

Научная статья  
УДК 621.43

## Механизм модульного отключения цилиндров в бесшатунном поршневом двигателе

Николай Иванович Мищенко<sup>2</sup>, Аркадий Васильевич Химченко<sup>2</sup>,  
Владимир Леонидович Супрун<sup>3</sup>, Валерий Васильевич Быков<sup>4</sup>,  
Татьяна Николаевна Колесникова<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ), Горловка, Россия

<sup>2</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I, Воронеж, Россия

<sup>1</sup> mim2802@mail.ru

<sup>2</sup> himch.arkady@yandex.ru

<sup>3</sup> uprunv@mail.ru

<sup>4</sup> bykov\_v\_v\_59@mail.ru

<sup>5</sup> kolesnikova.tetiana@yandex.ru

**Аннотация.** В работе описан механизм модульного отключения цилиндров в бесшатунном двигателе. Двигатель с таким механизмом может обеспечить высокую топливную экономичность и уменьшить количество несгоревших углеводородов СН путем улучшения рабочего процесса в работающих цилиндрах при отключении цилиндров в условиях низкой нагрузки. Приведено конструктивное решение механизма модульного отключения цилиндров путем остановки поршня, установленного в бесшатунном двигателе, содержащем два коленчатых вала в картере и кулису, имеющую возможность с помощью узла блокировки штока и узла управления блокировкой штока рассоединять кинематическую связь со штоком поршня. Узел блокировки штока дает возможность исключить или позволить линейное перемещение штока относительно вращающихся коленчатых валов, тем самым обеспечивая соответственно включение в работу или остановку поршня, то есть отключение цилиндра. В статье показан один из вариантов конструктивного исполнения механизма модульного отключения цилиндров. Проанализированы преимущества и недостатки такого решения. Полученная конструкция механизма отключения цилиндров путем остановки поршня в бесшатунном двигателе с кривошипно-кулисным механизмом является перспективной и может обеспечить значительный эффект экономии топлива при отключении цилиндров.

**Ключевые слова:** бесшатунный двигатель внутреннего сгорания, кривошипно-кулисный механизм, отключение цилиндров.

**Для цитирования:** Мищенко Н.И., Химченко А.В., Супрун В.Л., Быков В.В., Колесникова Т.Н. Механизм модульного отключения цилиндров в бесшатунном поршневом двигателе // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 1(43).

Original article

## Modular cylinder deactivation mechanism in a connecting rodless piston engine

Nikolay I. Mishchenko<sup>1</sup>, Arkady V. Khimchenko<sup>2</sup>, Vladimir L. Suprun<sup>3</sup>, Valery V. Bykov<sup>4</sup>, Tat'yana N. Kolesnikova<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup>Donetsk National Technical University (DonNTU), Gorlovka, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>1</sup>mim2802@mail.ru

<sup>2</sup>himch.arkady@yandex.ru

<sup>3</sup>uprunv@mail.ru

<sup>4</sup>bykov\_v\_v\_59@mail.ru

<sup>5</sup>kolesnikova.tetiana@yandex.ru

**Abstract.** The paper describes a mechanism for modular cylinder deactivation in a connecting rod-less engine. An engine with such a mechanism can provide high fuel efficiency and reduce the amount of unburned hydrocarbons CH by improving the working process in the operating cylinders when cylinders are deactivated under low load conditions. The paper presents a design solution for the mechanism for modular cylinder deactivation by stopping the piston installed in a connecting rod-less engine containing two crankshafts in the crankcase and a linkage that can disconnect the kinematic connection with the piston rod using a rod locking unit and a rod locking control unit. The rod locking unit makes it possible to exclude or allow linear movement of the rod relative to the rotating crankshafts, thereby ensuring, respectively, the inclusion in operation or stop of the piston, i.e., cylinder deactivation. The article shows the operation of one of the design options for the mechanism for modular cylinder deactivation. The advantages and disadvantages of such a solution are analyzed. The obtained design of the mechanism for disabling cylinders by stopping the piston in a connecting rod-less engine with a crank-rocker mechanism is promising and can provide a significant fuel saving effect when disabling cylinders.

**Keywords:** connecting rodless internal combustion engine, crank-rocker mechanism, cylinder deactivation.

**For citation:** Mishchenko N.I., Khimchenko A.V., Suprun V.L., Bykov V.V., Kolesnikova T.N. Modular cylinder deactivation mechanism in a connecting rodless piston engine. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura.* 2025. №1 (43).

### Введение

Известно, что как в дизелях, так и бензиновых двигателях по мере снижения нагрузки топливная экономичность ухудшается. Основные причины этого явления заключаются в том, что на частичных режимах

работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) снижается механический КПД и ухудшаются параметры рабочего процесса, а именно уменьшаются давление и температура в процессах сжатия и сгорания, уменьшается полезная работа цикла, увеличиваются потери на газообмен (в бензиновом двигателе) и т.д. В бензиновых двигателях эта особенность выражена более глубоко.

Среди известных многочисленных способов и конструктивных решений ДВС, направленных на дальнейшее повышение КПД и, соответственно, снижение расхода топлива на частичных нагрузках выделяются: регулирование степени сжатия, регулирование фаз газораспределения вплоть до перехода на работу по циклам Аткинсона и Миллера, изменение кинематики двигателя, отключение части работающих цилиндров и другие.

Анализ исследований показывает, что технология отключения цилиндров (ОЦ) – один из наиболее перспективных путей повышения экономичности двигателя на режимах малых нагрузок и холостого хода. В настоящее время этот метод используется в системах регулирования работы двигателей многих автомобилей: Chrysler, Ford, Mercedes, Volkswagen, Honda, Toyota и других. Однако, как правило, отключение цилиндра в современных двигателях не приводит к остановке поршня. А это исключает полное отсутствие механических потерь в отключаемом цилиндре, хотя и может приводить к его снижению.

Эффект от развития двигателестроения в данном направлении активно исследуется разными учеными в нашей стране [1–4], в ближнем и дальнем зарубежье [5–8], в том числе авторами статьи [9].

Целью работы был поиск технического решения, которое может обеспечить наибольший эффект экономии топлива при отключении цилиндров.

### Материалы и методы

В основу работы положен анализ известных технических решений, многие из которых защищены патентами, а также синтез механизма на основе известных конструктивных решений.

Имеется ряд технических решений технологии отключения цилиндров путем прекращения подачи топлива, например, по патентам (Патент США № 4 231 338, U.S. CL. 123/568, Int. CL.3 F02M 25/06, опубл. 1980, Патент США № 4 204 514, U.S. CL. 123/198, Int. CL. F02D 17/00, опубл. 1980). Экономичность двигателя с таким ОЦ не превышает 10 %. Основными причинами сравнительно низкой эффективности является то, что при отключении подачи топлива поршни в отключенных цилиндрах продолжают совершать поступательное движение из-за чего потери на трение снижаются незначительно или остаются практически на том же уровне. Кроме того, механизм газораспределения (МГР) в этом случае находится в рабочем состоянии, что приводит к потерям на газообмен и потерям на привод самого МГР.

Другой принципиальный подход заключается в остановке клапанов и удержанием их в закрытом положении, например, по патентам (Заявка Японии № 3-41646, МКИ5 F 01 L 13/00. опубл. 1991, Патент США № 7 317 984 B2, U.S. CL. 701/112; 123/320, Int. CL.: G061 19/00; F02B 33/00, опубл. 2008). В этом случае газообмен отсутствует, благодаря чему устраняются насосные потери и несколько уменьшаются потери на трение в неработающих цилиндрах из-за уменьшения среднего давления в них. При этом заявляется повышение экономичности работы двигателя и обеспечение снижения расхода топлива на малых нагрузках и на холостом ходу до 20 %.

Более интересны принципиально двигатели с модульным отключением цилиндров. Они описаны, например, в патентах (Патент США № 4 069 803, U.S. CL. 123/198, Int. CL.2 F02B 75/18, опубл. 1978, Патент США № 4 394 854, U.S. CL. 123/198, Int. CL. F02D 17/02, опубл. 1983). Здесь термин

«модульное» ОЦ характеризуется тем, что двигатель разделяется на несколько независимых модулей (цилиндров, секций), которые вступают в работу по мере повышения нагрузки. Модулем может быть либо в отдельности цилиндр или группа цилиндров. В таких двигателях в отключенных цилиндрах поршни останавливаются полностью. Полное отсутствие в отключенных цилиндрах потерь на трение в цилиндропоршневой группе и отсутствие потерь на газообмен (за счет остановки поршней) определяют существенное преимущество технологии модульного отключения цилиндров в сравнении с другими методами. В этом случае экономичность двигателя на малых нагрузках может достигать до 40 % и выше. Однако на сегодня не найдено конструкции двигателя с модульным ОЦ, пригодной для полномасштабного серийного производства. На момент создания первых вариантов таких конструкций использовался разрезной коленчатый вал, что, во-первых, приводит к чрезвычайно сложной и ненадежной конструкции, а также большой потребляемой энергии на систему управления. Во-вторых, в существующих модульных двигателях с кривошипно-шатунным механизмом коленчатые валы соответствующих модулей соединяются размещенной между ними муфтой, к которой предъявляют очень жесткие требования. Соединение коленчатых валов должно осуществляться за промежуток времени меньший, чем тот, который необходим для переключения передач в обычной ступенчатой коробке передач. Кроме того, работа этой муфты должна быть строго синхронизирована с работой ряда систем (питания, зажигания, газораспределения) включаемых модулей.

Работы по созданию бесшатунного поршневого двигателя с кривошипно-кулисным механизмом (ККМ) привели к конструктивным решениям, которые обеспечивают более простую реализацию технологии отключения цилиндров. Бесшатунный двигатель без ОЦ имеет более низкую вибрацию и шум по сравнению с традиционным ДВС с кривошипно-

шатунным механизмом. Кроме того, уравновешенность обеспечивается на каждом цилиндре индивидуально. Это создает определенные преимущества в случае остановки поршня при модульном ОЦ.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведенных работ, в том числе экспериментов по подтверждению работоспособности данной конструкции, было получено принципиальное конструктивное решение, показанное на рис. 1.

Отключение цилиндра в таком двигателе осуществляется остановкой штока вместе с поршнем путем разрыва жесткой кинематической связи между штоком и кулисой. Бесшатунный двигатель для реализации модульного отключения цилиндров отличается наличием дополнительного механизма отключения цилиндра (МОЦ), включающего в себя узлы, осуществляющие остановку поршня в зависимости от уровня нагрузки двигателя:

- узел блокировки штока, который позволяет соединить или разъединить шток с кулисой, причем шток имеет постоянную кинематическую связь с поршнем;
- узел управления блокировкой штока, который срабатывает по команде блока управления двигателя в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя.

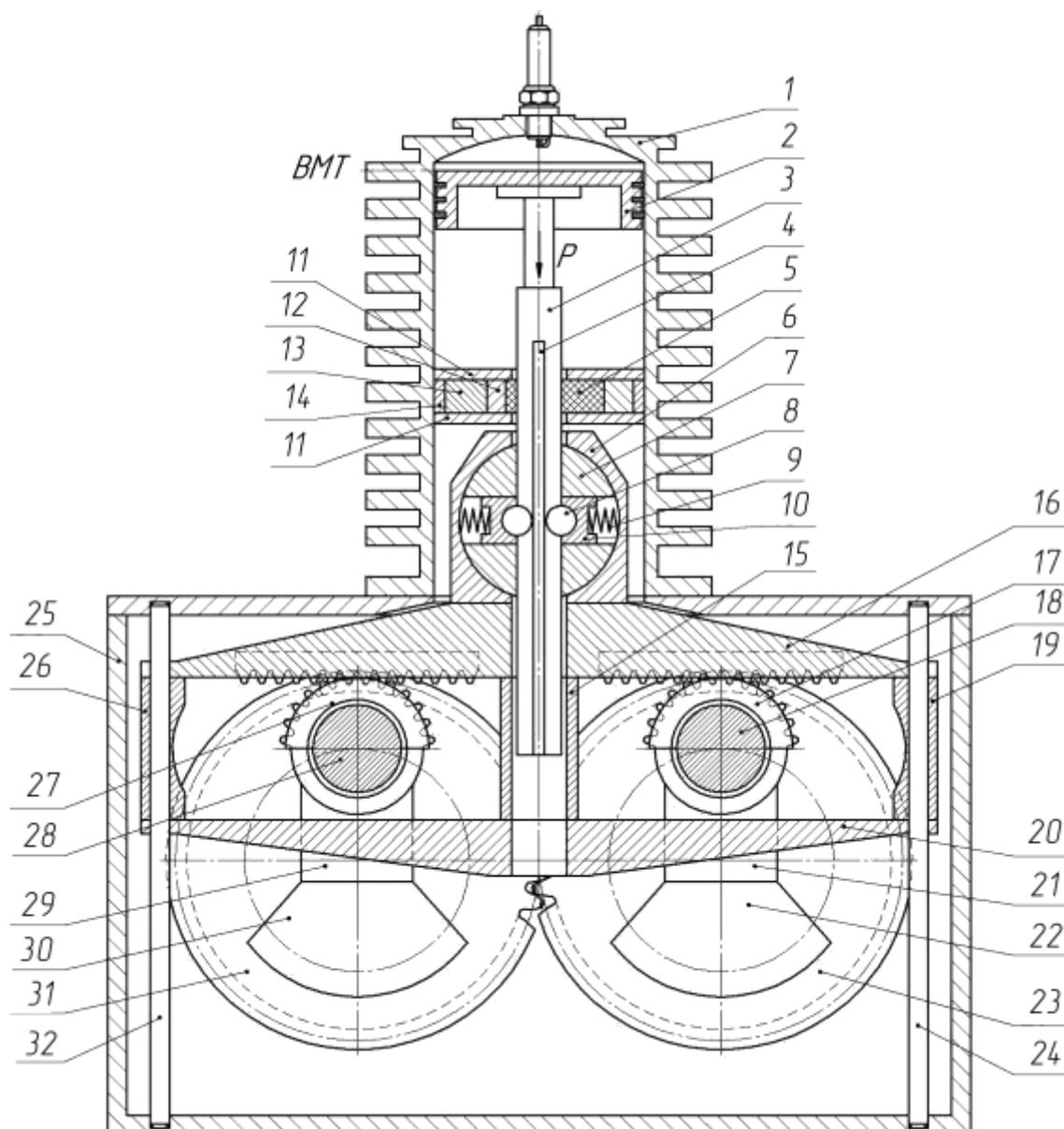


Рис. 1. Конструктивная схема двигателя с ККМ и механизмом ОЦ:

1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – лыска; 5 – ротор; 6 – корпус узла блокировки штока; 7 – диск; 8 – фиксирующие пальцы; 9 – упругие элементы; 10 – полубоймы; 11 – верхние и нижние крышки гидроцилиндра; 12 – пластинчатая пружина; 13 – лопатка; 14 – корпус гидроцилиндра; 15, 19, 26 – центральная и боковые дистанционные стойки; 16, 20 – верхняя и нижняя направляющие кулисы; 17, 27 – катки с зубчатым сектором; 18, 28 – кривошипные шейки; 21, 29 – коленчатые валы; 22, 30 – противовесы; 23, 31 – синхронизирующие шестерни; 24, 32 – боковые направляющие кулисы; 25 – картер

Узел блокировки штока состоит из: жестко закрепленного на верхней направляющей кулисы корпуса, имеющего два отверстия, через которые проходит шток с возможностью поступательного и вращательного движения;

расположенного в корпусе с возможностью скольжения диска, в котором выполнены два сквозных соосных отверстия, в одном из которых может перемещаться шток, а в другом отверстии расположены по обе стороны штока две полуобоймы с возможностью линейного перемещения.

Полуобоймы имеют выемки цилиндрической формы радиусом  $r_b$ .

В нижней части штока выполнены на диаметрально противоположных сторонах такие же выемки и взаимно расположены так, что выемки в штоке и выемки в полуобоймах образуют две цилиндрические полости диаметром  $d_{ц} = 2 \cdot r_b$ , в которых размещены с небольшим зазором два фиксирующих пальца диаметром  $d_{п}$ , причем диаметр цилиндрической полости равен

$d_{ц} = \alpha \cdot d_{п}$ , где  $\alpha = \frac{d_{ц}}{d_{п}} = 1,00 \dots 1,03$  – отношение диаметров цилиндрической

полости и фиксирующего пальца. Предпочтительно  $\alpha = 1,02$ , при котором обеспечивается наибольшая несущая способность цилиндрического сочленения. Полуобоймы прижимаются к фиксирующим пальцам с помощью упругих элементов, например, в виде цилиндрических пружин сжатия, установленных в этих отверстиях и упирающихся своим свободным концом на внутреннюю поверхность корпуса. Шток имеет возможность углового поворота относительно оси цилиндра, чтобы разрешить (разблокировать) его линейное движение относительно корпуса, тем самым остановить шток с поршнем и выключить цилиндр из работы при продолжении возвратно-поступательного движения кулисы. Шток имеет элемент привода для возможности осуществления углового поворота, выполненный в виде, например, по меньшей мере одной лыски на наружной поверхности штока предпочтительно длиной  $L = (1,1 \dots 1,3) \cdot S$ , где  $S$  – ход поршня. Верхняя и нижняя направляющие кулисы, а также центральная стойка кулисы имеют отверстия для возможности свободного возвратно-поступательного движения штока.

Длина пальца примерно равна диаметру штока.

В узле блокировки штока на боковой поверхности штока выполнена выемка, взаимодействующая с выемкой полуобоймы.

Узел управления блокировкой штока показан на рис. 2 и включает в себя реверсивный гидродвигатель с ограниченным ходом и цилиндрический золотниковый распределитель, подключенный к блоку управления двигателя. Реверсивный двигатель представляет собой секторный моментный (силовой) гидроцилиндр, в дальнейшем – моментный гидроцилиндр.

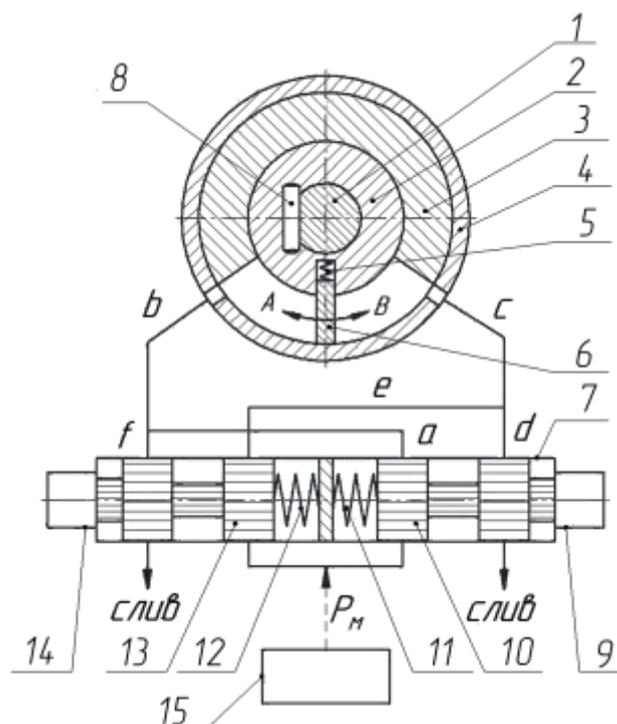


Рис. 2. Конструктивная схема узла управления блокировкой штока:

1 – шток; 2 – ротор; 3 – втулка; 4 – корпус гидроцилиндра; 5 – пластинчатая пружина;  
6 – лопатка; 7 – корпус золотника; 8 – штифт; 9, 14 – электромагниты;  
10, 13 – золотники; 11, 12 – пружины; 15 – система смазки двигателя

Моментный гидроцилиндр состоит из корпуса гидроцилиндра, неподвижно и соосно установленного в нижней части цилиндра двигателя, ротора, имеющего возможность возвратно-поворотного движения в пределах 90 градусов, лопатки, расположенной с небольшим зазором в пазе ротора и прижатой к рабочей поверхности корпуса моментного гидроцилиндра с помощью упругого элемента в виде пластинчатой пружины, и поводка,

служащего для кинематической связи ротора со штоком, причем поводком служит, например, штифт, расположенный в гнезде, выполненном в теле ротора, который контактирует с элементом привода в виде по меньшей мере одной лыски, выполненной вдоль наружной поверхности штока. Боковые поверхности лопатки и корпуса моментного гидроцилиндра образуют две рабочие полости А и В, подключенные через гидравлические каналы к золотниковому распределителю, содержащему корпус распределителя, два командных цилиндрических золотника с возвратными пружинами, два электромагнита и нагнетательные и сливные окна, а также масляные каналы. Командные золотники служат для управления реверсивного углового перемещения ротора, а вместе с ним и штока, путем изменения направления потока масла между полостями А и В в зависимости от уровня нагрузки двигателя.

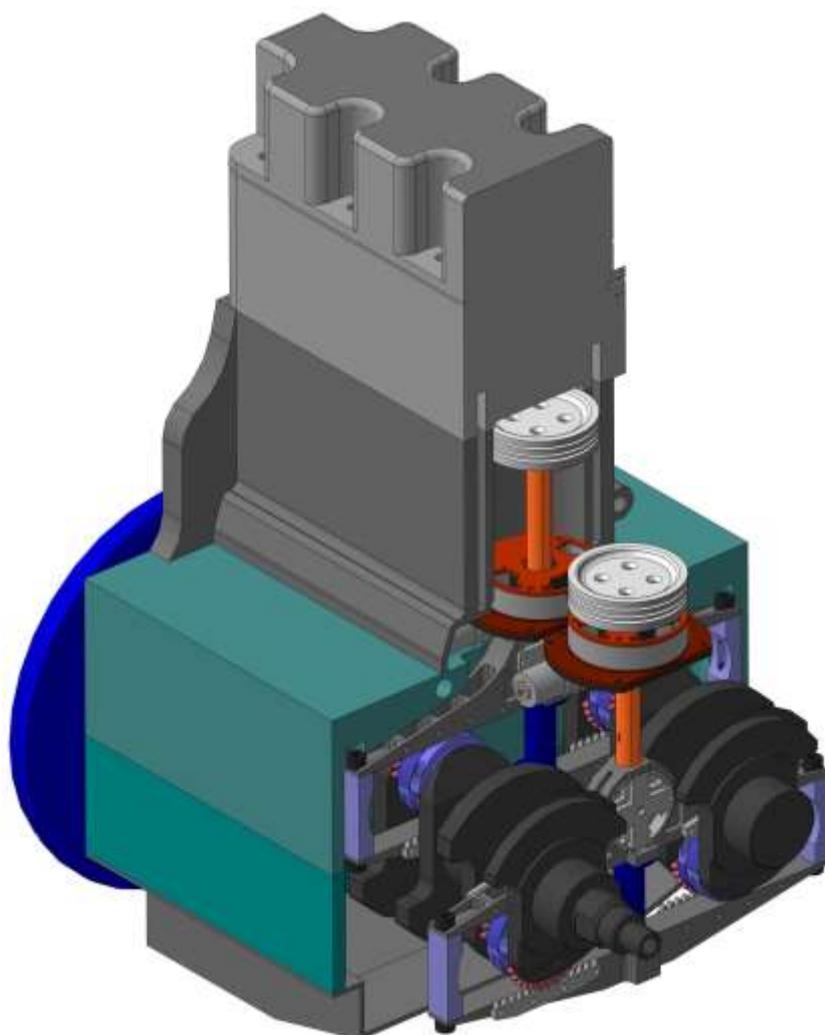
После описания конструкции работа данного механизма становится очевидной. В случае подачи сигнала из блока управления на отключение цилиндра, осуществляется подача масла из системы смазки в одну из полостей моментного гидроцилиндра (см. рис. 2). При повороте штока даже на небольшой угол фиксирующие пальцы (см. рис. 1) выходят из зацепления и под действием силы инерции, а в отдельных случаях и сил давления газов, поршень перемещается в нижнюю мёртвую точку.

При отсутствии газообмена в цилиндре силы трения поршневых колец удерживают поршень со штоком в нижней мёртвой точке. В это время фиксирующие пальцы выполняют роль роликовых подшипников и обеспечивают минимальное трение при движении кулисы вдоль неподвижного штока, перекатываясь по лыскам штока.

При необходимости включить гидроцилиндр в работу, золотник переключается в нужное положение и под действием давления масла моментный гидроцилиндр поворачивает шток в исходное положение. При попадании кулисы в нижнюю мёртвую точку, в которой скорость движения

замедляется, фиксирующие пальцы, попадая в зацепление, обеспечивают кинематическую связь кулисы со штоком.

Описанные выше конструктивные принципы работы механизма отключения цилиндров в двигателе с кривошипно-кулисным механизмом позволили получить 3D модели механизма для четырёхцилиндрового двигателя (рис. 3), разработать рабочие чертежи, создать макетный образец, провести серию испытаний на макетном образце. Испытания показали работоспособность данного механизма, и позволили уточнить некоторые элементы конструкции. Испытания на долговечность не проводились.



*Рис. 3. Упрощенная 3D модель 4-х цилиндрового бесшатунного двигателя*

Наличие 3D моделей и привязка к конкретному двигателю, выбранному для отладки конструкции и создания экспериментального образца, позволяет проводить имитационные эксперименты по оценке отдельных элементов работы механизма [10, 11] и системы управления в целом [12, 13]. Некоторые вопросы работы системы управления и стратегии отключения цилиндров, долговечности механизма, обеспечивающего кинематическую связь, требуют дальнейшей проработки.

### Заключение

Проведенный анализ позволил разработать перспективную конструкцию механизма отключения цилиндров путем остановки поршня в бесшатунном двигателе с кривошипно-кулисным механизмом, которая может обеспечить значительный эффект экономии топлива при отключении цилиндров. Определение стратегии управления и обеспечение надежности системы отключения цилиндров являются перспективным направлением для продолжения исследований по созданию экономичного двигателя внутреннего сгорания.

### Список источников

1. Повышение эксплуатационной топливной экономичности газового двигателя, регулируемого на режимах малых нагрузок отключением части цилиндров / В.А. Марков, Н.Н. Патрахальцев, Ф.Б. Барченко, Ш.Р. Лотфуллин // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 2. – С. 3-7. – EDN ZRVZDU.
2. Дойнов, А.В. Методика определения среднего индикаторного давления неактивного цилиндра для двигателя, обладающего возможностью отключения цилиндров / А.В. Дойнов, Г.И. Косенко, С.В. Харитонов // Двигателестроение. – 2023. – № 3(293). – С. 44-50. – DOI 10.18698/jec.2023.3.44-50. – EDN LTNHDM.
3. Гайсин, Э. М. Базовая характеристика управления топливоподачей тракторного дизеля, оснащенного системой пропуска подач топлива / Э.М. Гайсин // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 2. – С. 21-25. – DOI 10.31992/0321-4443-2020-2-21-25. – EDN DMMHDP.

4. Исследование экологических качеств дизельного двигателя и его экономичности при отключении части цилиндров в режимах малых нагрузок / А.В. Гриценко, К.В. Глемба, А.А. Петелин [и др.] // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 4(44). – С. 46–64. – DOI 10.20291/2079-0392-2019-4-46-64. – EDN JZUNIV.
5. Fridrichová, K. Comparative study of engine dynamics for rolling and selective cylinder deactivation / K. Fridrichová, L. Drápal, P. Raffai, M. Böhm // Energy. – 2024. – Vol. 303. – P. 131946. – DOI 10.1016/j.energy.2024.131946.
6. Impact of cylinder deactivation on fuel efficiency in off-road heavy-duty diesel engines during high engine speed operation / R. Kakani et al. // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 257. – P. 124333. – DOI 10.1016/j.applthermaleng.2024.124333.
7. Fridrichová, K. Overview of the potential and limitations of cylinder deactivation / K. Fridrichová, L. Drápal, J. Vopařil, J. Dluhoš // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – Vol. 146. – P. 111196. – DOI 10.1016/j.rser.2021.111196.
8. Impact of Cylinder Deactivation Strategies on Three-way Catalyst Performance in High Efficiency Low Emissions Engines / G. Brinklow et al. // Chemical Engineering Journal Advances. – 2023 – Vol. 14. – P. 100481. – DOI 10.1016/j.cejadv.2023.100481.
9. Химченко, А.В. Модель четырехцилиндрового бесшатунного двигателя для исследования вибрации при отключении цилиндров / А. В. Химченко [и др.] // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2020. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2020» в рамках 6-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие», 27 мая 2020. – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 72-77. – EDN ROULKT.
10. Химченко, А.В. Имитационное моделирование работы механизма отключения цилиндра в двигателе с кривошипно-кулисным механизмом / А.В. Химченко, Н.И. Мищенко // 8-Е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса. Москва, 31 января 2019 г. – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2019. – С. 383-396. – EDN SPQLLK.
11. Химченко, А.В. Подходы к имитационному моделированию взаимодействия элементов фиксирующего механизма / А.В. Химченко [и др.] // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2020. – 2(33). – С. 9-18. – EDN PBLZLW.
12. Химченко, А.В. Предварительная оценка возможности использования системы смазки серийного двигателя для питания гидропривода механизма остановки поршня / А. В. Химченко [и др.] // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2021. – 1(36). – С. 15-26. – EDN QORRPS.

13. Химченко, А.В. Возможные риски в эксплуатации бензинового двигателя с механизмом отключения цилиндров и питанием гидропривода механизма из системы смазки / А.В. Химченко, Н.И. Мищенко // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : сборник научных трудов 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26-27 января 2021 г. / под ред. А.А. Солнцева. – М. : МАДИ, 2021. – С. 301-307. – EDN EALHCT

### References

1. Markov V.A., Patrakhal'tsev N.N., Barchenko F.B., Lotfullin SH.R. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2019, no. 2, pp. 3-7.
2. Doynov A.V., Kosenko G.I., Kharitonov S.V. *Dvigatolestroyeniye*, 2023, no. 3(293), pp. 44-50.
3. Gaysin E.M. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2020, no. 2, pp. 21-25.
4. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Petelin A.A., Kozhanov V.N., Karpenko A.G., Rudnev V.V. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*, 2019, no. 4(44), pp. 46-64.
5. Fridrichová K., Drápal L., Raffai P., Böhm M. *Energy*, 2024, vol. 303, pp. 131946.
6. Kakani R. et al. *Applied Thermal Engineering*, 2024, vol. 257, pp. 124333.
7. Fridrichová K., Drápal L., Vopařil J., Dluhoš J. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 146, pp. 111196.
8. Brinklow G. et al. *Chemical Engineering Journal Advances*, 2023, vol. 14, pp. 100481.
9. Khimchenko A.V., Mishchenko N.I., Petrov A.I., Suprun V.L., Volkov S.Ye., Zaika S.S. *Nauchno-tekhnicheskiye aspekty razvitiya avtotransportnogo kompleksa 2020*, Materialy konferentsii, Gorlovka, ADI GOUVPO "DONNTU", 2020, pp. 72-77.
10. Khimchenko A.V., Mishchenko N.I. *8-ye Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avto-transportnogo kompleksa*, Sbornik, Moscow, MADI, 2019, pp. 383-396.
11. Khimchenko A.V., Mishchenko N.I., Kovalenko V.V., Gladkoskok P.P. *Vesti Avtomobil'no-dorozhnogo instituta*, 2020, no 2(33), pp. 9–18.
12. Khimchenko A.V., Mishchenko N.I., Dryuchin D.A., Mamontov V.R., Savchuk O.V. *Vesti Avtomobil'no-dorozhnogo instituta*, 2021, no 1(36), pp. 15–26.
13. Khimchenko A.V., Mishchenko N.I. *Problemy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta*, Sbornik trudov, Moscow, MADI, 2021, pp. 301–307.

Рецензент: А.Ю. Дунин, д-р техн. наук, доц., МАДИ

## *Информация об авторах*

**Мищенко Николай Иванович**, д-р. техн. наук, проф., ДонНТУ.  
**Химченко Аркадий Васильевич**, канд. техн. наук, доц., Воронежский ГАУ.  
**Супрун Владимир Леонидович**, ст. преподаватель, ДонНТУ.  
**Быков Валерий Васильевич**, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ.  
**Колесникова Татьяна Николаевна**, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ.

## *Information about the authors*

**Mishchenko Nikolay I.**, Doctor of Sciences (Technical), professor, DonNTU.  
**Khimchenko Arkady V.**, Candidate of Sciences (Technical), associate professor,  
Voronezh SAU.  
**Suprun Vladimir L.**, senior lecturer, DonNTU.  
**Bykov Valery V.**, Candidate of Sciences (Technical), associate professor, DonNTU.  
**Kolesnikova Tat'yana N.**, Candidate of Sciences (Technical), associate professor, DonNTU.

*Статья поступила в редакцию 15.03.2025; одобрена после рецензирования 17.02.2025; принята к публикации 27.03.2025.*

*The article was submitted 15.02.2025; approved after reviewing 17.02.2025; accepted for publication 27.03.2025.*