

УДК 629.7.085

В.Ф. Греков, А.Б. Куренко, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

НАЗЕМНОЕ ПУСКОВОЕ УСТРОЙСТВО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПНЕВМОПРИВОДОМ

Статья посвящена выбору конструкции пневмоцилиндра, эффективно использующего энергию сжатого газа. Представленный математический аппарат, позволяет оценивать параметры катапульты с пневмоприводом, которая обеспечивает необходимую скорость взлета беспилотного летательного аппарата при ограничениях на продольные перегрузки, определять необходимые параметры пневмоцилиндра и производить оптимизацию конструкции катапульты. Приведенный подход к выбору конструкции и теоретическому определению параметров катапульты с приводом в виде многоступенчатого пневмоцилиндра может быть использован при проектировании беспилотных летательных комплексов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, пневмоцилиндр, катапульта.

Введение

Для запуска летательных аппаратов применяются катапульты с приводами конструктивно-компоновочные схемы, которых содержат различные источники энергии – приводы с инерционными накопителями энергии, одноступенчатые пневмоцилиндры с обратными полиспадами или ножничными механизмами, а так же многоступенчатые пневматические цилиндры.

Статья содержит некоторые результаты исследований пусковых устройств беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), состав и устройство, которых определяется применением многоступенчатого пневмоцилиндра.

Анализ литературы [4 – 7] показывает, что решение задач в данной постановке отсутствует.

Целью статьи является поиск конструкции пневмоцилиндра, эффективно использующего энергию сжатого газа и создание математического аппарата, позволяющего оценивать параметры катапульты с пневмоприводом, обеспечивающей необходимую скорость взлета БПЛА при ограничениях на продольные перегрузки.

Основная часть

Стартовая катапульта БПЛА служит для принудительного разгона БПЛА на взлете до скорости отрыва при допустимой максимальной перегрузке за счет энергии устройств, не принадлежащих БПЛА.

Катапульта должна быть автономной при пуске БПЛА, иметь простую конструкцию, малую массу и габариты в транспортном положении. Она должна быть удобной в обслуживании и боевом применении, быстро разворачиваться в стартовое положение и обеспечивать динамическую устойчивость при пуске БПЛА. Размещаться катапульта может на транспортном средстве или на прицепе необходимой проходимости и маневренности.

Катапульта с многоступенчатым пневмоцилиндром в качестве привода. Шток многоступенчатого пневмоцилиндра привода катапульты соединен с кареткой и при выдвигании перемещает ее с БПЛА вдоль направляющей.

Время выдвигания штока при запуске БПЛА составляет доли секунды. Необходимо эффективно использовать энергию сжатого газа не допуская его дросселирования при подаче в пневмоцилиндр. Предлагается накапливать сжатый газ в самом пневмоцилиндре. Реализовать данный подход возможно путем увеличения объема ступени, используя ее в качестве ресивера.

Схема направляющей катапульты с пневмоприводом приведена на рис. 1.

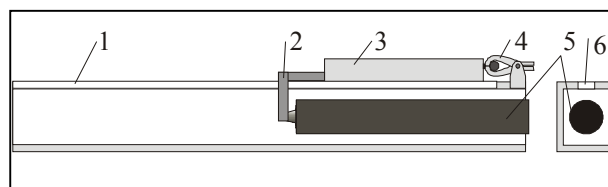


Рис. 1. Схема направляющей 1 – направляющая, 2 – узел крепления пневмоцилиндра к каретке, 3 – каретка, 4 – замок фиксации каретки, 5 – пневмоцилиндр, 6 – паз направляющей

При подаче сжатого воздуха давления в пневмоцилиндре растет. В момент достижения усилия определяющего максимально допустимую перегрузку на БЛА, замок фиксации отпускает каретку. Шток пневмоцилиндра разгоняет аккумулярованную энергию сжатого газа каретку с БЛА, обеспечивая ему заданную стартовую скорость на определенном пути разгона. Без предварительного аккумулярования энергии в пневмоцилиндре потребуются компрессор или внешний ресивер существенной мощности.

Схема трехступенчатого пневмоцилиндра представлена на рис. 2.

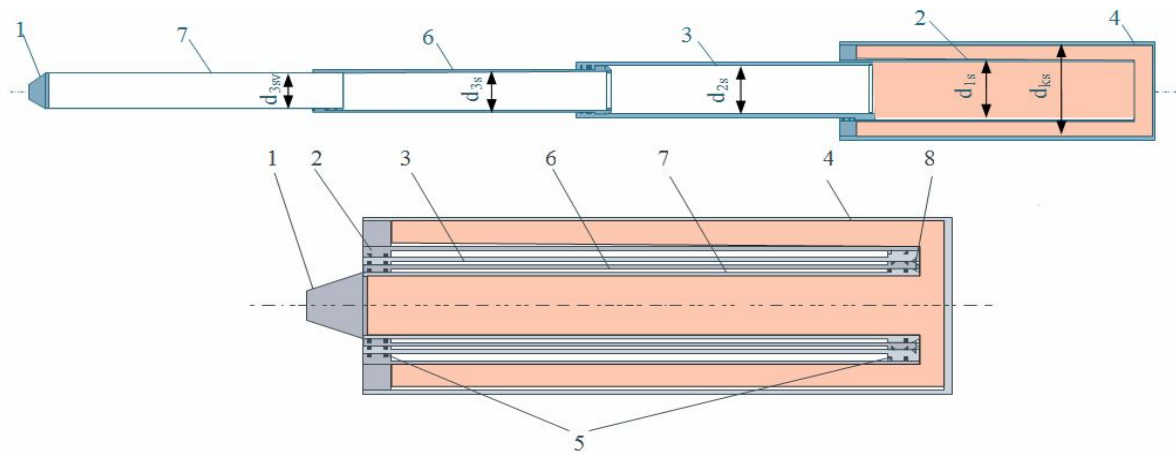


Рис. 2. Схема трехступенчатого пневмоцилиндра с ресивером 1 – узел крепления к каретке, 2 – корпус пневмоцилиндра, 3 – цилиндр первой ступени, 4 – ресивер, 5 – узлы уплотнения, 6 – цилиндр второй ступени, 7 – цилиндр третьей ступени, 8 – стопорное кольцо

При срабатывании узла крепления каретки начинается движение цилиндры 3, 6 и 7 первой ступени. Цилиндр 3 первой ступени останавливается на упорах корпуса. Цилиндры 6 и 7 продолжают выдвигание. Давление газа в пневмоцилиндре уменьшается. После остановки цилиндра 6 при дальнейшем уменьшении давления воздуха цилиндр третьей ступени 7 движется до упора цилиндра 6. Разгон каретки с БЛА закончен. При движении цилиндров воздух в межцилиндровом пространстве сжимается. Его дросселирование обеспечивает безударную остановку ступеней.

Возвращение каретки в исходное положение возможно путем подачи сжатого воздуха в межцилиндровое пространство и дросселирование воздуха из полости пневмоцилиндра.

Расчет катапульты с многоступенчатым пневмоцилиндром.

Допущения: процесс расширения воздуха при выдвигании ступеней пневмоцилиндра адиабатический, подача воздуха от компрессора (ресивера) в процессе движения ступеней пневмоцилиндра отсутствует, ступени имеют одинаковый ход.

Расчет параметров пневмоцилиндра.

Допущения: процесс расширения воздуха при выдвигании ступеней пневмоцилиндра адиабатический; подача воздуха от компрессора (внешнего ресивера) в процессе движения ступеней пневмоцилиндра отсутствует; ступени имеют одинаковый ход.

При расчетах использованы следующие исходные данные: масса БЛА и каретки приведенная к штоку пневмоцилиндра $m = 50$ кг; длина хода каретки $S = 3$ м; количество ступеней $n_s = 3$; внутренний диаметр корпуса ступени и $d_{ks} = 0,1$ м; внутренний диаметр корпуса цилиндра и диаметр цилиндра 1 ступени $d_{ks} = 0,1$ м; толщина стенки выдвигаемых цилиндров $\delta_1 = 0,004$ м; зазора между корпусом и стенками выдвигаемых цилиндров $\delta = 0,004$ м; длина выступа для уплотнений $\delta_2 = 0,05$ м; заданная начальная перегрузка массы $n_{max} = 5$; ускорение сво-

бодного падения $g = 9,81$ м/с²; коэффициент, учитывающий трение в пневмоцилиндре $\eta_1 = 0,8$; угол подъема направляющей, $\alpha = \pi/12$ рад;

– коэффициент трения каретки по направляющей $f_t = 0,01$; диаметр цилиндра ресивера, $d_r = 0,142$ м.

При составлении математической модели катапульты с пневматическим приводом использована литература [1 – 3].

Изменение площади поперечного сечения трехступенчатого пневмоцилиндра в процессе выдвигания приведено на рис. 3.

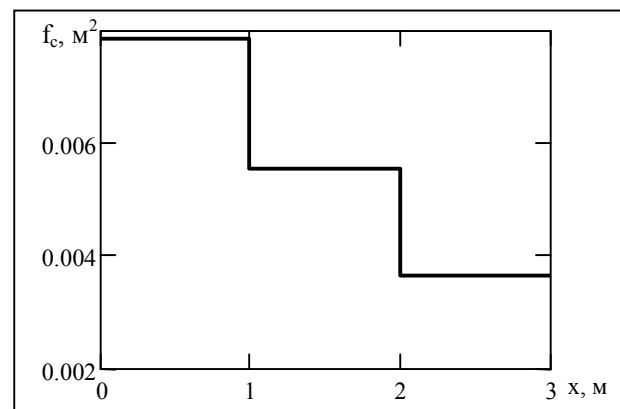


Рис. 3. Изменение площади поперечного сечения трехступенчатого пневмоцилиндра f_c (м²) от его хода x (м)

Изменение объема пневмоцилиндра при выдвигании последовательно всех трех ступеней приведено на рис. 4. Изменение полного объема трехступенчатого пневмоцилиндра W_c (м³) от его хода x (м) приведено на рис. 5.

Начальное давление в пневмоцилиндре выбирается из условия обеспечения допустимой перегрузки. Конечное давление в пневмоцилиндре обусловлено степенью расширения воздуха при выдвигании ступеней пневмоцилиндра. Изменение давления в пневмоцилиндре при адиабатическом расширении воздуха приведено на рис. 6.

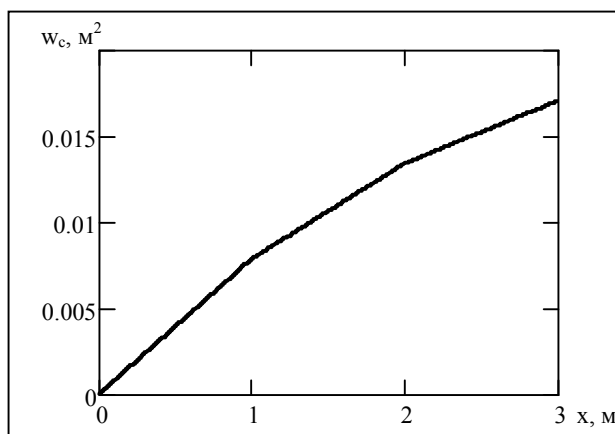


Рис. 4. Увеличение объема трехступенчатого пневмоцилиндра w_c (м²) от его хода x (м)

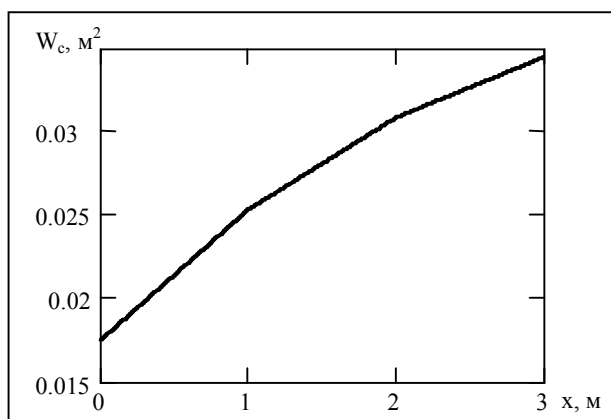


Рис. 5. Изменение полного объема трехступенчатого пневмоцилиндра W_c (м²) от его хода x (м)

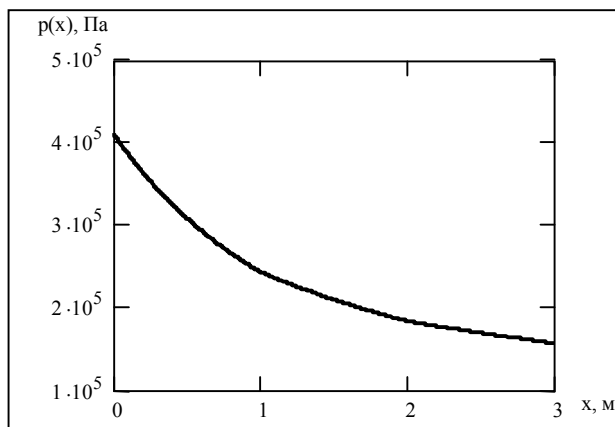


Рис. 6. Изменение давления в пневмоцилиндре от его хода x в метрах при адиабатическом расширении воздуха

Оценка скорости схода с катапульты. Дифференциальное уравнение движения каретки под действием трехступенчатого пневмоцилиндра

$$m \cdot \frac{d^2}{dt^2} x = p(x) \cdot f_c(x) - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha),$$

где m – масса, подвижных элементов катапульты, приведенная к пневмоцилиндру; x – путь каретки; $p(x) \cdot f_c(x)$ – толкающая сила пневмоцилиндра; $m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ – сила свеса; $f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)$ – сила трения каретки о направляющую; $p(x)$ – изменение давления в

пневмоцилиндре по пути его выдвижения; $f_c(x)$ – изменение площади ступеней пневмоцилиндра по пути его выдвижения; α – угол подъема направляющей; f_t – коэффициент трения каретки по направляющей.

Скорость движения каретки в зависимости от пройденного пути приведена на рис. 7.

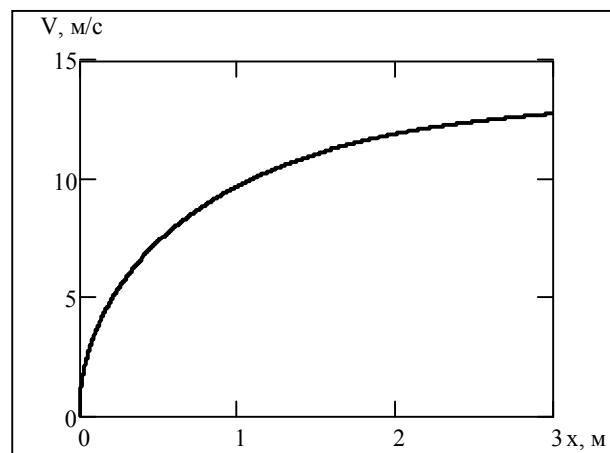


Рис. 7. Изменение скорости движения каретки $V(x)$ при движении по направляющей

Схема управления пневмоцилиндром представлена на рис. 8.

Пневматическая схема управления многоступенчатым пневмоцилиндром обеспечивает:

1 – выдвижение пневмоцилиндра. При этом двухпозиционный кран K_p устанавливается в положение I. Воздух от компрессора K через воздушный фильтр F поступает в поршневую полость пневмоцилиндра. Давление в пневмоцилиндре растет. Полости противодействия через шланги $Ш$ дроссель $Др$ соединяются с атмосферой. При достижении в пневмоцилиндре расчетного давления, определяемого допустимой перегрузкой, механизм фиксации каретки отпускает ее. Под действием давления пневмоцилиндр выдвигается, обеспечивая разгон каретки. В конце хода каждая ступень тормозится воздухом, истекающим из ступеней через дроссель в атмосферу. Усилие торможения определяется дросселем $ДР$.

2 – складывание пневмоцилиндра. При этом двухпозиционный кран K_p устанавливается в положение II. Воздух от компрессора K через воздушный фильтр F поступает в полости противодействия пневмоцилиндра через открытый обратный клапан $Ок$. Поршневая полость пневмоцилиндра через двухпозиционный кран соединяется с атмосферой. Пневмоцилиндр складывается. Каретка перемещается в исходное положение и фиксируется механизмом фиксации.

Выводы

Представлена конструктивно-компоновочная схема катапульты с многоступенчатым пневматическим цилиндром, которая позволяет обеспечить необходимые параметры пуска летательного аппарата.

1. С целью повышения компактности устройства пневматический цилиндр необходимо выполнять

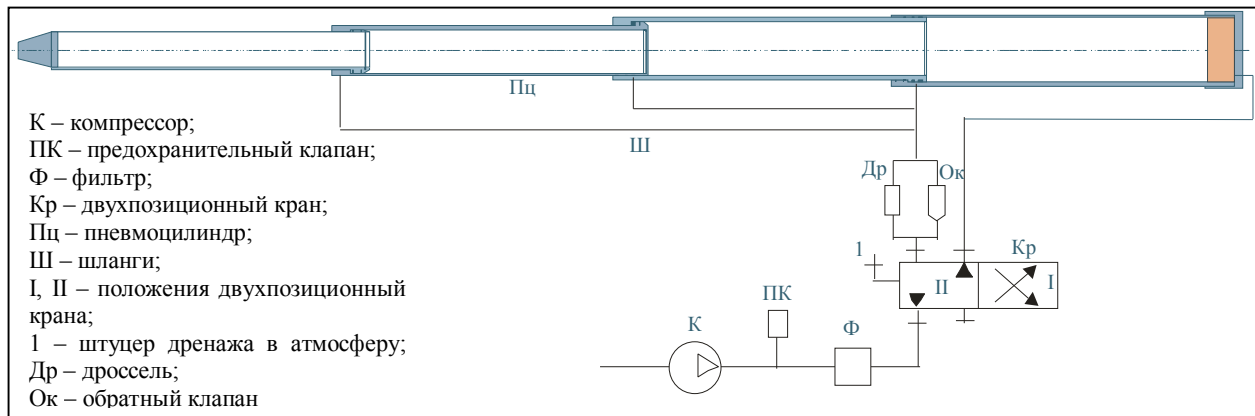


Рис. 8. Пневматическая схема

совместно с ресивером, в виде цилиндрической емкости коаксиальной с корпусом пневмоцилиндра.

2. Увеличение скорости каретки катапульты достигается увеличением начальной перегрузки и длины направляющей.

3. Начало движения каретки осуществляется путем отключения механизма фиксации в момент достижения максимально допустимой перегрузки.

4. Для создания давления в пневмоцилиндре возможно применять маломощный компрессор (например, автомобильный компрессор для накачки шин).

5. Приведение каретки в исходное положение производится путем подачи в камеры противодействия пневматического цилиндра воздуха и его дросселирования из камер прямого давления.

6. Безударная остановка ступеней осуществляется путем создания соответствующих параметров дросселирования воздуха из камер противодействия.

Список литературы

1. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. Под общей редакцией д-ра технических наук У.В. Герц. Москва «Машиностроение» 1981.
2. Мелик-Гайказов В.И., Подгорный Ю.П., Самусенко М.Ф., Фалалеев П.П. Гидропривод тяжелых грузоподъ-

емных и самоходных агрегатов. – М.: Машиностроение, 1968. – 264 с.

3. Баица Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств. – М.: Оборонгиз, 1961. – 476 с.

4. Авилов И.С. Оптимизация динамических характеристик пневматического пускового устройства беспилотного летательного аппарата / И.С. Авилов, В.А. Середа // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 6 (73). – С. 23-27.

5. Авилов И.С. Критериальные оценки энергетического совершенства пусковых устройств легких беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, А.В. Амброжевич, В.А. Середа // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 2 (38). – С. 15-19.

6. Середа В.А. Классификация законов распределения тягового усилия наземных пусковых установок беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, В.А. Середа // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 4 (71). – С. 63-66.

7. Амброжевич А.В. Комплексно-сопряженная модель катапульты с телескопическим приводом / А.В. Амброжевич, К.В. Мигалин, В.А. Середа // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*. – 2012. – Вып. 1 (39). – С. 61-69.

Поступила в редколлегию 27.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

НАЗЕМНА ПУСКОВА УСТАНОВКА БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З ПНЕВМОПРИВОДОМ

Ф.П. Греков, О.Б. Куренко, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

Стаття присвячена вибору конструкції пневмоцилиндру стисненого газу, що ефективно використовує його енергію. Створений математичний апарат дозволяє оцінювати параметри катапульты з пневмоприводом, який забезпечує необхідну швидкість зльоту БПЛА при обмеженнях на подовжні перевантаження, дозволяє визначити величини необхідних параметрів пневмоцилиндру та проводити оптимізацію конструкції катапульты. Наведений підхід до вибору конструкції і теоретичному визначенню параметрів катапульты з приводом у вигляді багатоступінчастого пневмоцилиндру може використовуватися при проектуванні безпілотних літальних комплексів.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, пневмоцилиндр, катапульты.

LAND LAUNCHING DEVICE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE WITH THE PNEUMATIC DRIVE

V.F. Grekov, A.B. Kurenko, A.A. Pjankov, Y.A. Tkachenko

The article investigates selection of construction of a power pneumatic cylinder that effectively uses power of compressed gas. The mathematical model was built for estimating of parameters of the pneumatic catapult which supply a necessary flight velocity to unmanned aerial vehicle with limitation on longitudinal overloading, for determination of the power pneumatic cylinder parameters and for performing an optimization of catapult parameters. Represented approach to selection task of the design and to theoretical determination of parameters of a catapult with multistage power pneumatic cylinder drive can be implemented for development of unmanned aerial complexes.

Keywords: a unmanned aerial vehicle, a power pneumatic cylinder, a catapult.