

СТАРТОВОЕ УСТРОЙСТВО С АККУМУЛЯТОРОМ ЭНЕРГИИ

Сысоев С.Н., Жулин С.В., Енюхин Е.С.

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

Ключевые слова: камерный привод, эластичный механизм, торообразная оболочка, стартовое устройство, пусковая установка, аккумулятор.

Аннотация. Разработка и применение устройств, функционирующих за счет использования свойств торообразных гибких оболочек, берет начало во второй половине прошлого века. В связи с бурным развитием и широким применением беспилотных летательных аппаратов в настоящее время актуальной задачей является совершенствование пусковых установок. Анализом функционирования устройств, в которых эластичная торообразная оболочка используется в качестве разгонного механизма, выявлена низкая эффективность использования имеющихся энергоресурсов. Это связано с тем, что максимально возможная величина давления воздуха в рабочей камере ограничена прочностными характеристиками материала оболочки. Вылет запускаемого объекта сопровождается увеличением объема камеры, что приводит, в условиях высокоскоростного процесса, к снижению давления и, соответственно, величины тягового усилия разгона. Повышение эффективности работы стартового устройства достигается путем стабилизации давления в рабочей камере. Предложено устройство с аккумулятором энергии, в корпусе которого аксиально установлено не менее одной дополнительной камеры, образованной герметичной, гибкой, нерастяжимой торообразной оболочкой, одним торцом соединенной с рабочей камерой, а на другом конце которой закреплен шток, подпружиненный в сторону втягивания его в камеру. Натурными экспериментами подтверждена эффективность и промышленная применимость разработанного технического решения.

STARTING DEVICE WITH AN ENERGY ACCUMULATOR

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

*Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,
Vladimir*

Keywords: chamber drive, elastic mechanism, toroidal shell, starting device, launch system, accumulator.

Abstract. The development and application of devices operating based on the properties of toroidal flexible shells began in the second half of the last century. Due to the rapid development and widespread use of unmanned aerial vehicles, improving launch systems is currently an urgent task. Analysis of the functioning of devices in which an elastic toroidal shell is used as a propulsion mechanism has revealed low efficiency in the utilization of available energy resources. This is due to the fact that the maximum possible air pressure in the working chamber is limited by the material strength characteristics of the shell. The launch of the object is accompanied by an increase in the chamber volume, which, under high-speed process conditions, leads to a decrease in pressure and, consequently, in the magnitude of the accelerating thrust force. Increasing the operating efficiency of the starting device is achieved by stabilizing the pressure in the working chamber. A device with an energy accumulator is proposed, in the housing of which at least one additional chamber is axially mounted. This chamber is formed by a sealed, flexible, inextensible toroidal shell, connected at one end to the working chamber, while a rod is secured at its other end. The rod is spring-loaded in the direction of being retracted into the chamber. Field experiments have confirmed the effectiveness and industrial applicability of the developed technical solution.

Введение

Применение и совершенствование эластичных механизмов, работа которых основана на физической природе гибких торообразных оболочек, интенсивно стала развиваться во второй половине XX века [1]. Исследования и разработки по данному направлению продолжают оставаться актуальными в настоящее время.

Универсальность использования эластичных оболочек отражается в возможности применения их в различных областях промышленности [2-5] в качестве движителя или привода. Одной из областей применения является разработка и использование приводов, силовая часть которых представляет собой камеру, образованную торообразной оболочкой,

заполненной газом или жидкостью. Такой тип силовой части машин обладает рядом таких преимуществ [6, 7], как простота конструкции, возможность программирования функций без изменения структуры привода, возможность работы в экстремальных условиях, отсутствие необходимости применения уплотнения подвижных соединений и смазки движущихся частей.

Перспективным направлением применения камерных торообразных приводов является их использование в составе стартовых систем, предназначенных для разгона и запуска объектов различного назначения.

Выявленным в ходе исследований главным недостатком всех известных стартовых установок с торообразным камерным приводом является падение давления в рабочей камере в процессе их работы (рис. 1). В начальном положении (рис. 1, а) в камере 1 создается рабочее давление p_p . При этом часть объема разгонной камеры занимает запускаемый объект, охватываемый со всех сторон оболочкой 2.

Для начала процесса разгона объекта его выводят в положение, при котором увеличивается эффективная площадь одного из торцов камеры. В течение разгона объект покидает зону силового воздействия (рис. 1, б-г), давление в разгонной камере падает до значений p_1 , p_2 и p_3 , а сила разгона снижается соответственно до значений F_{p1} , F_{p2} и F_{p3} .

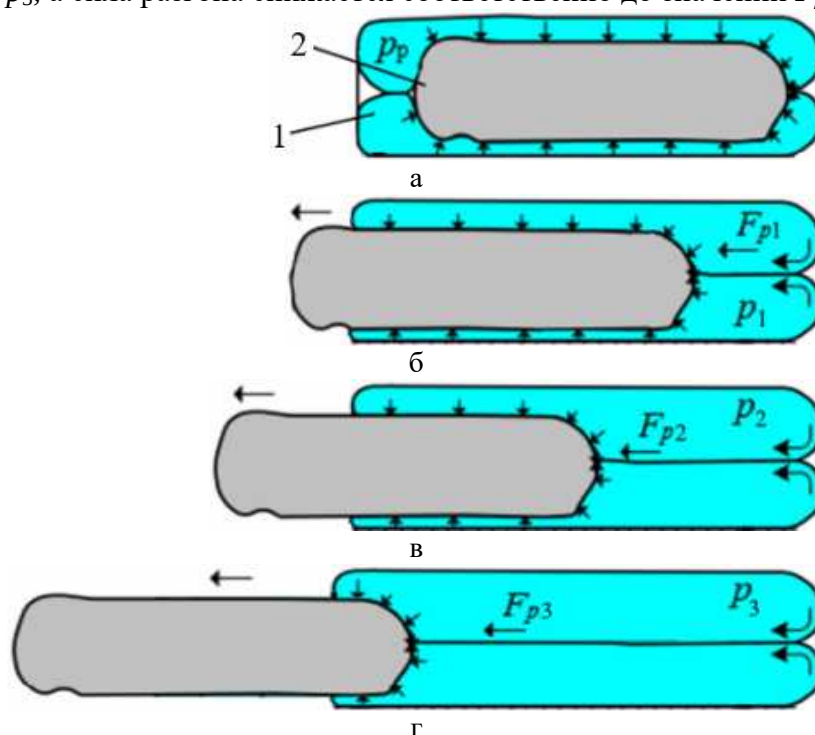


Рис. 1. Схема разгона объекта торообразной камерой: а – исходное положение; б, в, г – этапы разгона

Таким образом, существенно снижается эффективность работы установки в условиях отсутствия компенсации падения давления в рабочей камере в процессе разгона объекта. Для повышения, например, скоростных характеристик стартового устройства используют ресивер [8], однако данный способ компенсации давления в рабочей камере малоэффективен, поскольку трудно обеспечить необходимый расход среды из ресивера в камеру. Кроме этого, процесс разгона объекта скоротечный и для повышения эффективности работы ресивера необходимо увеличивать его объем, что влечет за собой существенное увеличение габаритных размеров системы.

Поэтому возникает необходимость разработки нового технического решения, позволяющего стабилизировать давление в рабочей камере стартового устройства в процессе его работы.

Материалы и методы исследования

Целью работы является повышение энергоэффективности стартового устройства с торообразным камерным приводом.

Объектом исследования является устройство стабилизации давления в рабочей торообразной камере пусковой установки.

Предметом исследования является процесс работы стартового устройства с учетом зависимости параметров давления в рабочей камере от применяемых средств его стабилизации.

Для достижения поставленной цели разработана конструкция стартового устройства, включающая пневматический аккумулятор (рис. 2, а).

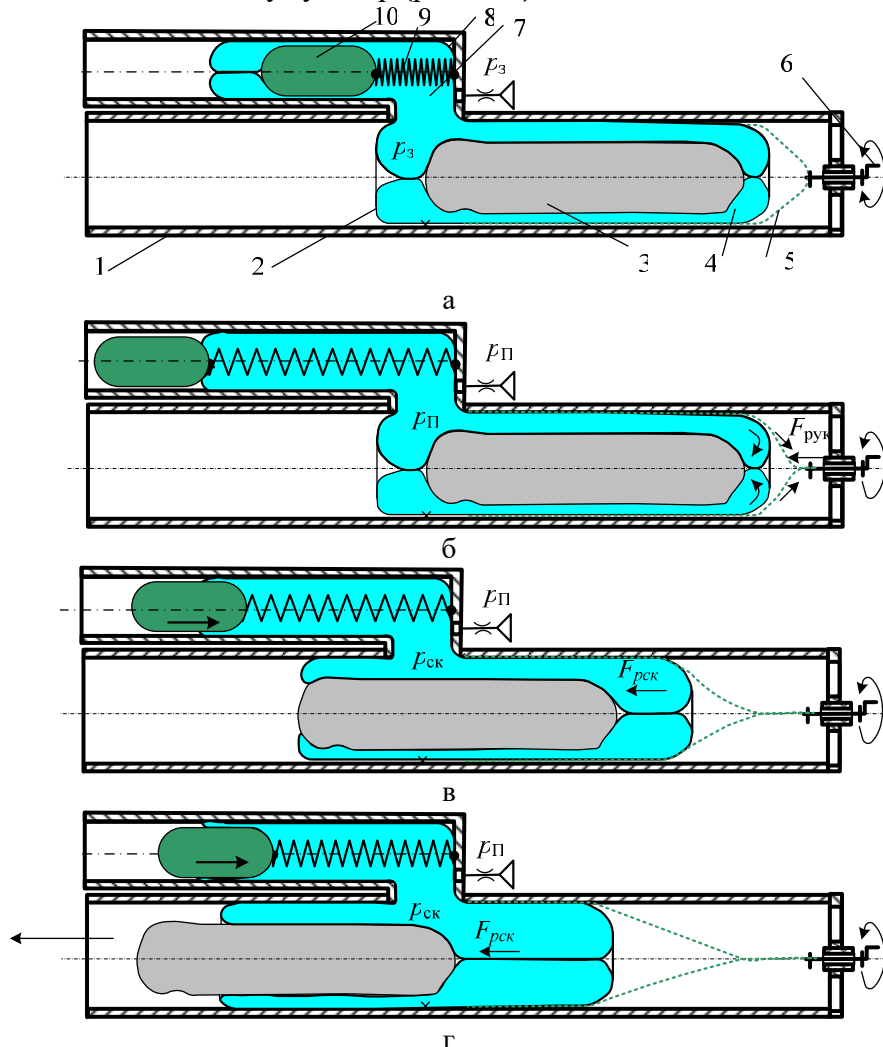


Рис. 2. Этапы работы стартового устройства: а – исходное положение; б – стартовый этап; в, г – этапы разгона

В корпусе 1 закреплена торообразная герметичная гибкая нерастяжимая оболочка 2 привода разгонного устройства, в исходном положении охватывающая запускаемый объект 3, образующая рабочую камеру 4, соединенную с источником пневматического питания. Спусковой механизм выполнен в виде рукава 5, выполненного в виде сетки [9, 10] и установленного в корпусе с возможностью охватывания наружной поверхности торообразной рабочей камеры 4. Конец рукава со стороны, противоположной запуску объекта, соединен с передающим вращение звеном 6 привода спускового механизма. В корпусе 1 аксиально установлена дополнительная камера аккумулятора 7, образованная герметичной, гибкой, нерастяжимой торообразной оболочкой 8, одним торцом соединенной с рабочей камерой 4, другим концом – с подпружиненным пружиной 9 штоком 10.

Перед запуском объекта в рабочей и дополнительной камерах создают пусковое давление воздуха p_z , величина которого ограничена прочностными характеристиками оболочек камер привода. Силовое воздействие от давления приводит к выворачиванию оболочки 8, перемещению штока 10 влево.

По команде на запуск объекта 3 начинается вращение звена 6, что приводит к скручиванию рукава 5 по оси и сжатию оболочки 4 с торцевой её части (рис. 2, б). Обжатие приводит к возникновению силового воздействия $F_{рук}$, приводящего к выворачиванию оболочки 2 и перемещению объекта 3 в сторону запуска.

Перемещение запускаемого объекта приводит к началу его выхода из зоны обхвата разгонной торообразной оболочки (рис. 2, в), что увеличивает эффективную площадь рабочей камеры со стороны запуска объекта, и возникновению тягового усилия от давления в камере. Процесс скоростного выхода запускаемого объекта из охватываемой его оболочки приводит к быстротечному процессу увеличения её объема и снижению величины давления в рабочей камере установки. Снижение величины давления в дополнительной камере приводит к вворачиванию, перемещению штока 10 вправо, уменьшению её объема и, как следствие, компенсации снижения давления до давлений $p_{ск}$ (рис. 2, г). Возникшая сила выворачивания $F_{рск}$ разгоняет и выталкивает запускаемый объект.

Таким образом, в процессе работы устройства объем штока частично замещает объем запускаемого объекта, что компенсирует давление в рабочей камере.

Для проверки работоспособности разработанного технического решения проводились эксперименты с использованием лабораторного стенда (рис. 3). Оболочка камеры аккумулятора и рабочей камеры выполнены из рукава, изготовленного из капроновой прорезиненной ткани толщиной 0,1 мм, диаметром 110 мм.

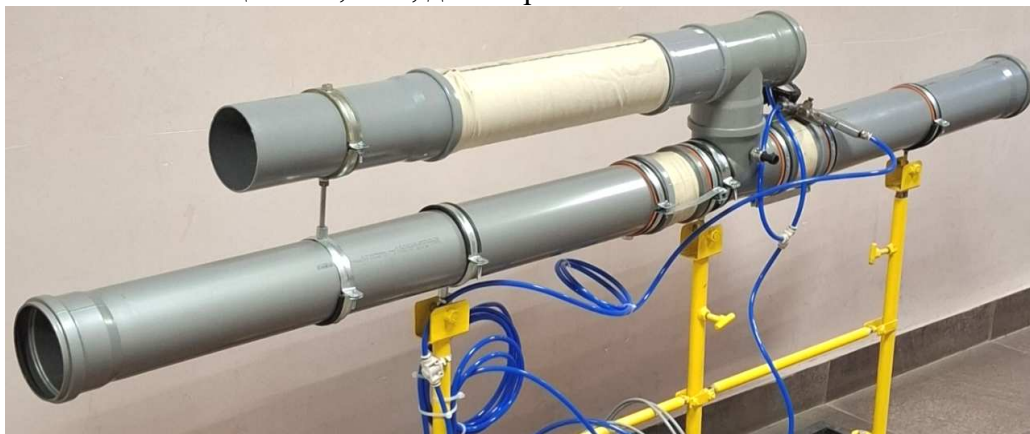


Рис. 3. Макет стартовой установки, общий вид

Результаты

Натурные эксперименты проведены с целью сравнения эффективности работы двух лабораторных установок: с ресивером и с аккумулятором. Объем аккумулятора в исходном положении соответствует объему ресивера. Диаметры условного прохода канала между ресивером или аккумулятором и разгонной торообразной камерой равны. Полученные осциллограммы давления в рабочей камере приведены на рисунке 4.

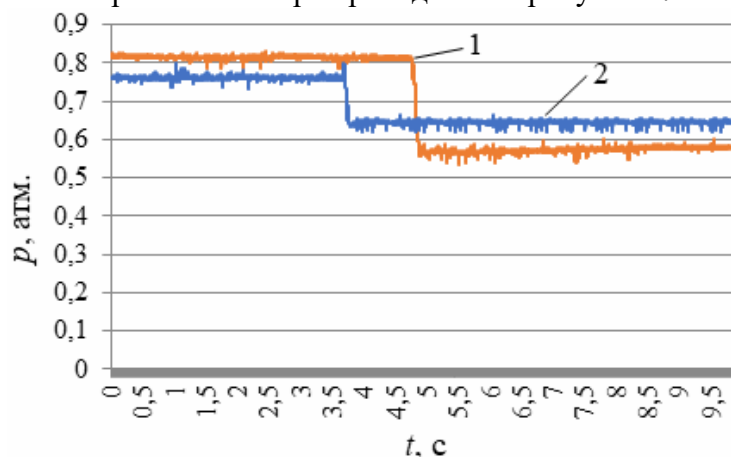


Рис. 4. Осциллограммы давления p в рабочей камере установки

Кривые 1 и 2 иллюстрируют зависимость давления p в разгонной камере от времени t в процессе работы лабораторной установки в зависимости от применяемого устройства стабилизации давления – ресивера и разработанного аккумулятора соответственно. Резкое снижение значения давления соответствует этапу разгона объекта.

На примере полученных в ходе проведения натуральных экспериментов осциллограмм видно, что описываемое устройство позволяет использовать более высокие значения давлений, при которых происходит разгон объекта. При этом начальное давление в разгонной камере может быть ниже.

Выводы

Таким образом, предлагаемое техническое решение способствует эффективной работе стартового устройства за счет стабилизации давления в рабочей камере, что увеличивает величину тягового усилия в процессе разгона запускаемого объекта и повышает начальную скорость запуска объекта.

Кроме этого, встречное одновременное синхронное движение подвижных частей устройства позволяет снизить силу отдачи.

Заключение

Выявлен основной недостаток стартовых установок с камерным торообразным приводом, заключающийся в снижении тягового усилия разгона запускаемого объекта, связанного с падением давления в рабочей камере из-за увеличения ее объема в процессе работы.

Разработанная система аккумулирования энергии, которая по сравнению с применением ресивера, позволяет увеличить величину рабочего давления при схожих габаритных размерах в процессе разгона объекта.

Повышение эффективности функционирования аккумулятора осуществляется применением в конструкции установки пневмопружины с переменным усилием сжатия.

Список литературы

1. Шишин В.Н., Ионова В.Ф., Шальнев О.В., Котляренко В.И. Эластичные механизмы и конструкции. Монография. – Иркутск: ИрГТУ, 2006. – 286 с.
2. Нгуен В.Х. Обеспечение непрерывности процесса десорбции на основе использования дозаторов с торовым приводом: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2015. – 20 с.
3. Давыденко О.В. Повышение эффективности и надежности бестраншейного восстановления трубопроводов с применением торовых приводов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2013. – 19 с.
4. Патент №2525896 РФ. Способ изготовления буронабивных свай и устройство для его осуществления / Д.М. Стешенко. – Заявка №2012150712 от 26.11.2012; опублик. 20.08.2014, Бюл. №23.
5. Патент №77245 РФ. Привод тороидного движителя / В.И. Котляренко, Р.В. Максименко. – Заявка №2008116456 от 29.04.2008; опублик. 20.10.2008, Бюл. №29.
6. Шишин В.Н. Торовые технологии – основа эластичной механики // Сборник материалов 1-й Международной научно-практической конференции «Торовые технологии». – Иркутск: ИрГТУ, 2004 – С. 22-48.
7. Шишкин В.В., Скориков С.В., Брачихин А.А. Торовые технологии: Монография. – Ставрополь: СКФУ, 2014. – 347 с.
8. Сысоев С.Н. Пусковая установка беспилотных летательных аппаратов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 20. – С. 66-70. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-66-70.
9. Сысоев С.Н., Жулин С.В., Енюхин Е.С. Стартовое устройство с торообразным силовым приводным механизмом // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2025. – №32. – С. 57-62. – doi.org/10.26160/2541-8637-2025-15-116-118.
10. Патент №2848840 РФ. Стартовое устройство / С.Н. Сысоев, С.В. Жулин, Е.С. Енюхин. – Заявка №2025108186 от 02.04.2025; опублик. 21.10.2025, Бюл. №30.

References

1. Shikhirin V.N., Ionova V.F., Shalnev O.V., Kotlyarenko V.I. Elastic Mechanisms and Structures. Monograph. – Irkutsk: IrSTU, 2006. – 286 p.
2. Nguen V.H Ensuring the continuity of the desorption process through the use of toroidal drive dispensers: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Irkutsk, 2015. – 20 p.

3. Davydenko O.V Ensuring the continuity of the desorption process through the use of toroidal drive dispensers: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Volgorad, 2013. – 19 p.
4. Patent No. 2525896 RU. Toroidal propulsion drive / D.M. Steshenko. – Appl. No. 2012150712 from 26.11.2012; publ. 20.08.2014, Bull. No. 23.
5. 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.
6. 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.
7. Shishkin, V.V., Skorikov S.V., Bratsikhin A.A. Torus technologies: Monograph. – Stavropol: SKFU, 2014. – 347 p.
8. Sysoev S.N. Unmanned aerial vehicle launcher // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 20, pp. 66-70. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-66-70.
9. Sysoev S.N., Zhulin S.V., Enyukhin E.S. Starting device with torus-shaped power drive mechanism // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2025, no. 32, pp. 57-62. doi.org/10.26160/2541-8637-2025-15-116-118
10. Patent No. 2848840 RU. Starting device / S.N. Sysoev, S.V. Zhulin, E.S. Enyukhin. – Appl. No. 2025108186 from 02.04.2025 publ. 21.10.2025, Bull. No. 30.

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 – аспирант	Enyukhin Evgeny Sergeevich – postgraduate student
eenyuhin2001@mail.ru	

Получена 12.02.2026