

УДК 621.432 + 004.942

**А. В. Химченко, канд. техн. наук¹, Н. И. Мищенко, д-р техн. наук¹,
Д. А. Дрючин, канд. техн. наук², В. Р. Мамонтов¹, О. В. Савчук¹**

1 – Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

2 – ФГОУВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ СМАЗКИ СЕРИЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ОСТАНОВКИ ПОРШНЯ

Приведены результаты исследования возможности использования системы смазки серийного двигателя внутреннего сгорания для отключения цилиндров остановкой поршня в экспериментальном образце бесшатунного четырехцилиндрового бензинового двигателя. На основе имитационного моделирования получены результаты оценки быстродействия механизма при одновременном отключении или подключении нескольких цилиндров. Выявлены факторы, создающие отрицательные эффекты и требующие внесения конструктивных изменений в отдельные узлы экспериментального образца двигателя.

***Ключевые слова:** бесшатунный двигатель, механизм отключения цилиндров, гидравлический привод, имитационное моделирование, Matlab Simulink*

Введение

Автомобильный транспорт начал свое шествие по миру именно тогда, когда появился приемлемый по своим размерам и экономичности источник энергии – двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Несмотря на то, что новаторские решения затрагивают в автомобиле практически все его элементы, развитие автономных источников энергии всегда будет определять перспективы развития автомобильного транспорта. Пока ДВС остается сердцем современного автомобиля. Одной из причин этого является большое количество неиспользованных резервов улучшения его характеристик, повышения удельных мощностных показателей, снижения выбросов вредных компонентов в отработавших газах. Снижение вредных выбросов, к которым сегодня относят CO₂, непосредственно связано со снижением расхода топлива. Фактически борьба за экологию ДВС в большинстве своем сводится к мероприятиям по снижению расхода топлива. Особенно это актуально для бензиновых двигателей.

Среди прочих мероприятий в последние годы выделяется технология отключения цилиндров на частичных нагрузках. Этому посвящено достаточно много работ [1–13]. В различных вариантах такой метод регулирования мощности пытаются применять как для бензиновых, так и для дизельных двигателей, двигателей, работающих на газовом топливе, гибридных силовых установок. Отключение цилиндров может дать дополнительный эффект, в том числе при организации рабочего процесса по циклу Миллера.

Одной из основных особенностей большинства работ является попытка реализации отключения цилиндров на двигателе с кривошипно-шатунным механизмом. Это условие усложняет процесс остановки поршня, что, как правило, не рассматривается, и не позволяет избавиться от сопровождающих движение механических потерь. Такая остановка возможна при реализации технологии на бесшатунном двигателе с кривошипно-кулисным механизмом [13].

Проведенные исследовательские и конструкторские работы позволяют утверждать, что в современных условиях такой двигатель может быть создан и доведен до серийного образца. Однако создание экспериментального образца в условиях вузовской науки, с одной стороны, затягивает процесс, а с другой – требует жесткой экономии средств. Существенную помощь оказывает применение средств математического и компьютерного моделирования.

Один из вопросов, возникших при проектировании экспериментального образца, это возможность применения штатной гидравлической системы смазки ДВС для гидропривода механизма отключения цилиндров. **Целью данного исследования** была предварительная оценка возможности одновременной работы гидропривода отключения от одного до трех цилиндров в четырехцилиндровом бензиновом двигателе.

Предпосылки и результаты предшествующих исследований

Конструкция разрабатываемого двигателя является оригинальной, поэтому опираться на чьи-либо исследования не представляется возможным. Для сокращения затрат и объема экспериментальных исследований авторами в качестве инструмента был выбран системный подход на основе имитационного моделирования в среде Matlab Simulink. Фактически имитационное моделирование является единственным способом получения информации о процессах, происходящих в сложной технической системе во время ее работы, особенно на этапе разработки. В связи с этим для исследуемого двигателя и, в частности, экспериментального образца разрабатываются математические и имитационные модели. Так, на данный момент получены модели рабочего процесса [14], динамики кривошипно-кулисного механизма [15] и гидропривода отключения цилиндра [16]. В конечном итоге это позволит получить информацию о работе двигателя в целом и о взаимодействии отдельных элементов в зависимости от эксплуатационных режимов.

Модель гидропривода отключения отдельного цилиндра основывалась на реальных конструктивных параметрах экспериментального узла механизма отключения цилиндров (МОЦ), с уточнением моделей отдельных элементов на основе экспериментов. Моделирование показало, что силы сопротивления, возникающие в цилиндропоршневой группе, при давлении ниже 0,2 МПа могут нарушать работу механизма [16]. Так как при подключении к системе смазки давление на входе в гидропривод МОЦ будет меняться в зависимости от режима работы двигателя и состояния отдельных узлов в системе смазки, имитационная модель была расширена. В нее был включен упрощенный цифровой двойник усредненной системы смазки бензинового двигателя аналогичного объема [17]. Это позволило рассмотреть работу МОЦ в различных вариантах включения – отключения: одного цилиндра, двух или трех одновременно.

Вопросы, на которые должно было ответить имитационное моделирование на данном этапе:

- каково быстродействие механизма отключения цилиндров при подключении от системы смазки двигателя на различных скоростных режимах;
- достаточно ли давление, создаваемое штатным масляным насосом двигателя, для отключения цилиндров;
- есть ли взаимное влияние механизмов при одновременной работе;
- как влияет гидропривод механизма на работу системы смазки двигателя.

Ответ на последний вопрос был опубликован ранее [17] и в данной статье рассматриваться не будет.

Условия проведения численного эксперимента

При проведении численного эксперимента на вход имитационной модели подавались последовательные сигналы на остановку поршня и его последующее подключение. Длительность импульса составляла 0,6 секунды. В течение 2 секунд имитировалась работа двигателя при постоянной частоте вращения коленчатого вала. На смену работы гидропривода из-за изменения частоты вращения отводилось 0,2 секунды.

В течение эксперимента рассматривалось 5 скоростных режимов работы: 800 мин^{-1} , 1500 мин^{-1} , 2250 мин^{-1} , 3500 мин^{-1} , 5000 мин^{-1} . Давление в цилиндре двигателя соответствовало нагрузке около 40 %.

Перед экспериментом параметры моделей настраивались таким образом, чтобы результаты эксперимента без ограничения по времени записывались в mat-файл с соответствующим именем эксперимента.

В качестве решателя был выбран алгоритм daessc.

При выборе решателя для симуляции модели учитывались следующие характеристики:

- системная динамика;
- устойчивость решения;
- скорость расчета.

Решатель daessc вычисляет состояние модели на следующем временном шаге путем решения систем дифференциально-алгебраических уравнений, полученных из моделей Simscape. По утверждению авторов он предоставляет надежные алгоритмы, специально разработанные для моделирования дифференциально-алгебраических уравнений, возникающих при моделировании физических систем.

Работа решателя была протестирована на упрощенной модели системы смазки. Он показал более высокую точность и скорость расчета на участках, где динамика не наблюдалась, и результат, аналогичный другим методам и алгоритмам, на участках с высокой динамикой. В первую очередь он сравнивался с методами, позволяющими решать жесткие задачи.

При моделировании с помощью метода Dormand-Prince или других, основанных на формуле Рунге-Кутты, моделирование приходило к практической остановке решения в некоторых точках. То есть даже при невысокой точности расчета в отдельных случаях расчет очень сильно замедлялся из-за значительного уменьшения шага.

Решатели, предназначенные для жестких задач, показывали более высокую производительность, но на стабильном участке расчета приводили к колебаниям в результате. При этом скорость решения на различных участках мало изменялась.

Для обеспечения приемлемого соотношения точности и скорости расчета максимальное значение шага по времени было установлено $0,001 \text{ с}$, относительная точность метода 10^{-5} .

Обсуждение результатов исследования работы механизма на имитационной модели

Отключение цилиндра осуществляется поворотом штока. Время поворота штока на угол 90° является максимальным временем срабатывания механизма. Предварительные экспериментальные исследования показали необходимость поворота на угол не более 45° . Момент отключения может происходить значительно раньше. Это зависит от режима работы и конструктивных особенностей механизма отключения. Но уже время поворота штока (рисунок 1) показывает, что по углу поворота коленчатого вала процесс отключения может растягиваться, в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, на несколько циклов.

Результаты показали, что за время $0,6 \text{ секунд}$ при отключении одного цилиндра шток успевает повернуться на свой максимальный угол около 90° только при частотах вращения от 1500 мин^{-1} . На минимальной частоте вращения холостого хода угол поворота составляет $0,6 \text{ рад}$. При такой скорости поворота вероятность отключения цилиндров за $0,6 \text{ с}$ снижается.

В случае отключения – подключения двух цилиндров угол уменьшается. Причина – недостаточное давление и расход масла в гидроприводе механизма.

При моделировании системы учитывалось влияние рабочего процесса на сопротивление повороту штока. Это показало неравномерность в работе отдельных механизмов. Так, средняя скорость подключения второго цилиндра значительно ниже при работе на малых частотах вращения коленчатого вала. За отведенное время на частоте холостого хода гидроцилиндр поворачивал шток не более чем на 10 градусов. Это, вероятно, не позволит отключить цилиндр за данный промежуток времени. При частоте вращения коленчатых валов 1500 мин^{-1} первый цилиндр успевает отключиться, а второй – с определенной вероятностью нет.

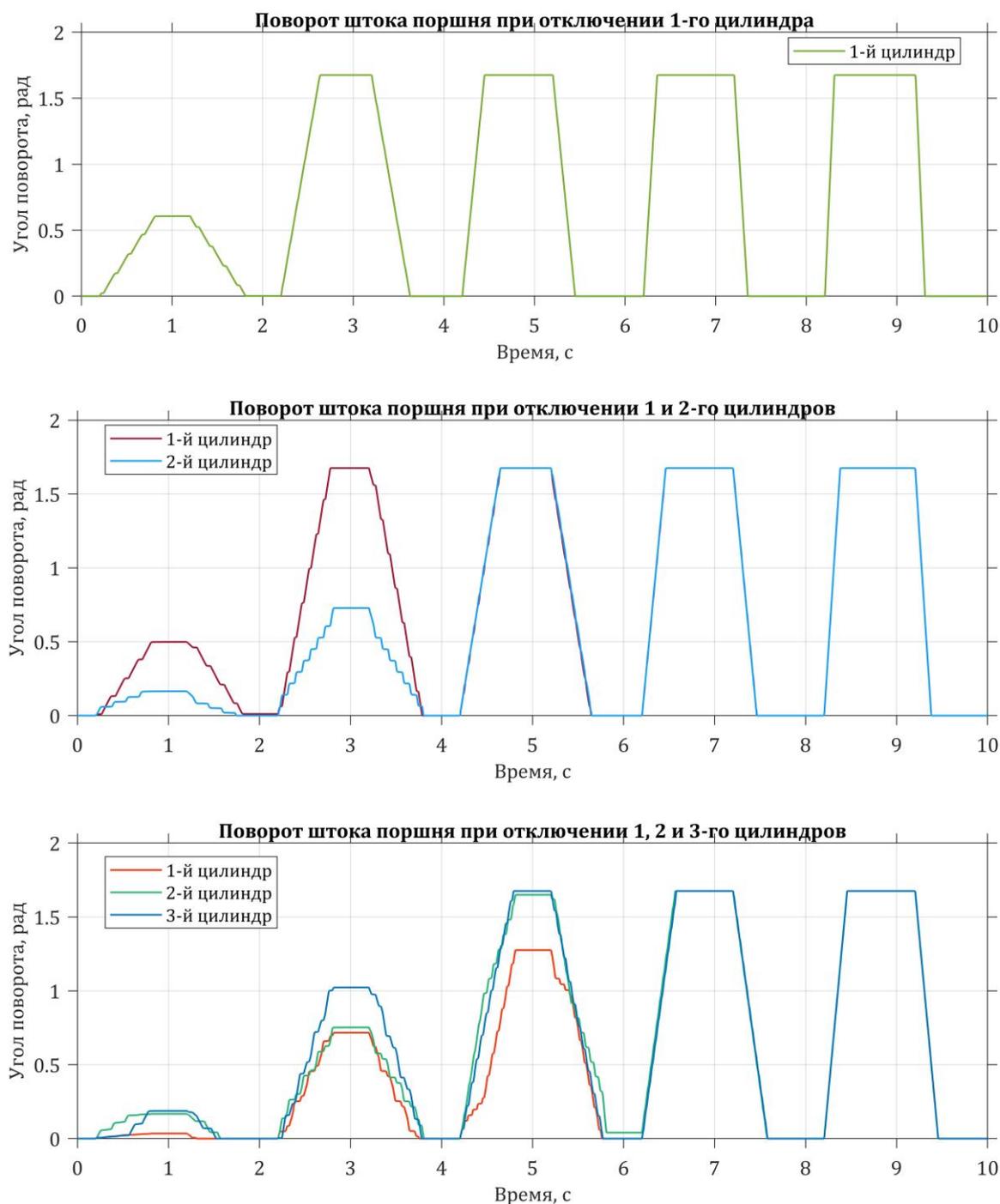


Рисунок 1 – Угол поворота штока цилиндра в зависимости от частоты вращения коленвала и от количества отключаемых цилиндров

Картина усугубляется при одновременном отключении 3-х цилиндров. При минимальной частоте вращения ни один из трех цилиндров отключить не удастся. При частоте вращения 1500 мин^{-1} один из трех цилиндров должен отключиться раньше. В условиях численного эксперимента это был третий цилиндр. Первый и второй оказались на грани отключения. Но и при частоте вращения 2250 мин^{-1} только шток одного цилиндра за отведенное время успел повернуться на максимальный угол. Угол поворота первого цилиндра составил не более 74° .

Можно констатировать факт, что только на частотах вращения выше 3000 мин^{-1} в штатной системе смазки двигателя наблюдается гарантированный поворот штока на угол 90° . И это при достаточно большой производительности масляного насоса (около 70 литров в час).

Следует заметить, что ступенчатый характер изменения угла поворота штока поршня определяется влиянием рабочего процесса на сопротивление повороту. Это хорошо видно на графиках, показанных на рисунках 2 и 3.

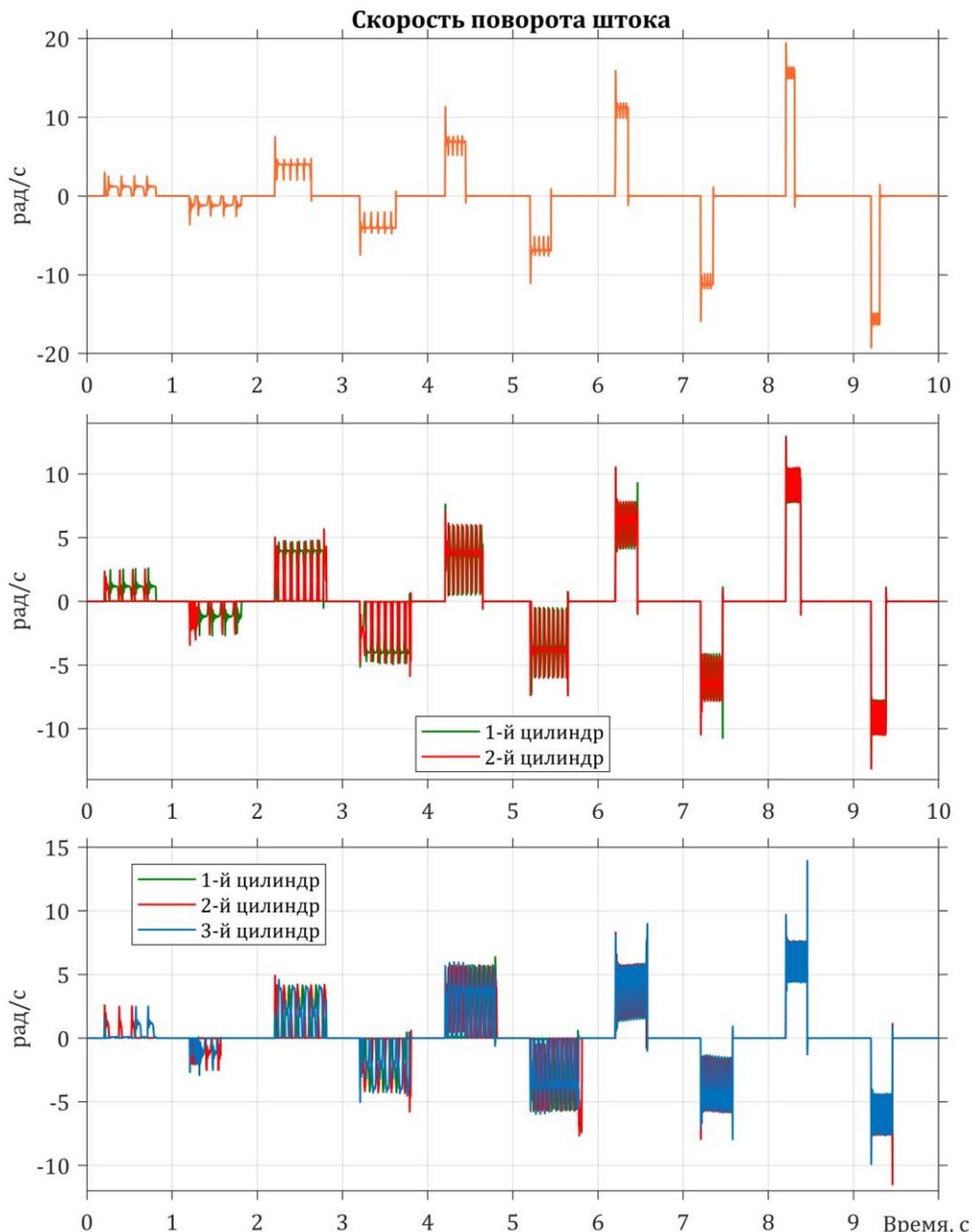


Рисунок 2 – Изменение скорости поворота штока на различных скоростных режимах при отключении одного, двух и трех цилиндров

По графикам видно, что за отведенное время в двигателе поворот происходит за 4–5 циклов независимо от скоростного режима. Однако этих циклов недостаточно при малых частотах вращения коленчатого вала и гарантировано достаточно при частоте вращения выше 3000 мин^{-1} .

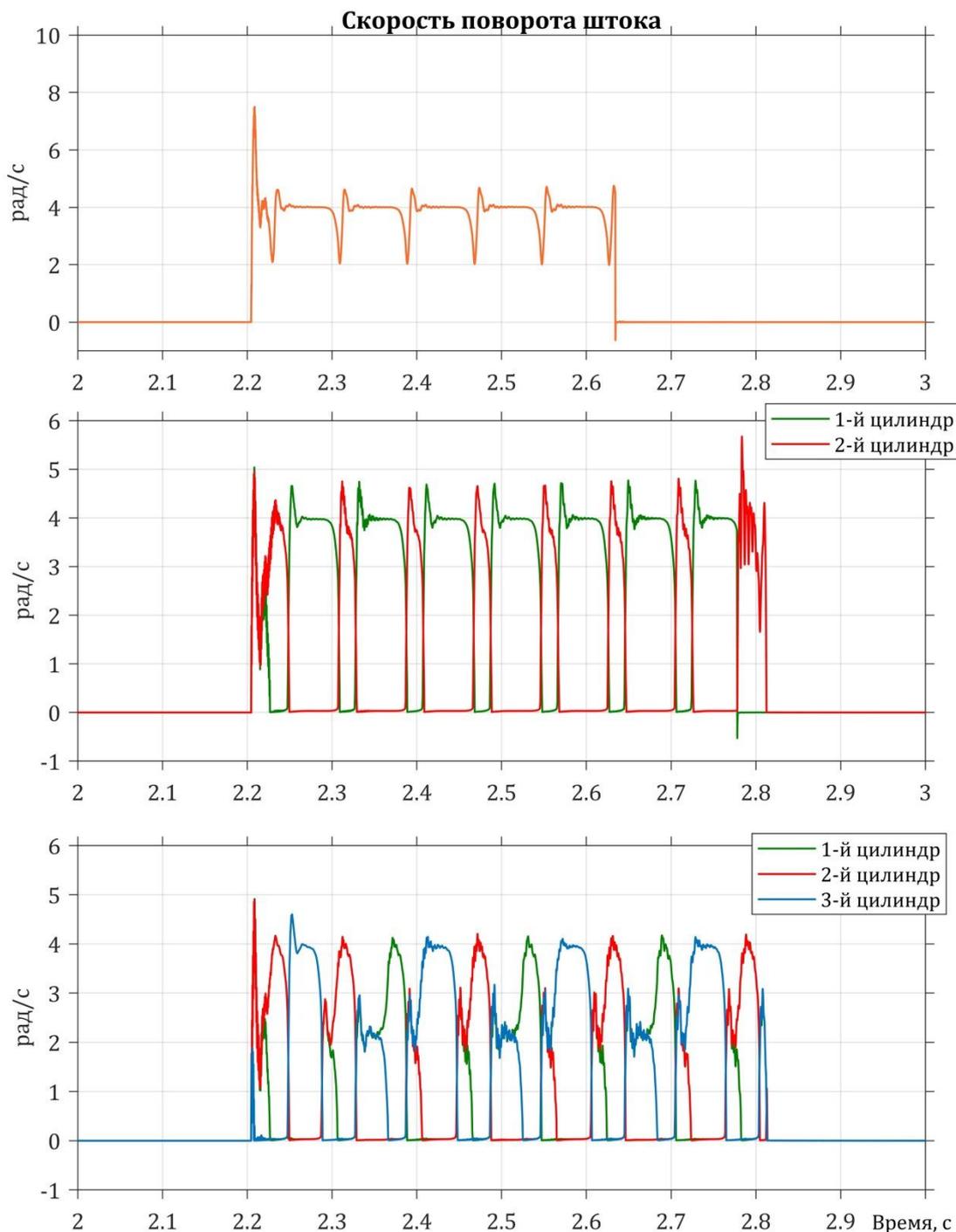


Рисунок 3 – Характер изменения скорости поворота штока при отключении одного, двух и трех цилиндров на частоте вращения валов двигателя 1500 мин^{-1}

Характер изменения скорости поворота штока неодинаков для разных цилиндров. Это связано как со смещением рабочего процесса в цилиндрах на угол, соответствующий порядку работы, так и с гидравлическими процессами в системе подачи масла. Как видно из гра-

фиков, скорость поворота штока может опускаться в отдельных случаях до 0. В особенности это характерно для низких частот вращения при одновременном отключении или подключении нескольких цилиндров. На высоких частотах вращения, несмотря на значительные колебания, такое явление не наблюдается.

Скорость поворота существенно зависит от ряда факторов. Для анализа удобно разместить ряд графиков на одном поле, с одинаковой шкалой времени (рисунок 4).

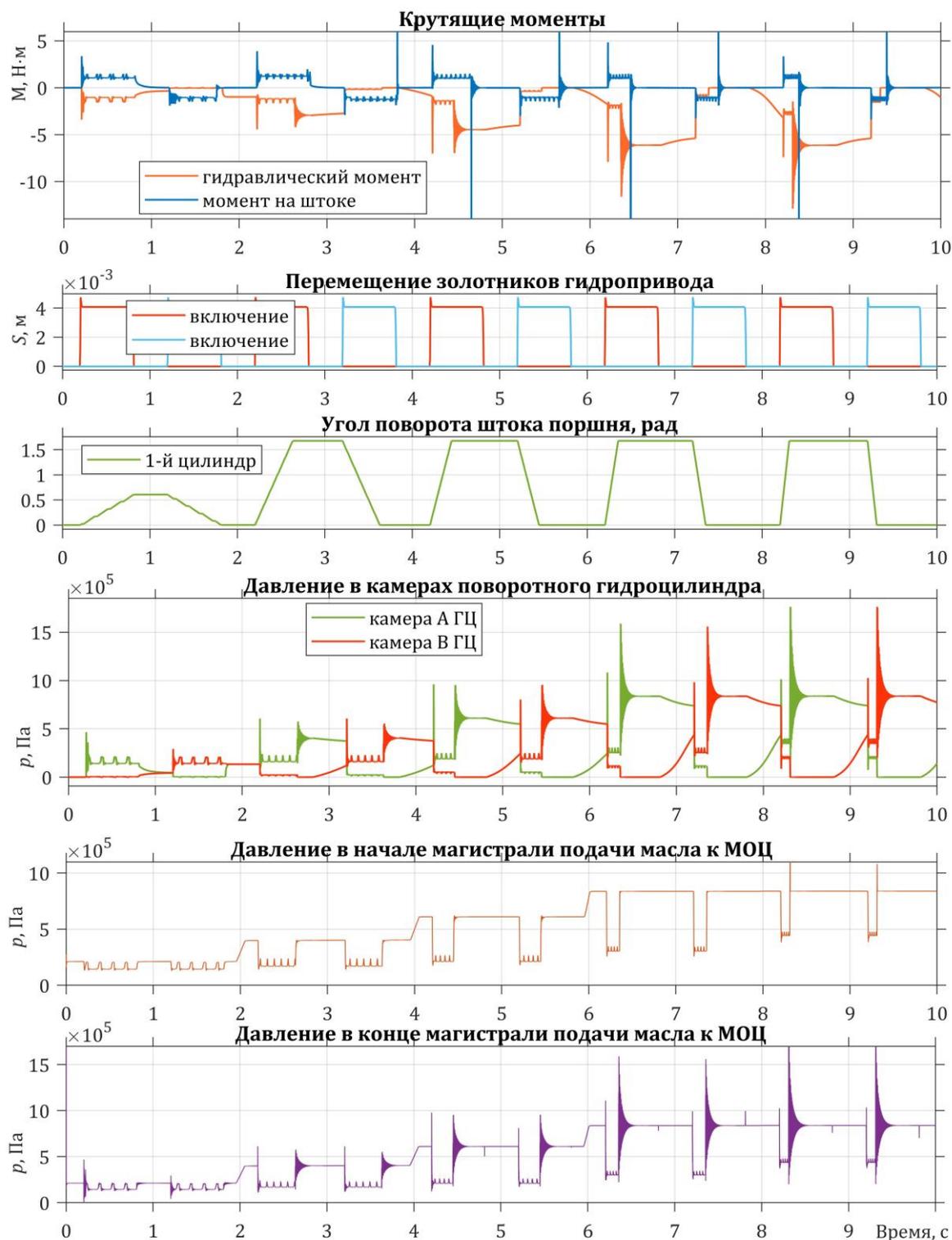


Рисунок 4 – Факторы, влияющие на характер поворота штока

Как видно из рисунка 4, движение штока начинается фактически в момент открытия золотника. В этот момент с некоторыми колебаниями растет крутящий момент, создаваемый поворотным гидроцилиндром. В случае с режимом, на котором не достигается максимальный угол открытия, снижение момента происходит достаточно плавно, что повторяет, с учетом инерционных моментов деталей поворотного гидроцилиндра, крутящий момент на штоке поршня. В случае достижения максимального угла поворота, происходит резкая остановка. Это видно по характерным колебаниям момента.

Колебательные явления связаны с инерцией масла, поступающего по каналам в камеры во время открытого состояния одного из управляющих золотников. По давлению в камерах поворотного гидроцилиндра хорошо видно, что при частоте вращения выше 2000 мин^{-1} поршень гидроцилиндра достигает крайнего положения в то время, как золотник продолжает быть открытым. Это приводит к гидравлическому удару. В результате давление повышается на частоте вращения коленчатого вала 5000 мин^{-1} примерно в два раза. Для предотвращения этого явления можно использовать возможности системы управления, закрывая золотник после открытия, но до достижения максимального угла поворота штока. Возможно изменение скорости перемещения золотника и плавное уменьшение площади проходного сечения. Кроме того, возможно внести изменения в конструкцию золотника для обеспечения упругих и демпфирующих свойств в крайних положениях.

Графики давления масла в начальной и конечной точках маслоподающей магистрали показывают, что причиной возникновения колебаний являются инерционные явления в самой магистрали. Они и создают колебания давления в камерах поворотного гидроцилиндра.

Для того, чтобы избежать подобных явлений, возможно применение решений конструктивного и алгоритмического характера, реализованных в системе управления отключением цилиндров. Например, возможна последовательная остановка поршней при низком давлении масла в магистрали.

Наличие сил трения в цилиндропоршневой группе, которые меняют знак на противоположный в зависимости от направления движения, имеют несколько составляющих и при этом трение покоя гораздо выше, чем кулоновское трение скольжения, создает сложный закон сопротивления повороту штока. При недостаточном давлении масла в камерах поворотного гидроцилиндра эти явления могут приводить к возникновению вибраций в момент страгивания штока. Это хорошо видно на графиках скорости на рисунке 5.

Как видно из графиков, такие колебания будут иметь место в любом случае, однако при недостатке давления и взаимном влиянии механизмов друг на друга амплитуды могут иметь существенное значение и в несколько раз превосходить среднюю скорость поворота штока. Поскольку силы трения зависят от нагрузки в цилиндре, отключение целесообразно проводить при ее снижении до уровня холостого хода, как предлагалось ранее [18]. Это позволит решить сразу несколько задач.

Существенное снижение давления в канале подачи масла в гидропривод МОЦ говорит о недостаточной производительности масляного насоса. Вероятно следует рассмотреть возможность установки дополнительного насоса для привода механизма отключения. В пользу этого решения может говорить тот факт, что перспективно с точки зрения надежности и принципов управления отключение цилиндров проводить при минимальных частотах вращения коленчатого вала. Так, например, при остановке автомобиля возле светофора и переходе двигателя на холостой ход работа всех четырех цилиндров не нужна, а следовательно, будет происходить отключение сразу трех цилиндров из четырех. Производительности штатного масляного насоса в этой ситуации будет недостаточно. Конечно, поворот гидроцилиндров в течение 4–5 циклов необязателен, но, как показывают результаты, он может значительно затянуться.

Таким образом, работа гидропривода механизма отключения цилиндров от штатной системы смазки может не обеспечить надежности включения – отключения и работы двигателя в целом.

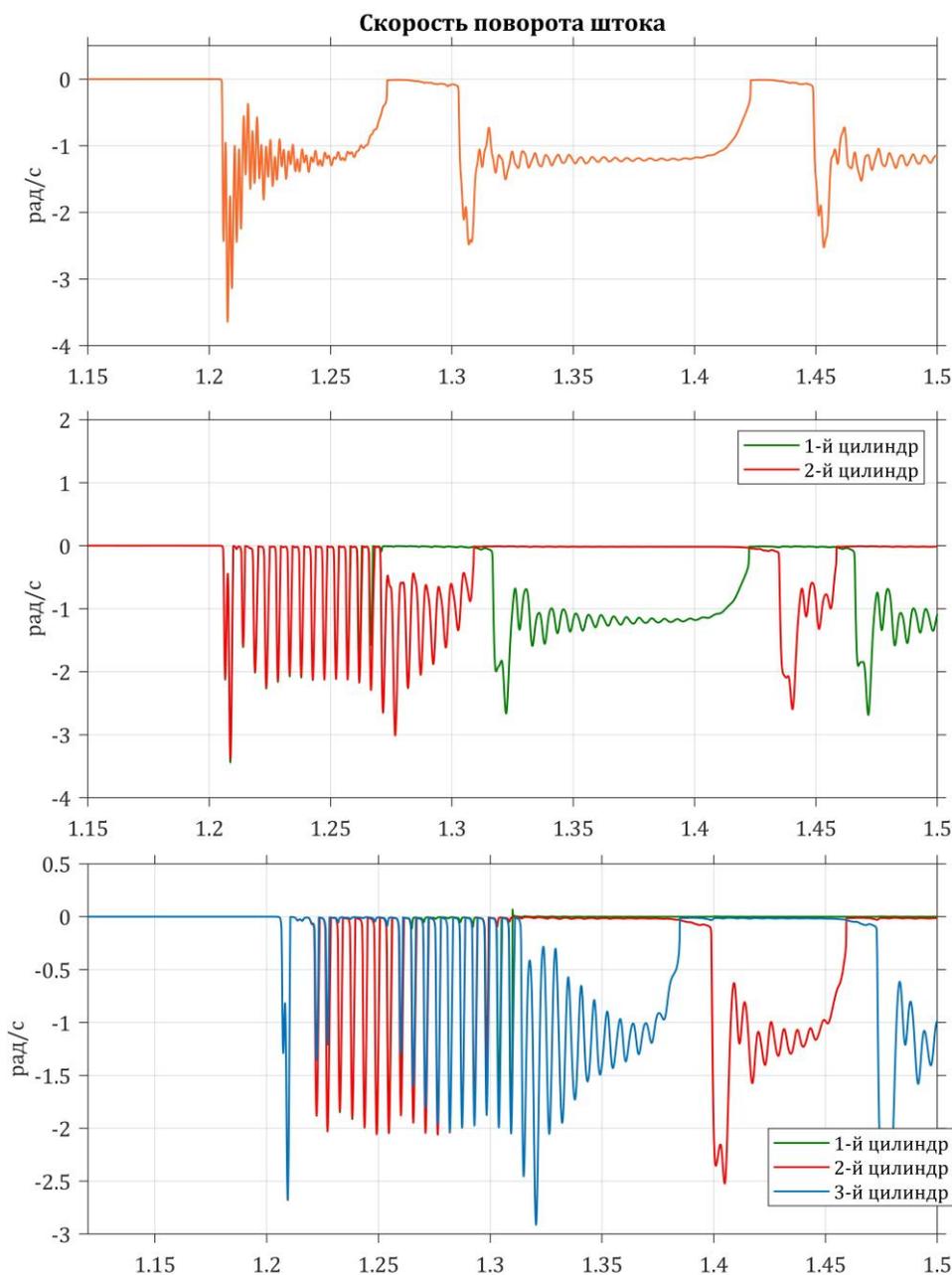


Рисунок 5 – Появление вибрации скорости поворота штока при включении одного, двух или трех цилиндров на частоте вращения валов двигателя 800 мин^{-1}

Заключение

Результаты проведенного исследования показали, что быстрдействие механизмов отключения цилиндров зависит от режима работы двигателя и количества одновременно работающих МОЦ, а система управления двигателем с отключением цилиндров должна учитывать быстрдействие механизма, связанное с давлением масла в системе смазки двигателя, режимом его работы и количеством одновременно работающих механизмов отключения цилиндра.

Инерционные явления в системе гидропривода МОЦ могут приводить к гидроудару и более чем двукратному повышению давления в поворотном гидроцилиндре. Для устранения гидроудара возможно внесение изменений в конструкцию поворотного гидроцилиндра в виде демпфирующих элементов или применение управляющих воздействий, в частности предварительное закрытие золотника до достижения поворотным гидроцилиндром крайней точки.

Давление, создаваемое штатным масляным насосом двигателя, может быть недостаточно для отключения цилиндров при одновременной работе нескольких механизмов.

При недостаточном давлении и производительности насоса, в связи с влиянием рабочего процесса на сопротивление повороту поршня, возможно появление вибраций вращательного характера в механизме отключения цилиндра и на штоке поршня. Для обеспечения работоспособности двигателя в различных условиях целесообразно подключить МОЦ отдельным насосом, питающимся маслом из поддона картера.

Список литературы

1. Strange, D. B. A Cylinder Deactivation Control Framework for Gasoline Engines without Valve Deactivation / D. B. Strange, P. Chen // *Materials Science, Computer Science : American Control Conference (ACC)*, 2020. – IEEE, 07.2020 – DOI: 10.23919/acc45564.2020.9147316.
2. Ying, L. The Effect of Cylinder Deactivation on Engine Performance / L. Ying, A. Kuznetsov // *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. – IEEE, 10.2020. – DOI: 110.1109/foreastcon50210.2020.9271303.
3. Evaluation Between Engine Stop/Start and Cylinder Deactivation Technologies Under Southeast Asia Urban Driving Condition / M. Abas [et al.] // *SAE Technical Paper Series*. – SAE International, 03/2017. – DOI: 10.4271/2017-01-0986.
4. Engine displacement modularity for enhancing automotive s.i. engines efficiency at part load / F. Millo [et al.] // *Fuel*. – 2016, Sept. – Vol. 180. – P. 645-652. – DOI: 10.1016/j.fuel.2016.04.049.
5. The effects of early inlet valve closing and cylinder disablement on fuel economy and emissions of a direct injection diesel engine / J. P. Zammit [et al.] // *Energy*. – 2015, Jan. – Vol. 79. – P. 100–110. – DOI: 10.1016/j.energy.2014.10.065.
6. Марков, В. А. Метод улучшения эксплуатационных показателей автомобильного газового двигателя / В. А. Марков, Ф. Б. Варченко, Ш. Р. Лотфуллин // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2018. – № 12(705). – DOI: 10.18698/0536-1044-2018-12-38-44.
7. Abas, M. Engine Operational Benefits with Cylinder Deactivation in Malaysian Urban Driving Conditions, SAE Technical Paper 2015-01-0983, 2015 / M. Abas, R. Martinez-Botas. – Текст : электронный. – URL: <https://doi.org/10.4271/2015-01-0983>.
8. Экологические качества бензинового двигателя автомобиля в режиме частичного отключения цилиндров / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, Г. Н. Салимоненко [и др.] // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. – 2019. – № 4(44). – С. 25–39.
9. Gritsenko, A. V. A Study of the Environmental Qualities of Diesel Engines and their Efficiency when a Portion of their Cylinders are Deactivated in Small-Load Modes / A. V. Gritsenko, K. V. Glemba, A. A. Petelin // *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. – 2019. – Vol. 33, Issue 1. – P. 70–79. – DOI: 10.1016/j.jksues.2019.12.001.
10. Improving the Partial-Load Fuel Economy of 4-cylinder SI Engines by Combining Improving the Partial-Load Fuel Economy of 4-cylinder SI Engines by Combining Variable valve Timing and Cylinder-Deactivation Through Double Intake Manifolds / J. Zhao, Q. Xi, S. Wang, [et al.] // *Applied Thermal Engineering*. – 2018, Aug. – Vol. 141. – P. 245–256. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.05.087.
11. Ortiz-Soto, E. Advanced Cylinder Deactivation with Miller Cycle / E. Ortiz-Soto, M. Younkings // *MTZ worldwide*. – 2019, Apr. – Vol. 80, № 5. – P. 58–63. – DOI: 10.1007/s38313-019-0032-1.
12. Shidore, N. Cylinder Deactivation and Propulsion Electrification / N. Shidore, M. Raghavan // *Proceedings of the 2020 USCToMM Symposium on Mechanical Systems and Robotics*. Springer International Publishing. – 2020. – С. 31–40. – DOI: 110.1007/978-3-030-43929-3_41.
13. Новый бесшатунный двигатель для автомобиля / Н. И. Мищенко, А. В. Химченко, Ю. В. Юрченко [и др.] // *8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса* : 31.01.2019. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2019. – С. 410–422.
14. Petrol Engine Workflow Model for Researching Unconventional Engines / A. V. Khimchenko [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021, Feb. – Vol. 659, № 1. – DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012074.

15. Модель четырехцилиндрового бесшатунного двигателя для исследования вибрации при отключении цилиндров / А. В. Химченко, Н. И. Мищенко, А. И. Петров [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.
16. Химченко, А. В. Имитационное моделирование работы механизма отключения цилиндра в двигателе с кривошипно-кулисным механизмом / А. В. Химченко, И. И. Мищенко // 8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса : 31.01.2019. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2019. – С. 383–396.
17. 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. – Текст : электронный // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : сборник научных трудов 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, 26–27 января 2021 г. / под редакцией А. А. Солнцева. – Москва : МАДИ, 2021. – С. 301–307. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44734896> .
18. Хімченко, А. В. Зниження нерівномірності крутного моменту двигуна з відключенням циліндрів на режимах часткового навантаження / А. В. Хімченко, Д. Г. Мішин, А. В. Бузов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 1. – С. 46–51.

А. В. Химченко¹, Н. И. Мищенко¹, Д. А. Дрючин², В. Р. Мамонтов¹, О. В. Савчук¹

1 – Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка;

2 – ФГОУВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

Предварительная оценка возможности использования системы смазки серийного двигателя для питания гидропривода механизма останова поршня

Рассмотрена работа гидравлического привода механизма отключения цилиндров путем останова поршня в бесшатунном двигателе с кривошипно-кулисным механизмом. Дана предварительная оценка возможности использования системы смазки серийного двигателя для питания гидропривода механизма. Целью исследования была предварительная оценка возможности одновременной работы гидропривода при отключении нескольких цилиндров в четырехцилиндровом бензиновом двигателе. Для получения результатов использовалось мультидоменное имитационное моделирование в среде Matlab Simulink. На основе созданных имитационных моделей был проведен и численный эксперимент, имитирующий работу механизма отключения цилиндров при разных частотах вращения коленчатого вала двигателя. Результаты работы приведены в виде графиков, характеризующих процессы в гидроприводе механизма отключения цилиндров. Выполнен анализ результатов моделирования. Выявлены факторы, создающие отрицательные эффекты и требующие внесения конструктивных изменений в отдельные узлы экспериментального образца двигателя.

Показано, что быстродействие механизмов отключения цилиндров зависит от режима работы двигателя и количества одновременно работающих МОЦ, а система управления двигателем с отключением цилиндров должна учитывать быстродействие механизма, связанное с давлением масла в системе смазки двигателя, режимом его работы и количеством одновременно работающих механизмов. Давление, создаваемое штатным масляным насосом двигателя, может быть недостаточно для отключения цилиндров при одновременной работе нескольких механизмов. Предложено для обеспечения работоспособности двигателя в различных условиях подключить гидропривод МОЦ отдельным насосом, питающимся маслом из поддона картера.

Результаты работы направлены на решение задач, связанных с разработкой бесшатунного двигателя внутреннего сгорания с отключением цилиндров путем останова поршня, но могут быть интересны разработчикам новых систем и приводов дополнительных механизмов, планирующих их подключение к штатной системе смазки двигателя.

БЕСШАТУННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, МЕХАНИЗМ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРИВОД, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, MATLAB SIMULINK

A. V. Khimchenko¹, N. I. Mishchenko¹, D. A. Driuchin², V. R. Mamontov¹, O. V. Savchuk¹
1 – Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka;
2 – Orenburg State University, Orenburg

Possibility Preliminary Assessment of Using the Lubrication System of a Serial Engine to Power the Hydraulic Drive of the Piston Stopping Mechanism

The work of the hydraulic drive of the cylinder shutdown mechanism by the piston stopping in the conrod-free engine with the crank-rocker mechanism is considered. A preliminary assessment of the possibility of using the lubrication system of a serial engine to power the hydraulic drive of the mechanism is given. The aim of the study was a preliminary assessment of the possibility of the hydraulic drive simultaneous operation when several cylinders are turned off in the 4-cylinder gasoline engine. To obtain the results, the multidomain simulation in the Matlab Simulink environment was used. On the basis of the created simulation models, the numerical experiment, simulating the operation of the cylinder shutdown mechanism at different speeds of the engine crankshaft was also carried out. The results of the work are presented in the form of graphs characterizing the processes in the hydraulic drive of the cylinder shutdown mechanism. The analysis of the simulation results is carried out. The factors that create negative effects and require the introduction of design changes in the individual units of the engine experimental model are identified.

It is shown that the speed of the cylinder shutdown mechanisms depends on the engine operating mode and the number of simultaneously operating MOCs, and the engine control system with the cylinder deactivation must take into account the speed of the mechanism associated with the oil pressure in the engine lubrication system, its mode of operation and the number of simultaneously operating mechanisms. The pressure generated by the standard engine oil pump may not be enough to shut off the cylinders when several mechanisms are operating at the same time. It is proposed to connect the MOC hydraulic drive with a separate pump fed with oil from the oil pan to ensure the engine performance in various conditions.

The results of the work are aimed at solving problems related to the development of the conrod-free internal combustion engine with the cylinder shutdown by stopping the piston, but may be of interest to developers of new systems and drives of additional mechanisms planning their connection to the standard engine lubrication system.

CONROD-FREE ENGINE, CYLINDER SHUTDOWN MECHANISM, HYDRAULIC DRIVE, SIMULATION MODELLING, MATLAB SIMULINK

Сведения об авторах:

А. В. Химченко

SPIN-код: 4568-1757
 Телефон: +38 (0624) 55-24-06
 Эл. почта: hiav@adidonntu.ru

Н. И. Мищенко

SPIN-код: 6604-8459
 Телефон: +38 (0624) 55-05-05

Д. А. Дрючин

Телефон: +7 (922) 852-10-34
 Эл. почта: dmi-dryuchin@yandex.ru

Статья поступила 04.03.2021

© А. В. Химченко, Н. И. Мищенко, Д. А. Дрючин, В. Р. Мамонтов, О. В. Савчук, 2021
Рецензент: А. Н. Дудников, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»