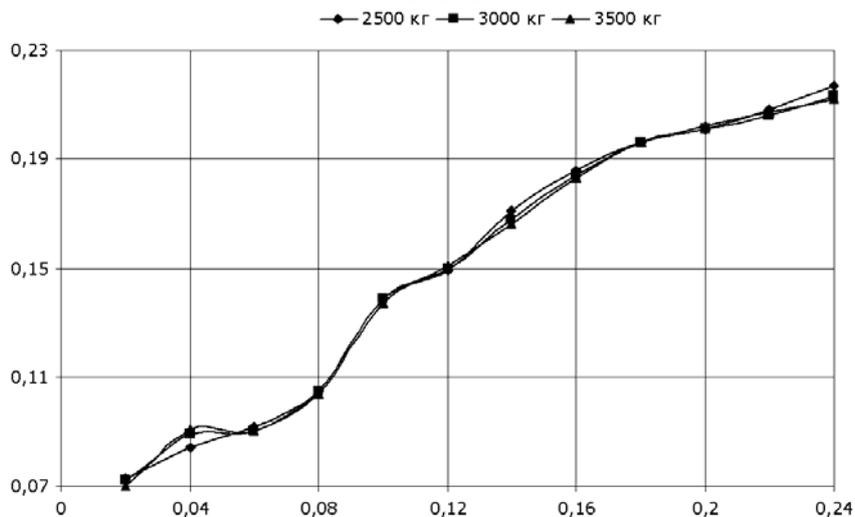


Рис. 4. Зависимость коэффициента наполнения от ширины «окна» и массы цилиндра

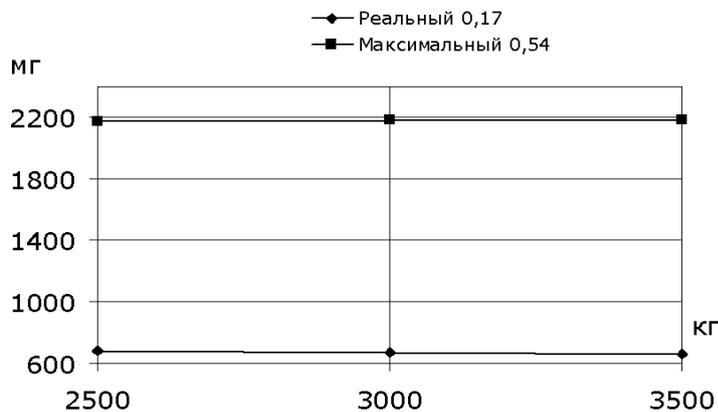


Рис. 5. Зависимость массы топлива, участвующей в рабочем процессе от реального и максимального коэффициентов наполнения и массы цилиндра

Масса	Максимальная высота подъема	
	Расчет	Эксперимент
2500	2,24	2,2
3000	1,96	1,9
3500	1,77	1,7

Выводы:

1. По результатам моделирования и анализа экспериментальных данных действующих штанговых дизель-молотов определен коэффициент наполнения, который составляет 0,17. Ошибка определения не более 5%.

2. Без дополнительных внешних источников продувки цилиндра дизель-молота мероприятия по удержанию дополнительного количества воздуха в цилиндре могут обеспечить максимальное значение коэффициента наполнения 0,54.

3. Анализ процесса впрыска и смесеобразования в цилиндре показал, что, вероятно, более 50% подачи топлива не участвует в рабочем процессе цикла.

4. Коэффициент наполнения соответствует количеству воздуха в цилиндре, достаточному для сгорания количества топлива, которое обеспечивает на стенде подъем цилиндра массой 3500 кг на высоту, соответствующую скорости посадки ударной части на сваю 5 м/с.

Литература:

1. Загайко, С.А. Расчет механических потерь в двигателях внутреннего сгорания: Учебное пособие / С. А. Загайко; УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2006. – 123 с.
2. Рудой И.Б. Моделирование гидродинамических процессов в системе имитационного моделирования «Альбея» // Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т. - Уфа, 1998. 28 с.
3. Система имитационного моделирования "Альбея" (ядро): руководство пользователя, руководство программиста: учебное пособие / В.Г. Горбачев [и др.]; УГАТУ. – Уфа, 1995. – 112 с.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Черноусов А.А.

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В практике компьютерного моделирования рабочих процессов ДВС, как и в других предметных областях, просматривается иерархичность моделей, привлекаемых для описания процессов. Так, рабочий процесс ДВС наиболее детально (а значит и достоверно) может быть описан системой законов сохранения для нестационарного пространственного течения многокомпонентной вязкой и реагирующей смеси (для газовой фазы), а также аналогичными уравнениями для жидкости, описывающими динамику жидкой фазы, начиная с явлений в системах топливоподачи и заканчивая гидродинамикой капли распыленного топлива.

Для постановки более достоверных граничных условий на твердых стенках следует решать сопряженную задачу о нестационарном тепловом и напряженно-деформированном состоянии в элементах газоздушного тракта (ГВТ) и т.д. Модель такого высокого в иерархии уровня является примером фундаментальной модели в том смысле, что не нуждается в эмпирических данных «инженерного» уровня.

Такое детальное описание процессов газообмена, смесеобразования и сгорания в ДВС требует нереальных в настоящее время вычислительных мощностей и первоклассного программного обеспечения. Так что *все* применяемые на практике модели являются в той или иной степени «огрубленными» по сравнению с указанной. Во-первых, огрубление происходит при переходе к континуальному описанию двухфазных течений. Во-вторых, на *расчетной сетке* с «реальным» размером ячеек выделяется лишь крупновихревая составляющая потока, так что для явлений «подсеточного» масштаба (мелкомасштабный турбулентный перенос, выходы реакций, межфазные явления) для «замыкания» основных уравнений нужны вспомогательные модели, основанные на полуэмпирических теориях.

Еще на ступень ниже стоит модель процессов в ГВТ ДВС, направленная на получение осредненной по ансамблю (пусть даже пространственной и зависящей от времени) картины течения рабочего тела. Но на таком уровне уже *в принципе невозможно* предсказание, например, межциклового неравномерности, и в целом проблематично вполне адекватно рассчитать процессы горения.

Замыкает иерархию моделей, полезных для инженерного анализа, базовая модель «термогазодинамического» уровня, обсуждаемая ниже. Здесь под таковой понимается комбинация (а) модели неустановившегося течения смеси с одной продольной координатой для гладких участков трубопровода (каналов) и (б) модели открытой термодинамической системы – для элементов ГВТ, как емкостей.