

**ФАЗЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ГИДРОУПРАВЛЯЕМЫХ КЛАПАНОВ ДВС**  
**Н.Р. Адигамов, А.В. Неговора, Л.А. Зимина, А.В. Максимов**

**Реферат.** Эффективность работы автомобиля или трактора сельскохозяйственного назначения зависит от характеристик двигателя, определяемых газораспределительным механизмом (ГРМ). Традиционный ГРМ с фиксированными фазами газораспределения, не обеспечивает качественный газообмен на всех рабочих режимах двигателя. Исследования проводили с целью улучшения характеристик двигателя путем использования гидропривода клапанов ГРМ. Привод позволяет отключать отдельные клапаны, задавать произвольным образом моменты их открытия и закрытия, обеспечивать несколько срабатываний клапанов ДВС в течении рабочего цикла. Работой привода управляет электронный блок управления (ЭБУ). Он обеспечивает подъем клапанов ГРМ на высоту порядка 14 мм. Закон перемещения клапана, выявленный экспериментально, близок к трапециевидному. Использование гидропривода клапанов оказывает положительное влияние на фактор «время-сечение» в зоне малых и средних частот вращения коленчатого вала. Приращение фактора «время-сечение» обусловлено значительными скоростями открытия и закрытия клапанов. В связи с особенностями кинематических характеристик движения клапанов при использовании гидропривода для их перемещения использование серийных фаз газораспределения двигателя нецелесообразно. Численным моделированием работы ДВС определена закономерность изменения фаз газораспределения от скоростного режима работы двигателя. Критерий оптимизации – достижение максимальной мощности. При выборе фаз газораспределения была исключена возможность встречи впускных и выпускных клапанов с поршнем двигателя. Оптимизация фаз при низкой частоте вращения коленчатого вала приводит к увеличению мощности до 4,5 %. Увеличение скоростного режима сопровождается уменьшением прироста мощности, а при высокой частоте вращения коленчатого вала – наблюдается ее незначительное (1,4 %) снижение. Увеличение крутящего момента, вплоть до коэффициента использования мощности равного 0,9, и последующее его снижение позволяют стабилизировать скорость движения автомобиля по поверхности с переменным сопротивлением. Повышение рабочего давления в гидроприводе клапанов позволяет интенсифицировать газообмен и при высокой скорости вращения коленчатого вала.

**Ключевые слова:** газораспределение, газообмен, гидропривод клапанов, фазы газораспределения, моторный стенд, эксперимент.

**Введение.** Двигатель сельскохозяйственной машины работает на различных скоростных и нагрузочных режимах. Значительное время он функционирует на переходных режимах. Большое влияние на режим его работы оказывают непрерывно меняющееся сопротивление со стороны поверхности почвы и используемого орудия [1].

Отдельные рабочие процессы в двигателе внутреннего сгорания традиционной конструкции оптимизированы в узком диапазоне рабочих режимов. За их пределами эффективность работы двигателя снижается, что негативно сказывается на расходе топлива и времени проведения сельскохозяйственных работ.

Один из способов улучшения характеристик ДВС – интенсификация газообмена цилиндров с окружающей средой. Этого можно достичь путем повышения скорости перемещения клапанов ГРМ и управления моментами их открытия и закрытия.

Традиционный ГРМ с механическим приводом клапанов практически исчерпал возможности своего усовершенствования. В последние годы стали широко применять системы изменения фаз газораспределения [2], системы ступенчатого и бесступенчатого [3, 4, 5] изменения порядка работы впускных клапанов. Однако они усложняют конструкцию ДВС и имеют определенные недостатки, ограничивающие гибкость управления клапанами.

Ряд авторов предлагают для перемещения клапанов использовать электромагнитный [6, 7], электромеханический [8] или пневматический [9] приводы клапанов. При этом они также не лишены изъянов, ограничивающих возможности применения в двигателях автомобилей и тракторов сельскохозяйственного назначения.

Для перемещения тяжелых клапанов ГРМ крупных ДВС хорошо подходит гидравлический привод с электронным управлением от бортового компьютера [10, 11, 12]. Благодаря высокому рабочему давлению он способен развивать значительные усилия при малых размерах. В силу малой сжимаемости жидкости положением клапана можно управлять с высокой точностью.

Наибольшие возможности для управления обеспечивает индивидуальный привод аккумуляторного типа [13]. Он позволяет управлять моментами открытия и закрытия каждого клапана ГРМ, эффективно гасить колебания клапанов, не нуждается в регулировке тепловых зазоров.

Цель исследований – улучшение характеристик ДВС путем установки гидропривода клапанов ГРМ с электронным управлением, взамен традиционного механического привода.

**Условия, материалы и методы.** В работе [14] авторами предложена схема гидравлического привода клапанов (рис. 1). В ней откры-

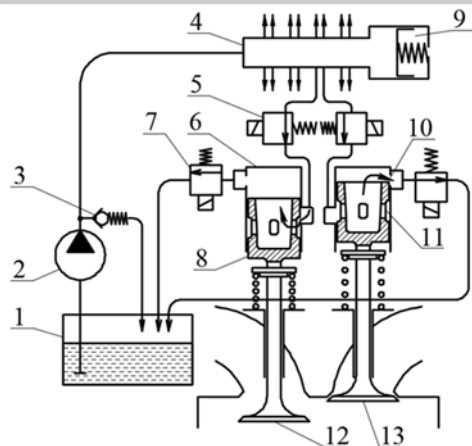


Рис. 1 – Гидроуправляемый ГРМ: 1 – поддон двигателя; 2 – насос; 3 – перепускной клапан; 4 – рампа; 5 – питающий ЭМК; 6 – гидроцилиндр; 7 – сливной ЭМК; 8 – поршень; 9 – демпфер пульсаций (гидроаккумулятор); 10 – окно гидротормоза; 11 – пояска ограничителя; 12 – впускной клапан; 13 – выпускной клапан.

тие клапанов ДВС 12, 13 осуществляется поршнем 8 гидроцилиндра 6, а его закрытие происходит под действием клапанной пружины. Для управления положением гидроцилиндра предназначены два электромагнитных клапана (ЭМК) 5, 7. Работой клапанов управляет электронный блок управления. Подача масла в гидроцилиндр осуществляется из рампы 4, снабженной демпфером (гидроаккумулятором) 9. Ограничение высоты подъема клапанов ДВС реализуется посредством пояска ограничителя 11, перекрывающего при подъеме клапана более 14 мм подачу масла в гидроцилиндр. Плавная посадка клапана двигателя на седло реализуется благодаря перекрытию торцом поршня сливного отверстия окна гидротормоза 10 в стенке гидроцилиндра.

Отдельные конструктивные решения предлагаемой схемы были защищены патентом [15].

Выбор такой схемы обусловлен возможно-

стью легкого монтажа гидропривода на двигатель КАМАЗ 740. Кроме того, она позволяет уменьшить длину магистралей, в которых рабочее тело (моторное масло) движется с высокой скоростью. Это должно положительно сказаться на эффективности гидропривода.

Для определения конструктивных параметров элементов гидропривода была составлена физико-математическая модель. При ее разработке использовали подходы, предложенные в работах [16], а также специально разработанное программное обеспечение [17]. По результатам моделирования привода [18] был предложен способ ограничения перемещения поршня гидроцилиндра [19].

Натурный эксперимент проводили на моторном стенде (рис. 2).

В качестве маслобака использовали поддон двигателя, температуру масла в котором контролировали с использованием датчика температуры 10 и указателя 9. Масло в рампу 15 подавали штатным насосом гидроусилителя автомобиля 11, 12. Регулировку давления в рампе осуществляли с использованием крана 14. Давление масла контролировали манометром 16 и стабилизировали гидроаккумулятором 17. На одну головку ДВС монтировали гидропривод, включающий два гидроцилиндра 23, обеспечивающих перемещение впускного и выпускного клапанов 24. Подачу масла в гидроцилиндры организовывали питающие электромагнитные клапаны (ЭМК) 18, 19, слив – ЭМК 20, 21. Управляет работой ЭМК блок управления 2 через усилители 3. Питание усилителей происходит от источников питания 1. Программирование блока управления в режиме реального масштаба времени осуществляет ПК 22. Положение клапанов контролировали скоростной видеокамерой 5. Моменты подачи питания на ЭМК определяли визуально по включению светодиодов 4, также снимаемых видеокамерой. Для возможности съемки клапанов ДВС головка двигателя

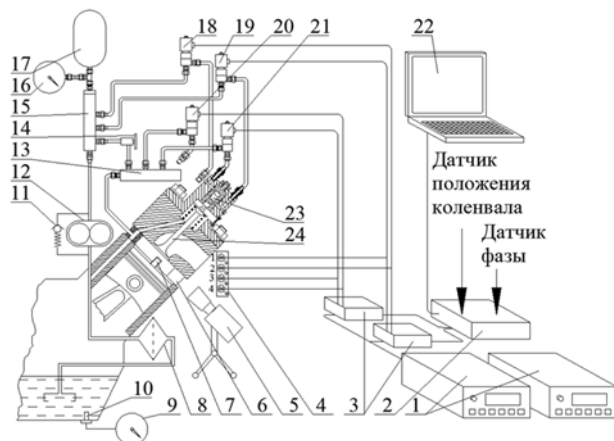


Рис. 2 – Исследовательский стенд: 1 – источники питания; 2 – блок управления; 3 – усилители; 4 - светодиоды; 5 – скоростная кинокамера; 6 – дистанционная втулка; 7 – шпилька в поршне; 8 – фильтр; 9 – указатель температуры; 10 – датчик температуры; 11 – предохранительный клапан; 12 – насос ГУР; 13 – сливная рампа; 14 – кран регулирования давления; 15 – питающая рампа; 16 – манометр; 17 – гидроаккумулятор; 18 – питающий ЭМК впускного клапана; 19 – питающий ЭМК выпускного клапана; 20 – сливной ЭМК впускного клапана; 21 – сливной ЭМК выпускного клапана; 22 – внешний ПК; 23 – поршень гидроцилиндра; 24 – выпускной клапан двигателя



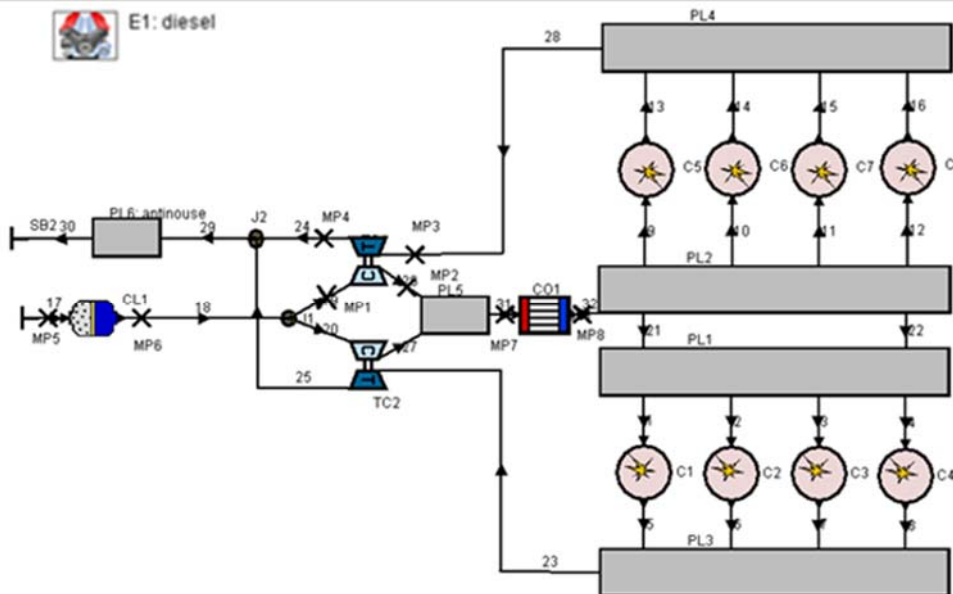


Рис. 3 – Модель двигателя КАМАЗ 740.72-360

была приподнята над цилиндром с помощью дистанционных втулок б.

Для обоснования целесообразности применения гидравлического привода клапанов ГРМ с электронным управлением было проведено моделирование работы ДВС КАМАЗ 740.72-360, реализованное с использованием ПО AVL Boost. Модель двигателя состоит из набора стандартных блоков библиотеки AVL Boost (рис. 3). В отдельной форме каждого блока задаются его параметры. Модель учитывает наличие на двигателе двух турбокомпрессоров и охладителя наддувочного воздуха. Процесс сгорания задавали с помощью формулы Вибе, теплообмен цилиндра с окружающей средой – с помощью формулы Вошни. Для контроля параметров в модель были введены несколько измерительных точек.

Для подтверждения адекватности создан-

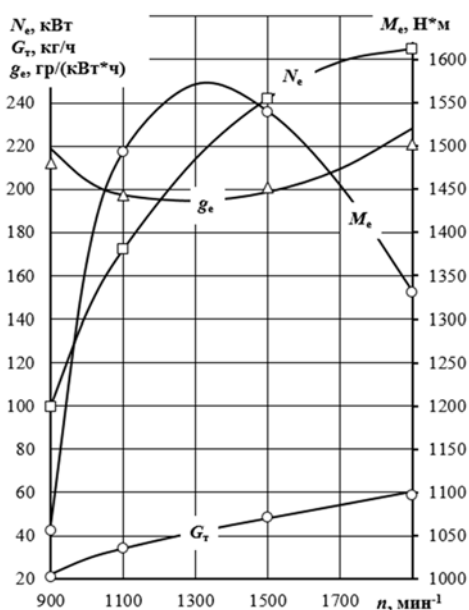


Рис. 4 – ВСХ КАМАЗ 740.72-360 и расчетные точки

ной модели реальному двигателю проводили ее верификацию с использованием внешней скоростной характеристики двигателя КАМАЗ 740.72-360. Сопоставление результатов расчетов с ВСХ, представленной заводом изготовителем (рис. 4), свидетельствует о их хорошем совпадении.

**Результаты и обсуждение.** Покадровая обработка видеоизображения позволила определить закон перемещения органов газораспределения по углу поворота коленчатого вала (рис. 5). Оно близко к трапецевидному. Средняя скорость подъема клапанов при давлении в гидроприводе 8 МПа составляет порядка 1,02 м/с, средняя скорость посадки клапана – 1,75 м/с. Скорость открытия клапанов ГРМ определяется рабочим давлением привода. В зоне удержания клапанов отмечается наличие автоколебаний с амплитудой менее 1 мм.

Результаты анализа влияния фаз газораспределения впускного клапана на мощность двигателя (рис. 6) свидетельствуют, что полученная трехмерная поверхность имеет одиночный максимум, соответствующий оптимальным фазам газораспределения. При частоте вращения коленчатого вала равной 1900 об/мин максимальная мощность двигателя достигается при угле опережения открытия впускного клапана 20° и угле запаздывания закрытия 15° поворота коленчатого вала.

Исследование влияния фаз газораспределения впускного и выпускного клапанов на мощность во всем скоростном режиме работы двигателя КАМАЗ 740.72-360 позволило определить оптимальные. При их окончательном выборе была исключена возможность встречи клапана с поршнем ДВС путем корректировки момента закрытия выпускного клапана или момента открытия впускного клапана. При увеличении скорости вращения коленчатого вала необходимо увеличивать углы опережения открытия впускного и выпускного клапа-

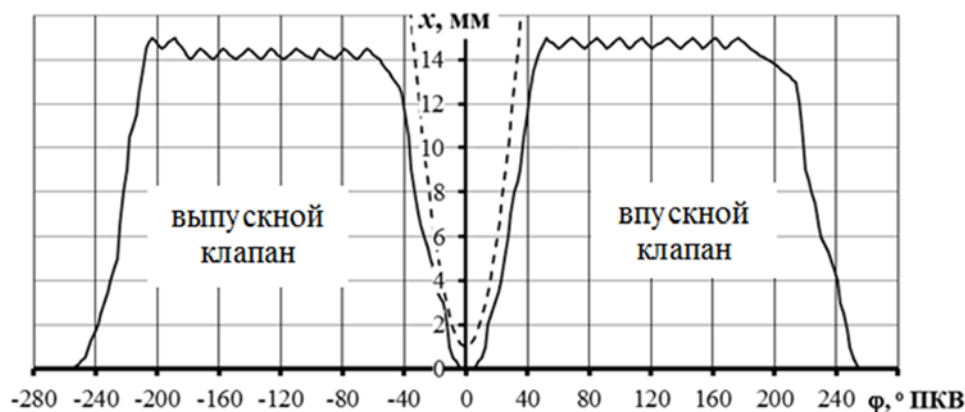


Рис. 5 – Закон перемещения клапанов на отдельном скоростном режиме  
 — перемещение клапана ----перемещение поршня ДВС

нов. Угол запаздывания закрытия впускного клапана меняется с максимумом при 1500 об/мин, а угол запаздывания закрытия выпускного клапана уменьшается по мере увеличения скорости вращения коленчатого вала.

Моделирование привода выявило, что скорость движения клапана слабо зависит от давления газов в цилиндре.

Анализ результатов исследований свидетельствует, что использование фаз газораспределения традиционного ГРМ для гидроуправляемого клапана нецелесообразно. В связи с изменением скорости открытия и закрытия клапанов существенно меняется характер газообмена на начальных и заключительных этапах движения клапана и его влияние на внутрицилиндровые процессы. На отдельных режимах наблюдаются обратные выбросы свежего заряда, недостаточная дозарядка цилиндра, избыточный свободный выпуск, снижающий работу расширения газов. Для гидроуправляемого ГРМ необходимо использовать фазы газораспределения, отличные от традиционных. Они должны меняться при изменении скоростного режима работы двигателя.

При использовании гидроуправляемого ГРМ возможна встреча клапанов с поршнями двигателя. Это вынуждает уменьшать угол опережения открытия впускного клапана при низкой скорости вращения и угол запаздывания закрытия выпускного клапана при высокой скорости вращения вала двигателя.

Особенность гидравлического привода клапанов – наличие зависимости фактора «время-сечение», определяемого по подъему клапана и углу поворота коленчатого вала от скоростного режима работы ДВС. С увеличением скоростного режима работы ДВС фактор

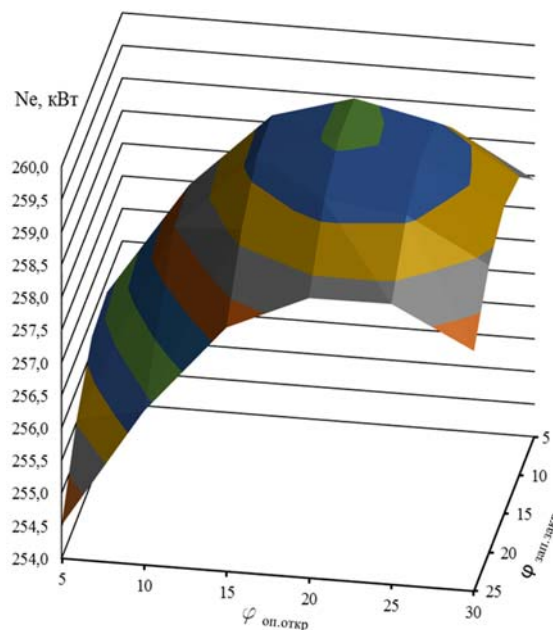


Рис. 6 – Влияние фаз газораспределения на мощность двигателя при 1900 об/мин для впускного клапана.

Таблица 1 – Фазы впуска и выпуска и мощность двигателя

Показатель	n, об/мин			
	900	1100	1500	1900
Открытие впускного клапана, ° до ВМТ	0	5	10	20
Закрытие впускного клапана, ° после НМТ	15	20	25	15
Открытие выпускного клапана, ° до НМТ	10	20	25	50
Закрытие выпускного клапана, ° после ВМТ	5	5	0	0
Мощность, кВт	104,5	178,8	245,0	261,4
Увеличение мощности ДВС при использовании гидропривода клапанов, %	4,5	4,0	1,2	-1,4

«время-сечение» уменьшается. При минимальной частоте вращения коленчатого вала он значительно больше, чем у серийного ГРМ. При номинальном скоростном режиме работы ДВС (1900 об/мин) гидравлический привод не имеет преимуществ, по сравнению с традиционным. Поэтому прирост крутящего момента и мощности двигателя наблюдается при низкой и средней скорости вращения коленчатого вала.

**Выводы.** Использование гидроприводного ГРМ целесообразно для двигателей автомобилей и тракторов сельскохозяйственного назначения. Результатом воздействия на газобмен служит увеличение мощности и крутящего момента двигателя при малых и средних

частотах вращения коленчатого вала. Незначительное снижение мощности при номинальном режиме приводит к увеличению коэффициента приспособляемости по моменту. Это стабилизирует скорость проведения сельскохозяйственных работ в условиях переменного сопротивления со стороны поверхности почвы и используемого орудия. Для улучшения газобмена при номинальном режиме необходимо увеличить давление в гидроприводе. Проведенная работа позволяет рекомендовать установку гидравлического привода клапанов в процессе модернизации двигателей традиционной конструкции, а также использовать его при разработке новых ДВС.

#### Литература

1. Халиуллин Ф. Х., Зиганшин Б. Г. Классификация условий эксплуатации энергетических установок машинно-тракторных агрегатов (на примере почвообработки) // Техника и оборудование для села. 2018. №3. С. 27–29.
2. Березовский А. Б., Максимов А. В. Двигатели внутреннего сгорания: Конструкция двигателей и их систем: учебно-методическое пособие. Казань: Изд-во АН РТ, 2020. 492 с.
3. От Valvematic до Variocam Plus: системы регулировки подъема клапанов и их ремонт. URL: <https://5koleso.ru/articles/garazh/ot-valvematic-do-variocam-plus-sistemy-regulirovki-podema-klapanov-i-ih-remont> (дата обращения: 05.11.2021).
4. Audi valvelift system. URL: [https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/engine-efficiency-technologies/audi-valvelift-system\\_en](https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/engine-efficiency-technologies/audi-valvelift-system_en) (дата обращения: 05.11.2021).
5. Valve-train-components-technology-and-failure-diagnosis. URL: <https://ab-engine.com/manuals/ina-valves.pdf> (дата обращения: 07.11.2021).
6. Соснин Д. А., Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы: учеб. пособ. для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей. М.: СОЛН-Пресс, 2005. 240 с.
7. Static and Dynamic Simulation of an Electromagnetic Valve Actuator Using COMSOL Multiphysics. URL: <https://www.comsol.com/paper/download/45996/Wislati.pdf> (дата обращения: 05.11.2021).
8. Британские инженеры «оцифровали» распределительный вал ДВС. URL: <https://hightech.fm/2018/01/22/combustion-engine> (дата обращения: 06.11.2021).
9. Бескулачный бой. Как устроен революционный двигатель без распредвала? URL: <https://motor.ru/lab/koenigsegg.htm> (дата обращения: 05.11.2021).
10. Забойщиков, В. Технология MultiAir. Дайте больше воздуха. URL: [http://www.5koleso.ru/articles/Tehnika/Tehnologiya\\_MultiAir\\_Dajte\\_bolshe\\_vozduha](http://www.5koleso.ru/articles/Tehnika/Tehnologiya_MultiAir_Dajte_bolshe_vozduha) (дата обращения 05.11.2021).
11. Design and Performance Evaluation of an Electro-Hydraulic Camless Engine Valve Actuator for Future Vehicle Applications / N. Kanghyun, Ch. Kwanghyun, P. Sang-Shin, et al. // Sensors. 2017. Vol. 17. No. 12. 2940. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/12/2940>. doi: 10.3390/s17122940 (дата обращения: 05.11.2021).
12. Expanding Combustion Knowledge – Lotus AVT. URL: <https://lotusproactive.wordpress.com/2014/04/09/expanding-combustion-knowledge-lotus-avt-system/?shared=email&msg=fail> (дата обращения: 05.11.2021).
13. Lotus Active Valve Train (AVT): circuito idraulico e diagramma distribuzione. URL: <https://www.ralphdte.eu/2011/05/24/lotus-active-valve-train-avt-circuito-idraulico-e-diagramma-distribuzione> (дата обращения: 05.11.2021).
14. Численное исследование газораспределительного механизма с электрогидравлическим приводом / А. Б. Березовский, Н. А. Гатауллин, Л. А. Зими́на и др. // Журнал автомобильных инженеров. 2015. №5 (94). С. 16–22.
15. Патент РФ №2014122679/06, 03. 06. 2014. Устройство гидравлического привода клапана двигателя внутреннего сгорания (варианты) // Патент России № 2569982. 2015. Бюл. № 34 / А. В. Максимов, А. Б. Березовский, Л. А. Зими́на и др.
16. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. ; 4-е изд., стереотипное, перепечатка со второго издания 1982 г. М.: «Издательский дом Альянс», 2010. 423 с.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015661650. Программа определения характеристик системы привода газораспределительного механизма ДВС с электрогидроуправляемыми клапанами 2015 / А. Б. Березовский, А. В. Максимов, Л. А. Зими́на и др. Заявка №2015615396. Дата поступления 22 июня 2015 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03 ноября 2015 г.
18. Electrohydraulic gas distributing mechanism control / A. V. Maksimov, A. B. Berezovsky, L. A. Zimina, et al. International journal of applied engineering research. Vol. 10. No. 24. 2015 С. 44966–44973.
19. Патент РФ №2014123242/06, 06. 06. 2014. Исполнительный механизм гидравлического привода клапана двигателя внутреннего сгорания (варианты) Патент России № 2561936. 2015. Бюл. № 25 / А. В. Максимов, А. Б. Березовский, Л. А. Зими́на и др.

#### Сведения об авторах:

Ади́гамов Наиль Ра́шатович – доктор технических наук, профессор; e-mail: [n-adigamov@rambler.ru](mailto:n-adigamov@rambler.ru)  
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Неговора Андрей Владимирович – доктор технических наук, профессор; e-mail: [negovora@bsau.ru](mailto:negovora@bsau.ru)  
Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

Зими́на Лариса Александровна – старший преподаватель; e-mail: [larek.adis@mail.ru](mailto:larek.adis@mail.ru)

Максимов Алексей Валерьевич – старший преподаватель, e-mail: [maks.adis@mail.ru](mailto:maks.adis@mail.ru)

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Россия.



## GAS DISTRIBUTION PHASES HYDRAULIC CONTROLLED INTERNAL COMBUSTION ENGINE VALVES

N.R. Adigamov, A.V. Negovora, L.A. Zimina, A.V. Maximov

**Abstract.** The efficiency of an agricultural car or tractor depends on the characteristics of the engine determined by the gas distribution mechanism (GRM). Traditional timing with fixed valve timing does not provide high-quality gas exchange at all engine operating modes. The aim of the work is to improve the characteristics of the engine by using the hydraulic drive of the timing valves. The drive allows you to turn off individual valves, set the moments of their opening and closing in an arbitrary way, provide several triggering of the internal combustion engine valves during the operating cycle. The drive is controlled by an electronic control unit (ECU). The advantage of the drive is its ease of integration into the internal combustion engine. The hydraulic drive ensures that the timing valves are lifted to a height of about 14 mm. The law of displacement of the valve, revealed experimentally, is close to trapezoidal. The use of a hydraulic valve drive has a positive effect on the "time-section" factor in the area of low and medium crankshaft rotational speeds. The increment of the factor "time-section" is due to the significant speeds of opening and closing the valves. Due to the peculiarities of the kinematic characteristics of the movement of the valves when using a hydraulic drive for their movement, the use of serial phases of gas distribution of the engine is impractical. Numerical modeling of the operation of the internal combustion engine determined the regularity of the change in valve timing from the high-speed operating mode of the engine. Optimization criterion is the achievement of maximum engine power. When choosing the valve timing, the possibility of meeting the intake and exhaust valves with the engine piston was excluded. The use of optimal phases leads to an increase in power up to 4.5% at a low crankshaft speed. With an increase in the speed mode, the increase in power decreases, and with a high frequency of rotation of the crankshaft, its slight decrease (1.4%) is observed. An increase in torque, up to a power utilization factor of 0.9, and its subsequent decrease, allow stabilizing the vehicle speed on a road with variable resistance. An increase in the working pressure in the hydraulic drive of the valves makes it possible to intensify gas exchange even at a high speed of rotation of the crankshaft.

**Key words:** gas distribution, gas exchange, hydraulic valve drive, gas distribution phases, motor stand, experiment.

## References

1. Khaliullin FK, Ziganshin BG. [Classification of operating conditions of power plants of machine-tractor units (on the example of soil cultivation)]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018; 3. 27-29 p.
2. Berezovskiy AB, Maksimov AV. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Konstruktsiya dvigatelei i ikh sistem: uchebno-metodicheskoe posobie*. [Internal combustion engines: Design of engines and their systems: teaching aid]. Kazan: Izd-vo AN RT. 2020; 492 p.
3. From Valvematic to Variocam Plus: valve lift control systems and its repair. [cited 2021, November 05]. Available from: <https://5koleso.ru/articles/garazh/ot-valvematic-do-variocam-plus-sistemy-regulirovki-podema-klapanov-i-ih-remont>.
4. Audi valvelift system. [cited 2021, November 05]. Available from: [https://www.audi-technology-portal.de/en/ drivetrain/engine-efficiency-technologies/audi-valvelift-system\\_en](https://www.audi-technology-portal.de/en/ drivetrain/engine-efficiency-technologies/audi-valvelift-system_en)
5. Valve-train-components-technology-and-failure-diagnosis. [cited 2021, November 18]. Available from: <https://ab-engine.com/manuals/ina-valves.pdf>
6. Sosnin DA, Yakovlev VF. *Noveishie avtomobil'nye elektronnye sistemy: ucheb. posob. dlya spetsialistov po remontu avtomobilei, studentov i prepodavatelei vuzov i kolledzhei*. [Newest automotive electronic systems: textbook]. Moscow: SOLN-Press. 2005; 240 p.
7. Static and dynamic simulation of an electromagnetic valve actuator using COMSOL multiphysics. [cited 2021, November 05]. Available from: <https://www.comsol.com/paper/download/45996/Wislati.pdf>.
8. British engineers "digitized" the internal combustion engine camshaft. [cited 2021, November 06]. Available from: <https://hightech.fm/2018/01/22/combustion-engine>.
9. Bulkless battle. How does a revolutionary engine without a camshaft work? [cited 2021, November 05]. Available from: <https://motor.ru/lab/koenigsegg.htm> (data obrashcheniya: 05.11.2021).
10. Zaboishchikov V. Technology MultiAir. Give more air. [cited 2021, November 05]. Available from: [http://www.5koleso.ru/articles/Tekhnika/Tehnologiya\\_MultiAir\\_Daite\\_bolshe\\_vozduha](http://www.5koleso.ru/articles/Tekhnika/Tehnologiya_MultiAir_Daite_bolshe_vozduha).
11. Kanghyun N, Kwanghyun Ch, Sang-Shin P. Design and performance evaluation of an electro-hydraulic camless engine valve actuator for future vehicle applications. *Sensors*. 2017; 17. (12). 2940 p. [cited 2021, November 05]. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/12/2940>. doi: 10.3390/s17122940.
12. Expanding combustion knowledge – Lotus AVT. [cited 2021, November 05]. Available from: <https://lotusproactive.wordpress.com/2014/04/09/expanding-combustion-knowledge-lotus-avt-system/?shared=email&msg=fail>.
13. Lotus Active Valve Train (AVT): circuito idraulico e diagramma distribuzione. [cited 2021, November 05]. Available from: <https://www.ralph-dte.eu/2011/05/24/lotus-active-valve-train-avt-circuito-idraulico-e-diagramma-distribuzione>.
14. Berezovskiy AB, Gataullin NA, Zimina LA. [Numerical study of a gas distribution mechanism with an electrohydraulic drive]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2015; 5 (94). 16-22 p.
15. Maksimov AV, Berezovskiy AB, Zimina LA. RF patent No. 2014122679/06, 03.06.2014. [Hydraulic drive device for the valve of an internal combustion engine (options)]. Patent Rossii № 2569982. 2015. Byul. 34.
16. Bashta TM, Rudnev SS, Nekrasov BB. *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody: uchebnik dlya mashinostroitel'nykh vuzov*. [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives: textbook for engineering universities]. 1982. Moscow: Izdatel'skii dom Al'yans. 2010; 423 p.
17. Berezovskiy AB, Maksimov AV, Zimina LA. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM №2015661650. Programma opredeleniya kharakteristik sistemy privoda gazoraspredelitel'nogo mekhanizma DVS s elektrogidroupravlyaemymi klapanami*. [Certificate of state registration of the computer program No. 2015661650. Program for determining the characteristics of the drive system of the gas distribution mechanism of an internal combustion engine with electrohydraulically controlled valves]. *Zayavka № 2015615396*. Data postupleniya 22.06.2015. Zaregistrovano v Reestre program dlya EVM 03.11.2015.
18. Maksimov AV, Berezovskiy AB, Zimina LA. [Electrohydraulic gas distributing mechanism control]. *International journal of applied engineering research*. 10. 24. 2015; 44966-44973 p.
19. Maksimov AV, Berezovskiy AB, Zimina LA. RF patent No. 2014123242/06, 06.06.2014. [The actuator of the hydraulic drive of the valve of the internal combustion engine (options)]. Russian]. Patent Rossii № 2561936. 2015; Byul. 25.

## Authors:

Nail Rashatovich Adigamov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: [n-adigamov@rambler.ru](mailto:n-adigamov@rambler.ru)  
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia  
 Negovora Andrey Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: [negovora@bsau.ru](mailto:negovora@bsau.ru)  
 Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia  
 Zimina Larisa Alexandrovna – senior lecturer, e-mail: [larek.adis@mail.ru](mailto:larek.adis@mail.ru)  
 Maximov Alexey Valerievich – senior lecturer, e-mail: [maks.adis@mail.ru](mailto:maks.adis@mail.ru)  
 Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev, Kazan, Russia