

- двигателя перекачивающегося типа // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2014. – № 3(130). – С. 44-47.
3. Сергеев А.И., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Способ получения плоского поступательно-го движения колёсного двигателя перекачивающегося типа. Патент России №2465153. Опубликовано 27.10.2012. Бюл. №30.
 4. Сергеев А.С., Шарипов В.М. Транспортное средство. Патент России №2245259. Опубликовано 27.01.2005. Бюл. №3.
 5. Сергеев А.И., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Колёсный двигатель перекачивающегося типа. Патент России №2467890. Опубликовано 27.11.2012. Бюл. №33.

Влияние скорости срабатывания входного устройства на структуру течения в исполнительном пневмоцилиндре

Алексеев Д.П., Чулюнин А.Ю., д.т.н. проф. Шейпак А.А.
ФБГОУ ВПО МГИУ

alekseev210@gmail.com, chulyu-n@mail.ru, sheypak.anatoly@yandex.ru

Аннотация. В работе проводится исследование газодинамических процессов в пневмоцилиндре двустороннего действия на основе методов вычислительной гидродинамики. Для описания движения газа используются трехмерные уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу. Изучается развитие во времени ударно-волновой структуры в поршневой полости пневмоцилиндра. Проводится оценка влияния скорости нарастания давления на ударно-волновую структуру течения и характеристики пневмоцилиндра.

Ключевые слова: пневмоцилиндр, уравнения Навье-Стокса, вычислительная гидродинамика

Введение

Пневматические приводы занимают ведущие позиции на предприятиях для автоматизации промышленных процессов и производственных циклов. Пневмосистемы распространены в автомобильной промышленности, в самолетостроении, в космонавтике, нефтяной, газовой и пищевой отраслях, где они применяются для автоматизации сборочных работ, для управления аварийными системами.

Каждый разработчик пневмодвигателей стремится увеличить быстродействие своих машин, так как это повышает их производительность. Также существенное значение имеет обеспечение износостойкости элементов пневмосистемы, особенно рабочего звена — пневмоцилиндра. Как известно, на износостойкость элементов большое влияние оказывают пульсации давления в их проточных областях. На производительность и износостойкость пневмоцилиндра могут оказывать влияние и ударные волны, способные формироваться в его полостях. Такие проблемы непосредственно связаны с разработкой методов динамического исследования машин и выбора их оптимальных параметров и структуры. К таким методам, безусловно, относятся широко распространенные в наше время и динамично развивающиеся вычислительные методы на основе исторически сложившего моделирования поршня в одномерной постановке [1, 4].

В работе [2] приводятся методы математического моделирования рабочих процессов в пневматических системах, предоставляются методики расчета основных параметров пневмоприводов, при которых обеспечивается максимальное быстродействие пневматических систем. Математическая модель трехцилиндрового пневмодвигателя, которая позволяет вычислять динамические особенности движения поршня и газовые параметры с помощью программного обеспечения MATLAB-SIMULINK, представлена в [3]. Предложенный автором подход позволяет вычислять широкий набор термодинамических и эксплуатационных параметров для различных пневмоцилиндров.

Описанные в указанных работах одномерные методики расчета не учитывают период

установления течения в полостях пневмоцилиндра, когда в них имеют место переходные процессы, в предельном случае с наличием ударных волн.

В представленной работе на основе трехмерного компьютерного моделирования изучается ударно-волновая структура в поршневой полости цилиндра и ее взаимодействие с поршнем. Расчеты проводятся как с использованием допущения о мгновенной подаче сжатого воздуха в пневмоцилиндр, что соответствует идеальному случаю срабатывания запорного элемента на входе в подводящий патрубок цилиндра, так и при различной скорости нарастания давления на входе в поршневую полость пневмоцилиндра.

Целью работы является исследование влияния ударно-волновой структуры течения, наблюдающейся в поршневой полости с момента подачи сжатого воздуха и до момента установления стационарной картины течения в данной полости, на динамические характеристики пневмоцилиндра двустороннего действия и, как следствие, оценка правомерности использования квазистационарного одномерного приближения для получения динамических характеристик.

Компьютерная модель

Для проведения моделирования был выбран пневмоцилиндр фирмы Festo, параметры которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр поршня, D, мм	20
Рабочий ход поршня, L, мм	100
Длина поршня, мм	10
Масса поршня, m, кг	0,2
Диаметры подводящего и отводящего каналов, d, мм	1,5

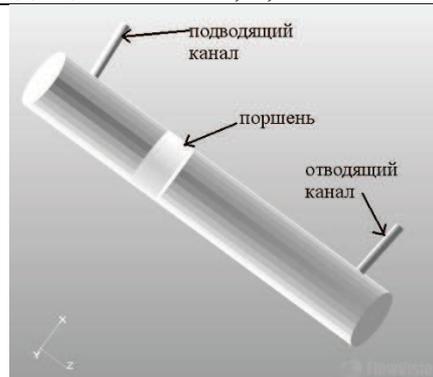


Рисунок 1. Геометрическая модель пневмоцилиндра

При создании математической модели были приняты допущения о трехмерном, турбулентном характере движения рабочего тела, в качестве которого рассматривается вязкий совершенный газ (воздух). Учитывая приведенные допущения, система уравнений, описывающая течение воздуха в полостях пневмоцилиндра, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j u_i - \tau_{ij} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i},$$

где: x_i – декартовы координаты ($i=1,2,3$); u_i, u_j – компоненты абсолютной скорости течения жидкости в направлении x_i, x_j ; τ_{ij} – компоненты тензора напряжений, который для нашей задачи имеет вид:

$$\tau_{ij} = 2\mu s_{ij} - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j}, \tag{2}$$

где: δ_{ij} – символ Кронекера, s_{ij} – тензор скоростей деформации.

Для определения тензора напряжений Рейнольдса $\overline{\rho u' u'}$ использовалась двухпараметрическая стандартная $k-\varepsilon$ модель турбулентности [5]. Замыкание системы уравнений (1) и (2) производилось с помощью граничных условий, представленных в таблице 2.

Таблица 2.

Граничные условия

	Мгновенная скорость нарастания давления	Нарастание давления за $t=0.005$ с	Нарастание давления за $t=0.01$ с
Подводящий канал	$p=350000$ Па (избыточное)	$p = 90000000 t$	$p = 45000000 t$
Отводящий канал	$p=0$ Па (избыточное)	$p=0$ Па (избыточное)	$p=0$ Па (избыточное)
Твердые стенки	$\vec{V} = 0$	$\vec{V} = 0$	$\vec{V} = 0$

В качестве начальных условий во всей расчетной области использовались следующие соотношения: $V_x = V_y = V_z = 0$ м/с, $p = 0$ атм (избыточное).

Расчет описанной выше математической модели осуществлялся с помощью метода контрольного объема, являющегося математической основой программного комплекса FlowVision [6]. Для разбиения тела на контрольные объемы использовался гексогональный тип ячеек, общее количество которых составило 2.5 млн элементов. Вычисления проводились на ограниченных вычислительных мощностях уровня Pentium Core i5, 3 GHz, 8Gb RAM, NVIDIA GT 640.

Результаты расчета

Ударно-волновая картина в поршневой полости пневмоцилиндра при мгновенном нарастании давления представлена на рисунке 2. Ударная волна поступает в поршневую полость пневмоцилиндра и после отражения от стенки постепенно рассеивается. С течением времени в поршневой полости давление выравнивается. Время установления давления в поршневой полости составляет $2.5 \cdot 10^{-3}$ с. В течение этого периода времени поршень остается неподвижным.

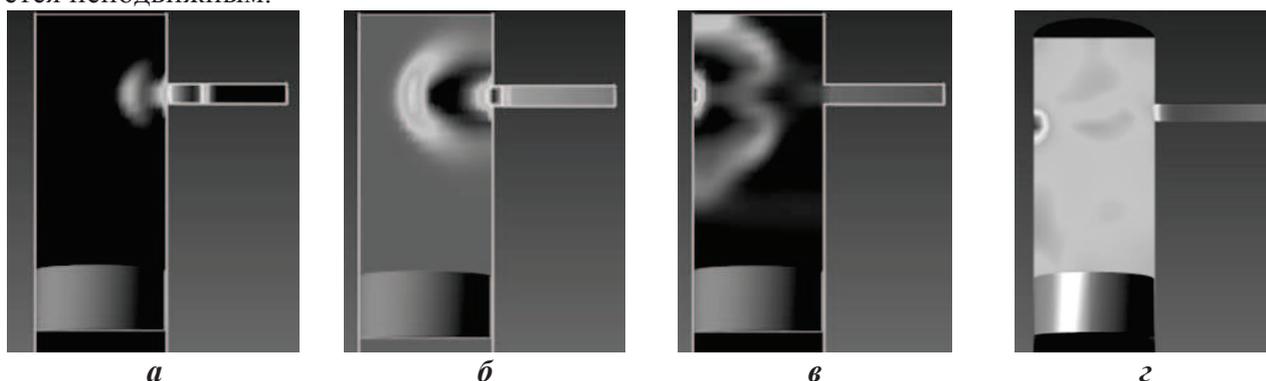


Рисунок 2. Ударно-волновая структура в поршневой полости пневмоцилиндра в разные моменты времени: а – $t=3.5 \cdot 10^{-5}$ с, б – $t=4.6 \cdot 10^{-5}$ с, в – $t=8 \cdot 10^{-5}$ с, г – $t=2 \cdot 10^{-3}$ с

На рисунке 3 представлено поле давлений в поршневой полости пневмоцилиндра при нарастании давления до 350000 Па за 0.01 с.

Время установления давления в поршневой полости составляет $5 \cdot 10^{-3}$ с. В течение этого периода времени поршень остается неподвижным. Из рисунков видно, что при фиксированной скорости нарастания давления в отличие от мгновенного нарастания ударной волны не образуется, давление постепенно и равномерно повышается в поршневой полости. Необ-

ходимо отметить, что ударно-волновая картина в случае мгновенного нарастания давления развивается и гасится за время 0.002 с. В случае с фиксированной скоростью нарастания давления за это время газ только начинает поступать из патрубка в поршневую полость.

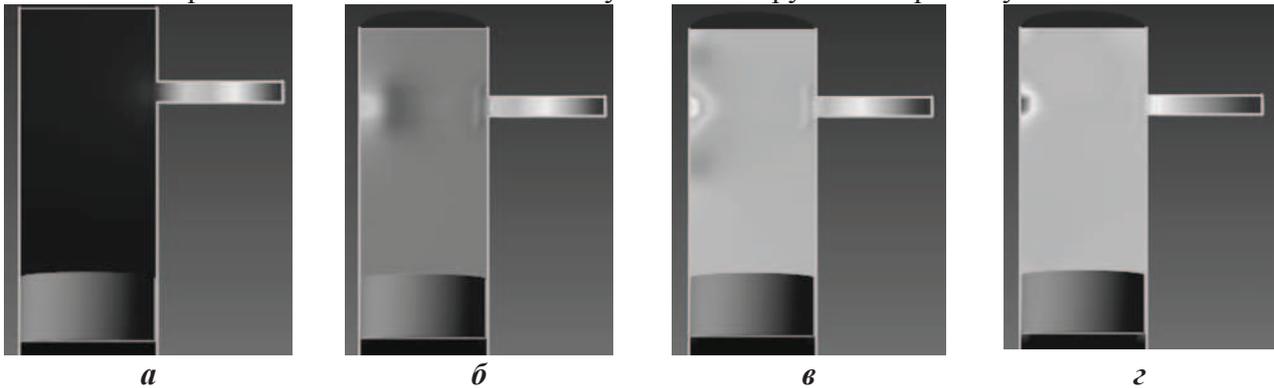


Рисунок 3. Поле давлений в поршневой полости пневмоцилиндра в различные моменты времени: *a* – $t = 2 \cdot 10^{-4}$ с, *б* – $t = 6 \cdot 10^{-4}$ с, *в* – $t = 9 \cdot 10^{-4}$ с, *г* – $t = 1.8 \cdot 10^{-3}$ с

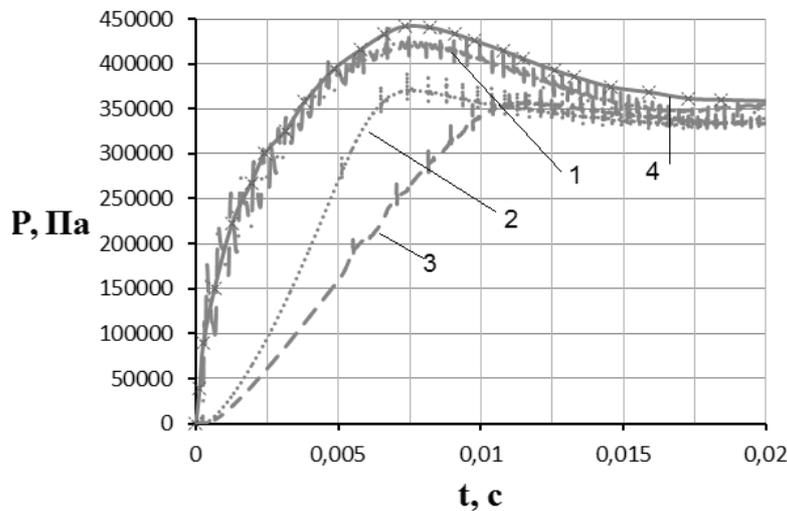


Рисунок 4. Изменение давления в поршневой полости пневмоцилиндра: 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 0.005$ с; 3 – $t = 0.01$ с; 4 – аналитическое решение

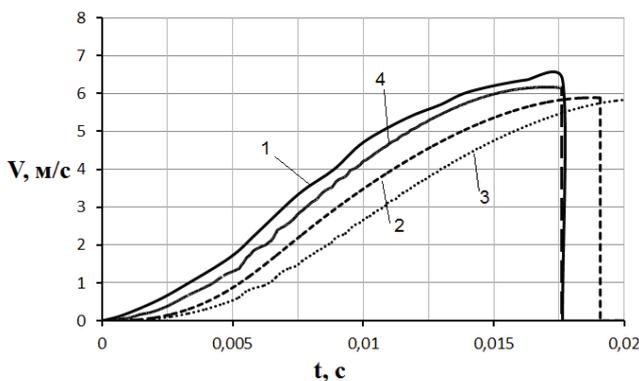


Рисунок 5. Изменение скорости перемещения поршня: 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 0.005$ с; 3 – $t = 0.01$ с; 4 – аналитическое решение

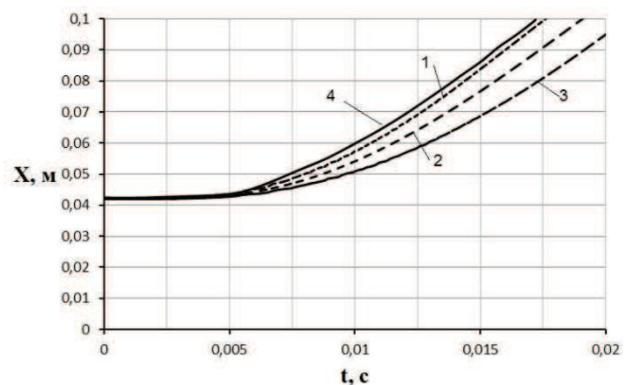


Рисунок 6. Характер перемещения поршня: 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 0.005$ с; 3 – $t = 0.01$ с; 4 – аналитическое решение

На рисунках 4, 5 и 6 представлены характеристики пневмоцилиндра, рассчитанные с помощью компьютерного моделирования при разных скоростях нарастания давления, а также посчитанные с помощью одномерной теории для мгновенной скорости нарастания давления согласно [2]. Качественное и количественное совпадение расчетных зависимостей позволяет сделать вывод о незначительном влиянии структуры течения в поршневой полости на характеристики пневмоцилиндра. Отметим, что на графиках давления присутствуют осцил-

ляции, наличие которых можно объяснить используемой разностной схемой второго порядка точности [6].

Заключение

Результаты компьютерного моделирования работы пневмоцилиндра фирмы Festo в программном комплексе FlowVision позволяют провести оценку периода установления давления в полости пневмоцилиндра. Показано, что движение поршня вследствие взаимодействия с ударной волной не происходит. Отсутствие влияния переходных процессов в поршневой полости цилиндра на движение поршня позволяет сделать вывод о том, что для моделирования рабочего процесса в полости пневмоцилиндра целесообразно использовать одномерные методики расчета пневмосистем, а для оценки износостойкости необходимо учитывать движение ударных волн.

Литература

1. Герц Е.В. Расчет пневмоприводов / Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
2. Донской А.С. Математическое моделирование процессов в пневматических приводах: Учеб. Пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 121 с.
3. Muzaffar A. Computer simulation of pneumatic engine operation, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 5, July - 2012, ISSN: 2278-0181.
4. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. В 2-х частях. Ч.2: Гидравлические машины и гидропневмопривод: Учебник / Под ред. А.А. Шейпака. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2007. – 352 с.
5. Моделирование турбулентных течений: Учебное пособие / И.А. Белов, С.А. Исаев. Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2001. 108 с.
6. Adrian S. Sabau, Peter E. Raad Oscillations in high-order finite difference solutions of stiff problems on non-uniform grids International Journal for Numerical Methods in Fluids Volume 30, Issue 8, pages 939–956, 30 August 1999.

Эксплуатационные испытания систем электростартерного пуска с емкостными накопителями энергии на автомобилях

Шматков Ю.М., Климов Д.С.
Университет машиностроения,
(495) 223-05-23, доб. 1574

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований системы электростартерного пуска с аккумуляторными батареями и емкостными накопителями энергии различных типов для двух типов грузовых автомобилей при различных температурах. Проведена оценка эффективности систем электростартерного пуска при использовании накопителей энергии в условиях низких температур.

Ключевые слова: система электростартерного пуска, емкостный накопитель энергии, аккумуляторная батарея, двигатель внутреннего сгорания.

В связи с наличием определенных недостатков у стартерных свинцовых аккумуляторных батарей (АБ) [1 – 4] проявляется интерес к использованию в системах электростартерного пуска (СЭП) альтернативных источников энергии, в частности емкостных накопителей энергии (НЭ). Впервые СЭП с НЭ, которые в ряде случаев могут заменить или комбинироваться с традиционной СЭП с АБ, были предложены специалистами Университета машиностроения (МАМИ) и ФГУП НИИАЭ [2, 3].

Применение в СЭП с НЭ позволяет снизить емкость АБ, их размеры, массу и стоимость. СЭП с НЭ могут обеспечить пуск двигателя при значительной степени разряженности АБ, что повышает эксплуатационную надежность автомобиля, особенно в условиях низких