

СТАРТОВОЕ УСТРОЙСТВО С ТОРООБРАЗНЫМ СИЛОВЫМ ПРИВОДНЫМ МЕХАНИЗМОМ

Сысоев С.Н., Жулин С.В., Енюхин Е.С.

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир*

Ключевые слова: торовые технологии, эластичный механизм, стартовое устройство, торообразный привод, торообразная оболочка, спусковая система.

Аннотация. Перспективным направлением является применения торовых технологий, торообразных оболочек в составе силовой пусковых установок, предназначенных для запуска объектов широкого типоразмера и назначения, в том числе и беспилотных летательных аппаратов. Эластичные механизмы обладают существенными преимуществами по сравнению с классическими. Наиболее надежной и простой системой, осуществляющей приведение торообразной оболочки стартового устройства в положение разгона, является пневматическая спусковая система. Однако ее применение сопровождается негативным явлением возникновения давления разрежения в спусковой полости установки, что приводит к снижению скоростных характеристик стартового устройства. Частичное устранение данного недостатка осуществляется применением обратных клапанов в камере спускового механизма. Кроме этого, необходимость использования спусковой камеры, её герметизация, усложняет конструкцию стартового устройства. Предложено стартовое устройство с торообразной разгонной камерой и спусковым механизмом, приводящим устройство в положение разгона, выполненным в виде рукава из сетчатого материала, охватывающего наружную часть оболочки разгонной камеры, упрощающее конструкцию и повышающее его скоростные характеристики. Теоретическими и натурными исследованиями подтверждены работоспособность и эффективность функционирования стартового устройства.

STARTING DEVICE WITH TORUS-SHAPED POWER DRIVE MECHANISM

Sysoev S.N., Zhulin S.V., Enyukhin E.S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletov, Vladimir

Keywords: torus technology, elastic mechanism, starting device, toroid-shape drive, toroid-shape capsule, trigger system.

Abstract. A promising direction is the application of torus technologies, torus-shaped shells as part of power launchers designed to launch objects of a wide range of sizes and purposes, including unmanned aerial vehicles. Elastic mechanisms boast significant advantages over their classical counterparts. The most reliable and simplest system for bringing the toroidal shell of the launching device to the acceleration position is the pneumatic launching system. However, this use is accompanied by the negative phenomenon of rarefaction pressure in the trigger cavity of the system, which leads to a decrease in the speed characteristics of the launching device. Partial elimination of this disadvantage is carried out by the use of check valves in the chamber of the trigger mechanism. In addition, the need to use the trigger chamber, its sealing, complicates the design of the launching device. A launching device with a torus-shaped acceleration chamber and a trigger mechanism bringing the device to the acceleration position, made in the form of a sleeve of mesh material covering the outer part of the shell of the acceleration chamber, simplifying the design and increasing its speed characteristics, is proposed. Theoretical and field studies have confirmed the operability and efficiency of the starting device.

Введение

Идея заменять классические механизмы гибкими эластичными тороидальными оболочками, имеющими ряд преимуществ [1], активно обсуждалась в научном сообществе в начале 60-х годов прошлого века, однако известно, что в этот период времени они не нашли широкого распространения в промышленности в виду низкого уровня развитости сферы производства эластомерных конструкционных материалов [2], но на сегодняшний день данная проблема решена на фоне высокого спроса, создаваемого авиакосмической промышленностью [3], что создает пространство для дальнейшего развития торовых технологий, эластичной механики и приводов оболочкового типа [4, 5].

Перспективным направлением применения торообразных оболочек в составе силовой пусковых установок, предназначенных для запуска объектов широкого типоразмера и назначения, в том числе и беспилотных летательных аппаратов. Отличительными преимуществами стартовых устройств с торообразным силовым приводом относительно пневматических [6], пороховых [7], электромеханических являются: бесшумность работы и простота конструкции. А относительно катапульт с резиновым стартом [8], преимуществом является отсутствие необходимости использования фиксирующих устройств для отложенного запуска после приведения установки в рабочее состояние, поскольку торообразная камера обеспечивает равновесие сил в исходном положении (рис. 1).

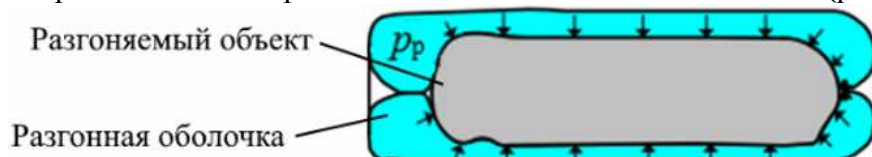


Рис. 1. Схема положения запускаемого объекта относительно оболочки

В исходном положении в оболочке создают рабочее давление p_p , при этом со всех сторон на запускаемый объект действует одинаковая сила, зависящая от давления p_p , таким образом применение торообразных камер в качестве силовой части пусковых установок позволяет аккумулировать механическую энергию без необходимости ее сдерживать.

Наиболее эффективно применение стартового устройства с пневматической спусковой системой [9], особенностью применения которой является то, что приведение в работу большого тягового усилия, создаваемого торообразной камерой, осуществляется относительно низким силовым воздействием от давления воздуха.

Однако недостатком пневматической системы спуска является возникновение вакуума в полости стартового устройства, недостаток устраняется применением обратного клапана, соединяющего полость стартового устройства с атмосферой [10], но при повышении габаритных размеров стартового устройства все тяжелее скомпенсировать падение давления данным способом.

Поэтому в целях повышения эффективности работы стартового устройства предложено изменить конструкцию спусковой системы.

Материалы и методы исследования

Целью работы является повышение скоростных характеристик стартового устройства с торообразным силовым приводом.

Объектом исследования является спусковая система стартового устройства.

Предметом исследования являются скоростные параметры стартового устройства в зависимости от применяемой спусковой системы.

Схема работы стартового устройства с предлагаемым спусковым механизмом представлена на рисунке 2.

Устройство (рис. 2, а) состоит из корпуса 1, в котором закреплена торообразная нерастяжимая оболочка 2, функция которой заключается в разгоне запускаемого объекта 3, образующая герметичную камеру, соединенную с источником пневмопитания. Спусковой механизм представляет собой рукав, изготовленный в виде сетки 4, установленной в корпусе с возможностью охватывания наружной поверхности торообразной разгонной камеры. Сетка со стороны, противоположной направлению запуска объекта, соединена с валом привода вращения 5. В исходном положении оболочка охватывает запускаемый объект, оказывая на него одинаковое силовое воздействие от давления p_1 со всех сторон.

По сигналу на запуск объекта привод вращения приводят в рабочее состояние (рис. 2, б), что вызывает скручивание сетки по оси; за счет скручивания сетки, возникает силовое воздействия $F_{рук}$, при этом торцевая часть оболочки сжимается, что приводит к выворачиванию оболочки в сторону запуска.

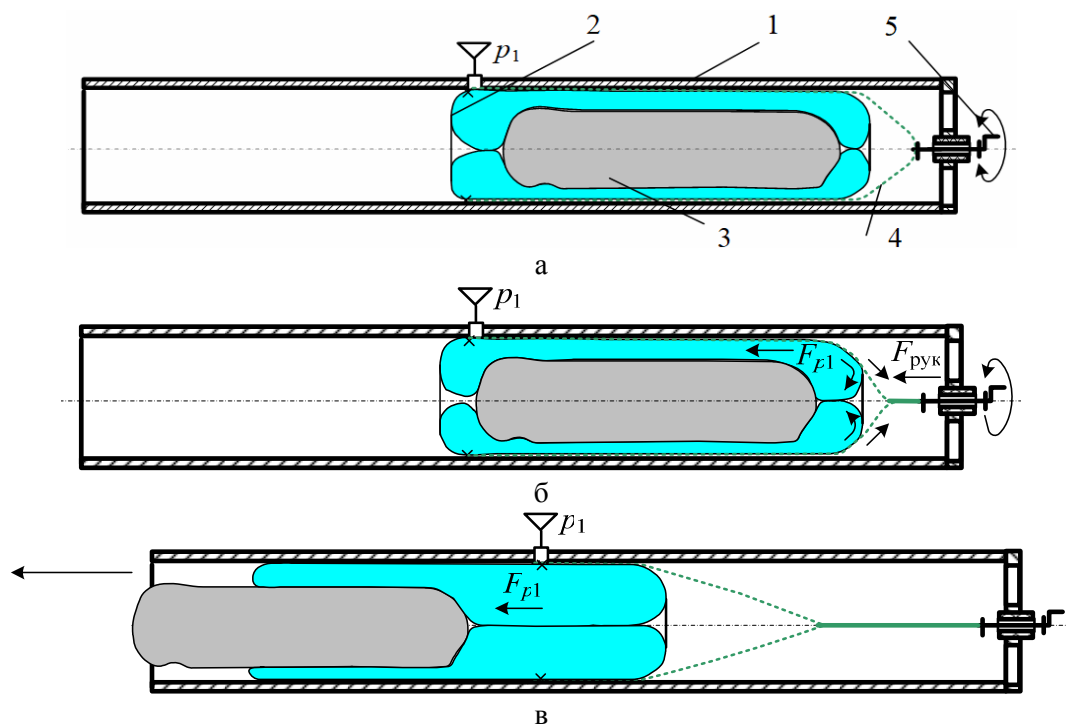


Рис. 2. Этапы работы стартового устройства с предлагаемым спусковым механизмом:
а) исходное положение; б) стартовое положение; в) разгон

Перемещение запускаемого объекта в процессе работы спускового механизма приводит к началу его выхода из торообразной камеры (рис. 2, в), силовое равновесие нарушается, вследствие чего силой F_{p1} осуществляется разгон объекта.

На рисунке 3 приводятся кадры, полученные в результате видеосъемки процесса работы с описанной системой спуска.

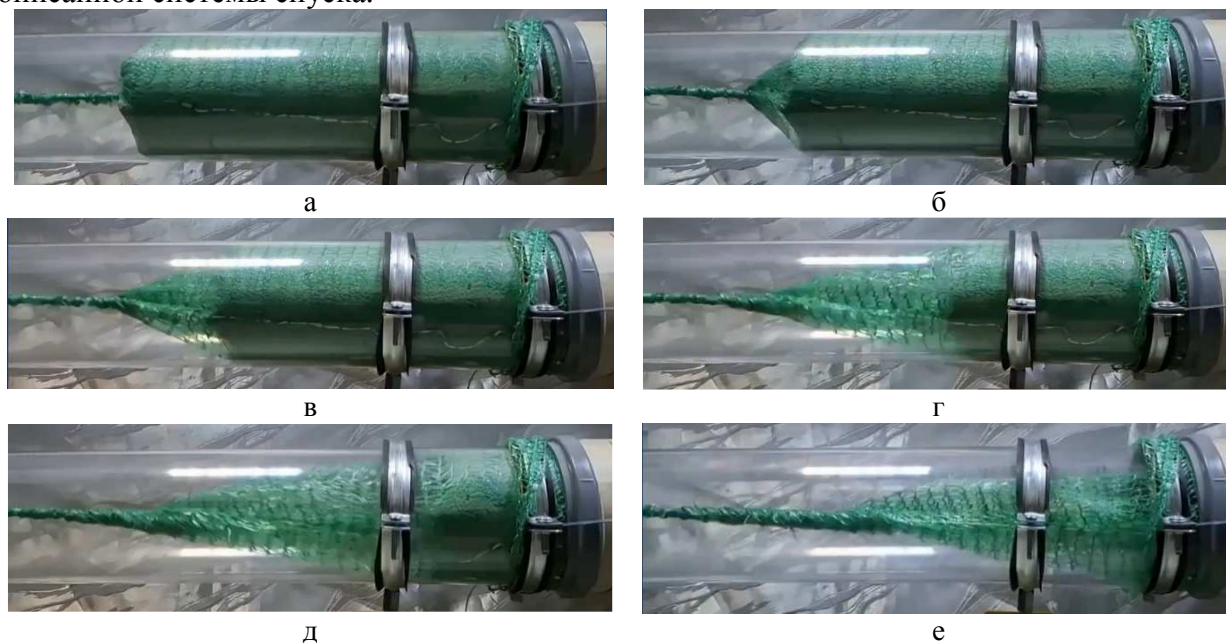


Рис. 3. Этапы работы спускового механизма: а – кадр движения оболочки в процессе скручивания сетки; б, в, г, д, е – кадры движения оболочки под действием разгонной силы

Запуск объекта осуществляется за счет скручивания сетки, обжимающей наружную поверхность торообразной оболочки, вследствие чего оболочка выворачивается в направлении запуска (рис. 3, а). В момент увеличения эффективной площади торообразной камеры начинается процесс разгона, и движение оболочки (рис. 3, б-е) осуществляется за счет тягового усилия, создаваемого торообразной камерой, а не за счет работы спусковой системы.

Исследования проводились на лабораторной установке, имитирующей работу стартового устройства (рис. 4), с торообразной разгонной камерой, выполненной из рукава, изготовленного из капроновой ткани с двухсторонним резиновым покрытием БЦК диаметром 0,11 м.



Рис. 4. Лабораторная установка, вид общий

Лабораторный стенд выполнен с возможностью замены спускового механизма, что позволяет исследовать работу различных спусковых систем. Начальная скорость объекта, разогнанного стартовым устройством, определялась бесконтактным способом с помощью оптического датчика барьерного типа, при этом измерялся интервал времени, в течение которого объект прерывал создаваемый датчиком световой поток.

Целью проведения натурных экспериментов являлось получение графиков зависимости начальной скорости объекта от давления, созданного в разгонной торообразной камере, в зависимости от применяемого спускового механизма для выявления уровня эффективности предлагаемого технического решения

Результаты

На рисунке 5 приводится график зависимости начальной скорости V_n запускаемого объекта от давления в разгонной камере p_p . Исследовалась работа предлагаемой новой системы спуска и пневматического спускового механизма.

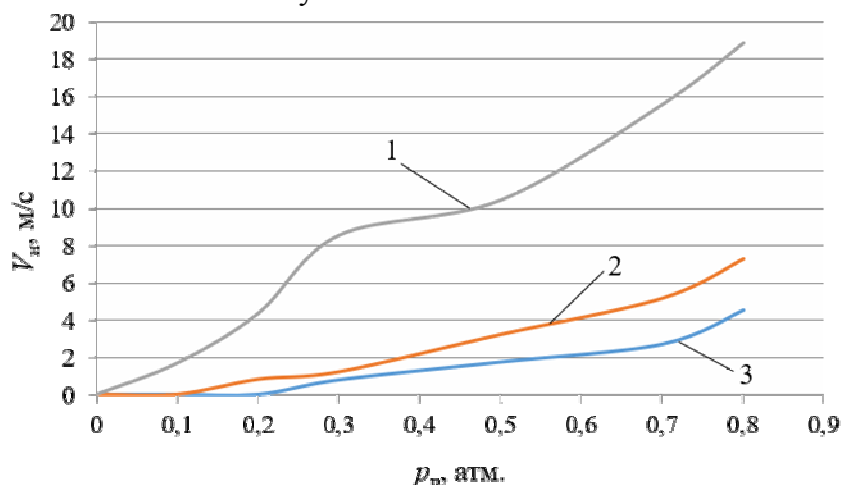


Рис. 5. График зависимости V_n от p_p

Кривые 1, 2, 3 иллюстрируют зависимости V_n от p_p для цилиндрического объекта массой 0,145 кг длиной 0,38 м и диаметром 0,055 м в зависимости от применяемого спускового механизма при одинаковом объеме пусковой части стартового устройства – 0,0011 м³.

Кривая 1 – результаты исследования работы нового разработанного спускового механизма, основным элементом которого является сетка, обжимающая внешнюю

поверхность торообразной камеры. Кривая 2 – результаты исследования работы пневматического спускового механизма (обратный клапан, понижающий вакуум, с двумя проходными отверстиями Ду 15). Кривая 3 – результаты исследования работы пневматического спускового механизма (обратный клапан отсутствует).

Из полученных зависимостей видно, что применении нового спускового механизма, обеспечивает более высокую скорость запускаемого объекта (в среднем скорость выше в 2...3 раза).

Выводы

Таким образом, предложенная спусковая система обладает существенными преимуществами перед пневматической.

Разработанный спусковой механизм устраняет вероятность возникновения давления разрежения, существенно влияющего на скоростные параметры стартового устройства.

Заключение

Выявлены преимущества использования в качестве силовой части катапульта и пусковых установок торообразной герметичной камеры.

В виду того, что трудно создать условия для эффективной работы пневматического спускового механизма, была разработана спусковая система, которая не требует герметизации, упрощает конструкцию стартового устройства, а также повышает его скоростные характеристики.

Параметрические исследования стартового устройства с предложенным спусковым механизмом подтвердили его работоспособность и превосходство над пневматической системой запуска.

Список литературы

1. Шишкин В.В., Скориков С.В., Брацихин А.А. Торевые технологии: монография. – Ставрополь: СКФУ, 2014. – 347 с.
2. Шихирин В.Н. Торевые технологии – основа эластичной механики // Сборник материалов 1-й Международной научно-практической конференции «Торевые технологии». – Иркутск: ИрГТУ, 2004. – С. 22-48.
3. Чайкун А.М., Сергеев А.В. Правада Е.С. Эластомерно-тканевые материалы для изделий специальной техники (обзор) // Труды ВИАМ. – 2023. – №6(124). – С. 25-37.
4. Патент №77245 РФ. Привод тороидного движителя / В.И. Котляренко, Р.В. Максименко. – Заявка №2008116456 от 29.04.2008; опубл. 20.10.2008, Бюл. №29.
5. Нгуен В.Х. Обеспечение непрерывности процесса десорбции на основе использования дозаторов с торевым приводом: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2015. – 20 с.
6. Патент №2813138 РФ. Пневматическая катапульта для взлета летательного аппарата и способ взлета летательного аппарата с пневматической катапультой / Н.А. Горчаков. – Заявка №2023130444 от 21.11.2023; опубл. 06.02.2024, Бюл. №4.
7. Патент №2617096 РФ. Пусковая установка для запуска беспилотного летательного аппарата / В.А. Нилов, М.Е. Лапо, А.Е. Сотников. – Заявка №2015149939 от 20.11.2015; опубл. 20.04.2017, Бюл. №11.
8. Калужин И.В., Яценко В.А. Двухшнуровая резиновая катапульта для запуска в полет беспилотного летательного аппарата // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2011. – № 51 – С. 75-82.
9. Патент №2801754 РФ. Стартовое устройство / С.Н. Сысоев, Д.Н. Кириллин. – Заявка №2022134163 от 22.12.2022; опубл. 15.08.2023, Бюл. №23.
10. Сысоев С.Н., Жулин С.В., Енюхин Е.С. Повышение эффективности стартового устройства с торообразным камерным разгонным механизмом и пневматическим спусковым механизмом // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2025. – №15. – С. 116-118. – doi.org/10.26160/2541-8637-2025-15-116-118.

References

1. Shishkin, V.V., Skorikov S.V., Bratsikhin A.A. Torus technologies: monograph. – Stavropol: SKFU, 2014. – 347 p.
2. Shikhirin V.N. Torus technologies – the basis of elastic mechanics // Proceedings of the 1st International scientific and practical conference «Torus Technologies». – Irkutsk: IrSTU, 2004. – P. 22-48.
3. Chaykun A.M., Sergeyev A.V., Pravada E.S. Elastomeric-fabric materials for products of special equipment (review) // Proceedings of VIAM. 2023, no. 6(124), pp. 25-37.
4. Patent No. 77245 RU. Toroidal propulsion drive / V.I. Kotlyarenko, R.V. Maksimenko. – Appl. No. 2008116456 from 29.04.2008; publ. 20.10.2008, Bull. No. 29.

5. Nguyen V.H. Ensuring the continuity of the desorption process based on the use of toroidal-driven dispensers: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Irkutsk, 2015. – 20 p.
6. Patent No. 2813138 RU. Pneumatic ejector for taking off an aircraft and a method for taking off an aircraft from a pneumatic ejector / N.A. Gorchakov – Appl. No. №2023130444 from 21.11.2023; publ. 06.02.2024, Bull. No. 4.
7. Patent No. 2617096 RU. Launcher to launch unmanned aircraft / V.A. Nilov, M.E. Lapo, A.E. Sotnikov. – Appl. No. 2015149939 from 20.11.2015; publ. 20.04.2017, Bull. No. 11.
8. Kaluzhinov I.V., Yatsenko V.A. Double corded, rubber, launching platform for the unmanned aerial vehicle. Open information and computer integrated technologies. 2011, no. 51, pp. 75-82.
9. Patent No. 2801754 RU. Starting device / S.N. Sysoev, D.N. Kirillin. – Appl. No. 2022134163 from 22.12.2022; publ. 15.08.2023, Bull. No. 23.
10. Sysoev S.N., Zhulin S.V., Enyukhin E.S. Improving the efficiency of a starting device with a toroidal chamber acceleration mechanism and a pneumatic trigger mechanism // Mechatronics, automation and robotics. 2025, no. 15, pp. 116-118. doi.org/10.26160/2541-8637-2025-15-116-118.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Сысоев Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника»	Sysoev Sergey Nikolaevich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of automation, mechatronics and robotics
Жулин Сергей Васильевич – аспирант	Zhulin Sergey Vasilievich – postgraduate student
Енюхин Евгений Сергеевич – студент	Enyukhin Evgeny Sergeevich – student
eenyuhin2001@mail.ru	

Получена 10.06.2025