

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШТАНГОВОГО ДИЗЕЛЬ-МОЛОТА

И.Б. Рудой, М.М. Юдаев

*Рассмотрены особенности смены заряда и смесеобразования в штанговом дизель-молоте, разработана математическая модель, по которой определены реальное и предельное значение коэффициента наполнения, предложены рекомендации для повышения качества смесеобразования.*

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 в комплексе с возможностями современной компьютерной техники и удобным программным сервисом помогает понять многие физические процессы, которые при достаточно дорогих экспериментальных исследованиях могут быть незамечены 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.

Моделирование 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, 4].

Использование СИМ «Альбея-ДВС» позволяет:

- интерактивно собирать произвольный газоздушный тракт двигателя и произвольную кинематическую схему, включая ДВС с КШМ и линейные ДВС;

- определять характеристики двигателя с погрешностью не более 5%;

- исследовать нестационарные термодинамические процессы в газоздушном тракте двигателя;

- исследовать динамику и кинематику двигателя и определять механические потери в узлах трения;

- наблюдать параметры в зависимости от времени и пространственной координаты, в т.ч. и такие параметры, которые принципиально невозможно определять экспериментально.

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;

- 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. Зависимости основных контролируемых параметров от времени показаны на рис. 2.

Моделирование велось методом установления, т.е. имитировался выход дизель-

молота на установившийся режим при фиксированных начальных и граничных условиях.

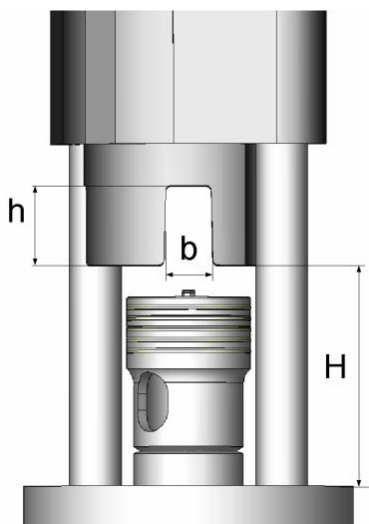


Рис.1. Расчетная схема штангового дизель-молота

Если значение заранее выбранного контролируемого параметра (рис. 3 и 4.), 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.

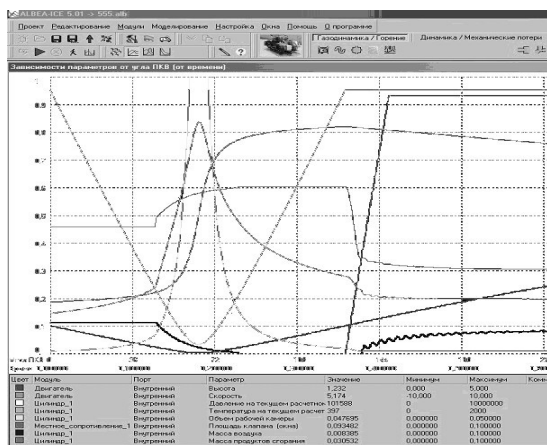


Рис. 2. Зависимости основных контролируемых параметров от времени

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».

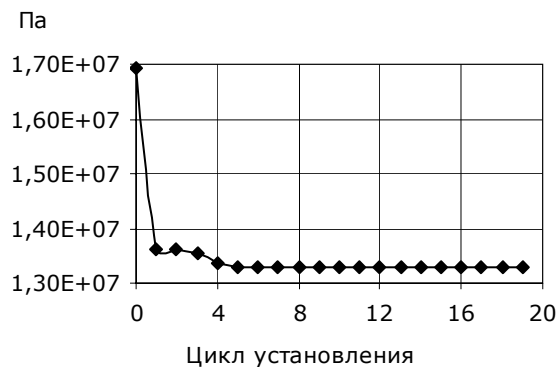


Рис. 3. Установление максимального давления цикла

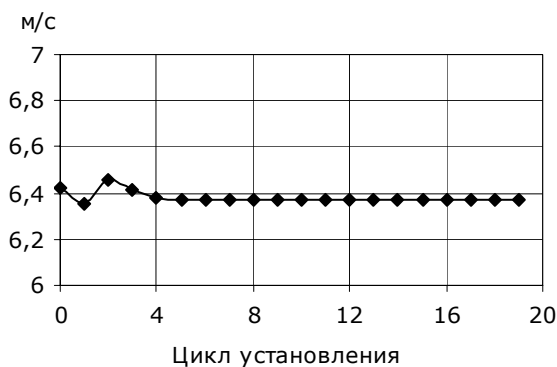


Рис. 4. Установление скорости вылета цилиндра

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, которая движется в направлении дна цилиндра, отражается от него также волной разрежения, возвращающейся к открытой части цилиндра и способствующей подсасыванию определенного количества воздуха в цилиндр.

При определении реального и максимального коэффициентов наполнения учиты-

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШТАНГОВОГО ДИЗЕЛЬ-МОЛОТА

вались 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.

Точке с высотой 2,2 м соответствует коэффициент удержания воздуха 0,2 (рис. 5), а соответствующий ему коэффициент наполнения 0,17 (рис. 6) 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.

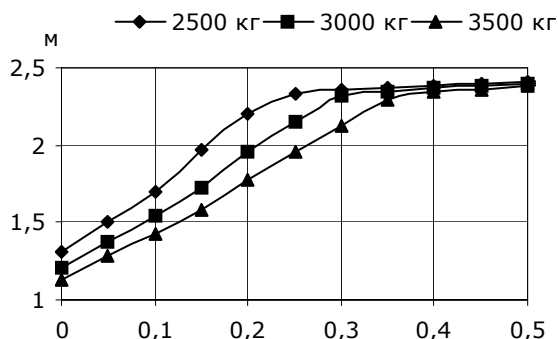


Рис. 5. Зависимость высоты подъема от коэффициента удержания воздуха при различной массе цилиндра

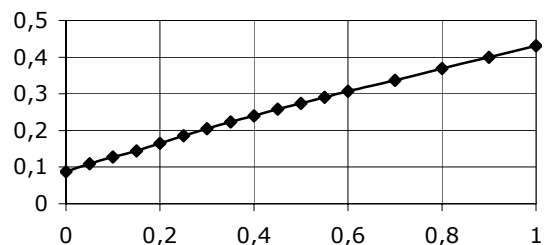


Рис. 6. Зависимость коэффициента наполнения от коэффициента удержания воздуха

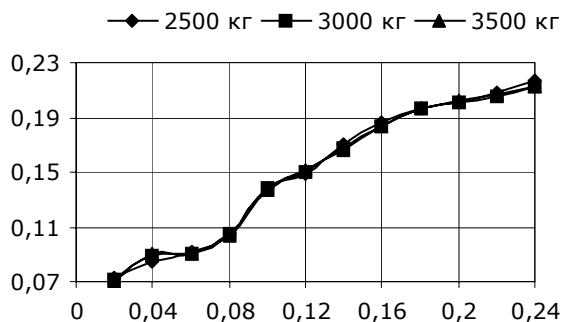


Рис. 7. Зависимость коэффициента наполнения от ширины «окна» и массы цилиндра

На рис. 7. 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. 8.)

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.

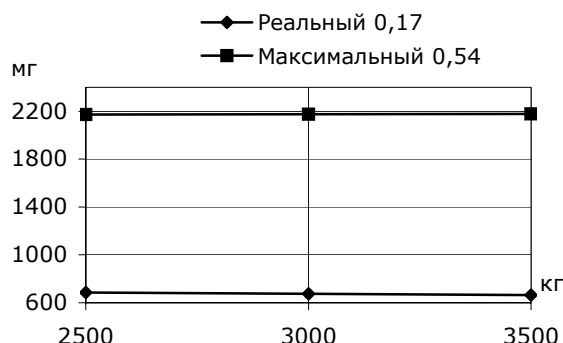


Рис. 8. Зависимость массы топлива, участвующей в рабочем процессе от реального и максимального коэффициентов заполнения и массы цилиндра

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 заполнения 0,17 расчетные результаты для цилиндров массой 3000 кг и 3500 кг хорошо согласуются с эксперимен-

тальными данными, полученными при использовании модифицированной форсунки.

Таблица

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 заполнения, 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 заполнения 0,54.

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

4. Коэффициент заполнения 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 свая 5 м/с.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Система имитационного моделирования «Альбея» (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста: Учебное пособие // В.Г. Горбачев, С.А. Загайко, Н.В. Рудая и др. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 1995. – 112 с.
2. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания в интерактивной системе имитационного моделирования «Альбея» / И.С. Губайдуллин, С.А. Загайко, Н.В. Рудая и др. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 1997. – 43 с.
3. Загайко С.А. Моделирование механических потерь ДВС в системе имитационного моделирования «Альбея». – Уфа: Изд-во УГАТУ, 1996. – 74 с.
4. Рудой И.Б. Моделирование гидродинамических процессов в системе имитационного моделирования «Альбея». – Уфа: Изд-во УГАТУ, 1998. – 28 с.