

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Сергей Топчий*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

*Sergey Topchiy*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

**Аннотация.** Приведены результаты испытаний двигателя 4Ч7,9/6,6, оборудованного регулируемым гидравлическим приводом клапанов газораспределительного механизма при работе двигателя в режимах частичных нагрузок.

**Ключевые слова:** Турбулентность, дросселирование, топливная экономичность, гидравлика, механизм клапанов, испытания, диаграмма, мощность.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Изменение мощности в ДВС с искровым зажиганием при любом постоянном скоростном режиме осуществляется количественным регулированием, то есть изменением количества топливно-воздушного заряда, который поступает в цилиндры двигателя при постоянном составе смеси.

При этом коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  смеси остается приблизительно одинаковым в результате одновременного изменения подачи топлива и коэффициента наполнения  $\eta_v$ .

При работе на частичных нагрузках в меру уменьшения нагрузки (дросселирования) наблюдается резкое снижение экономичности двигателя, которое достигает 50 % при нагрузке, которая составляет приблизительно 1/4 от полной.

Причины, через которые происходит подобное ухудшение, исследовались многими учеными, и являются следующими.

При количественном регулировании, прикрывая дроссельную (или воздушную) заслонку, увеличивают сопротивление впускной системы и уменьшают количество свежего заряда в цилиндре.

Это вызывает снижение давления в конце процесса сжатия и соответственно максимального давления сгорания в цилиндре, усиливается не идентичность в протекании сгорания в последовательных рабочих циклах.

В меру уменьшения открытия дроссельной заслонки наблюдается уменьшение скорости потока и соответственно турбуляризации заряда в цилиндре двигателя, что негативно влияет на смесеобразование.

На рис. 1 показано изменение скорости потока на разных участках впускной системы при изменении площади сечения дросселя  $f_{др}$ .

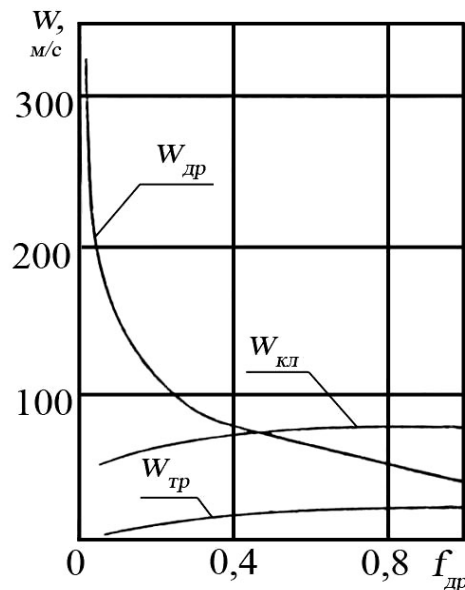
Как видно, при дросселировании скорость потока в зоне дроссельной заслонки растет, а во впускном трубопроводе и клапане уменьшается.

А поскольку смешивание компонентов горючей смеси в процессе смесеобразования происходит в результате молекулярной диффузии одного газа в другой, то поддержка оптимального значения таких параметров потока как его скорость, давление и температура необходимо не только в зоне распыла, но и по всей длине впускной системы.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ публикаций показывает что одним из путей уменьшения гидравлического сопротивления впускной системы и улучшения смесеобразования при работе двигателя в режимах холостого хода и частичных нагрузок является использование для регулировки его мощности ГРМ с изменяемой высотой подъема впускных клапанов.

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ



**Рис. 1.** Зависимость скорости воздуха в дросселе  $w_{др}$ , клапане  $w_{кл}$  и впускном трубопроводе  $w_{тр}$  от степени открытия дроссельной заслонки  $f_{др}$ .

**Fig. 1.** Dependence of speed of air in the throttle of  $w_{др}$ , valve of  $w_{кл}$  and inlet pipeline of  $w_{тр}$  from the degree of opening of throttle  $f_{др}$ .

При вытекании газа через клапан в результате резкого расширения потока и нарушения упорядоченного струйного движения газа появляется турбулентность в цилиндре при впуске. Наличие интенсивной турбулентности возле верхней мертвой точки обеспечивает интенсификацию турбулентности в фазе сгорания. Результат — улучшение топливной экономичности бензинового ДВС.

Разработкой газораспределительных механизмов ГРМ с возможностью дроселирования свежего заряда впускным клапаном занимаются такие компании как BMW, Volkswagen, Fiat, Honda, Toyota и др.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы являлась разработка альтернативного привода клапанов для двигателя 4С7,9/6,6 и проведение безмоторных и моторных испытаний для:

- определения работоспособности разработанного привода клапанов ГРМ;
- проверка соответствия фаз газораспределения (ФГР) двигателя фазам, рекомендованным заводом изготовителем;
- определение параметров процесса впуска при регулировании наполнения двигателя дроссельной заслонкой и изменением хода впускного клапана;

- определение характеристик топливной экономичности при регулировании мощности двигателя дроссельной заслонкой и впускным клапаном;

- индицирование двигателя и определение на основе полученных индикаторных диаграмм индикаторных и эффективных показателей работы двигателя, показателей процесса сгорания для двух способов регулирования мощности.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования влияния способа регулирования мощности впускным клапаном (ДВК) на показатели работы двигателя, было разработано несколько типов альтернативных приводов клапанов ГРМ. При выборе оптимального варианта привода учитывались следующие требования:

простота конструкции которая не требовала бы изменения конструкции головки цилиндров;

возможность использования в разработанной конструкции деталей штатного ГРМ; простота монтажа и демонтажа привода; возможность самостоятельного изготовления деталей;

простота регулирования хода клапанов и возможность полного исключения из работы отдельных цилиндров.

Указанные требования вполне удовлетворил гидравлический привод клапанов (ГПК) ГРМ с дроссельным регулированием. ГПК обеспечивает высокое быстродействие и допускает значительные усилия в исполнительных механизмах при их небольших размерах.

Это, в свою очередь, дает возможность использовать габариты существующей головки цилиндров.

Он легко регулируется по расходу рабочей жидкости, что имеет решающее значение для изменения хода клапанов вплоть до полного их исключения из работы.

В качестве рабочей жидкости использовалось масло из системы смазки двигателя.

В результате безмоторных испытаний была подтверждена работоспособность используемого ГПК и установлены ФГР максимально отвечающие ФГР рекомендованные заводом изготовителем (рис. 2).

На рис. 3 представлены графики изменения давления во впускном трубопроводе  $P_{вп}$  при дросселировании впуска клапаном.

Из графика видно, что уменьшение хода клапана  $h$  от 9 мм до 5 мм мало влияет на изменение величины  $P_{вп}$ .

Последующее уменьшение  $h$  приводит к росту  $P_{вп}$  вплоть до атмосферного.

Из этого можно сделать следующий вывод: для двигателя с системой ДВК, в результате постоянно открытой дроссельной заслонки, показатели работы определяются только по среднему индикаторному давлению  $P_i$ , в отличие от двигателя с регулированием мощности дроссельной заслонкой, для которого показатели работы можно оценивать или по давлению во впускном трубопроводе  $P_{вп}$  или по среднему индикаторному давлению  $P_i$ .

На рис. 4 представлены индикаторные диаграммы полученные для двух способов регулирования мощности: дроссельной заслонкой и впускным клапаном.

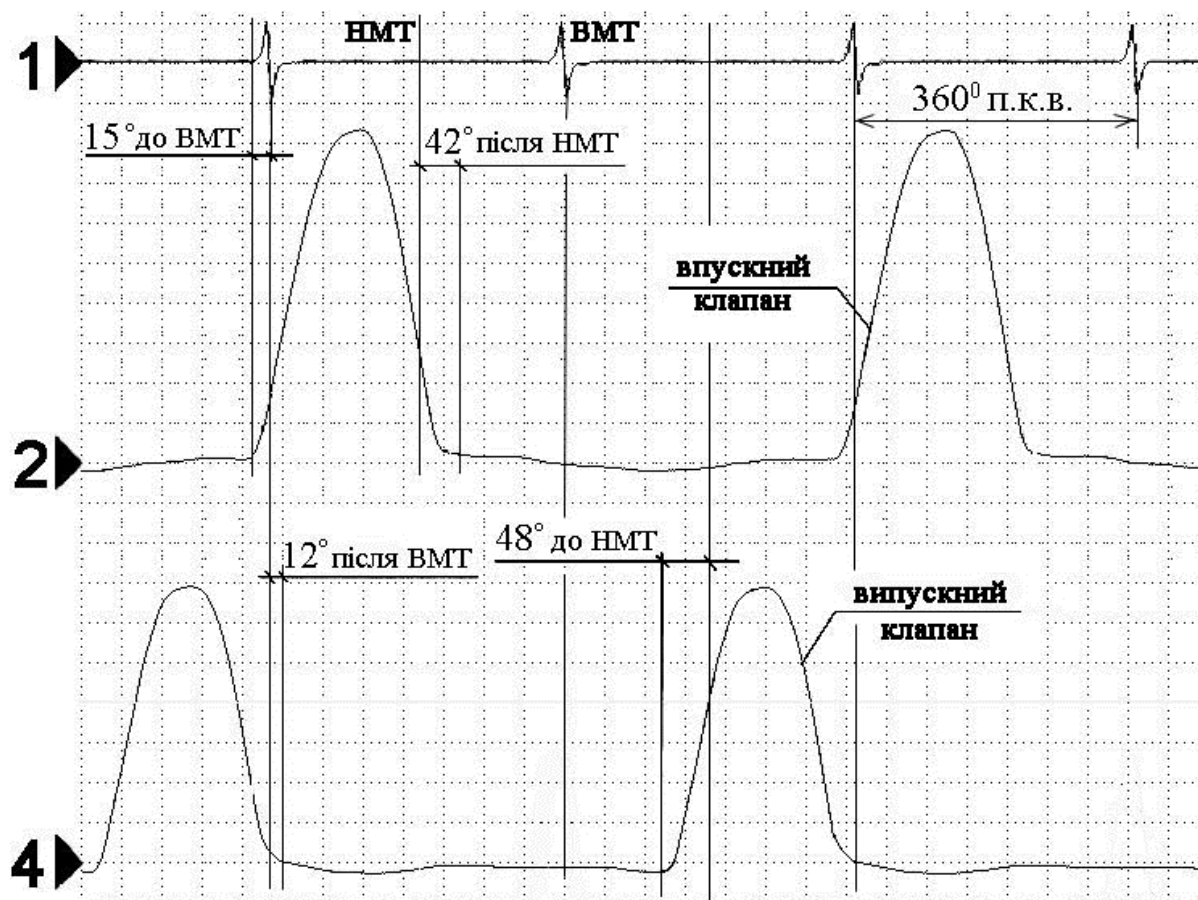
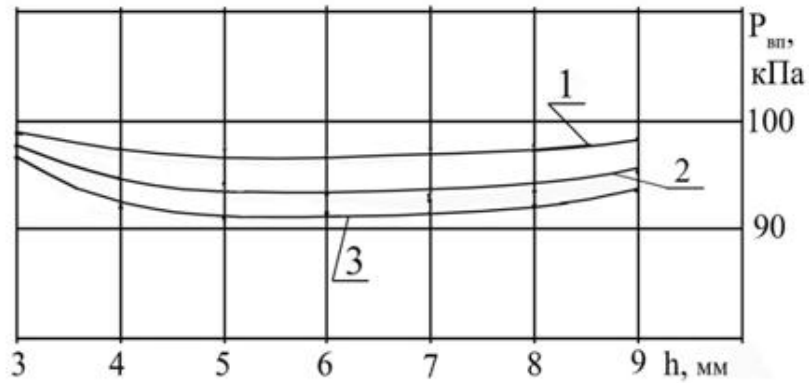
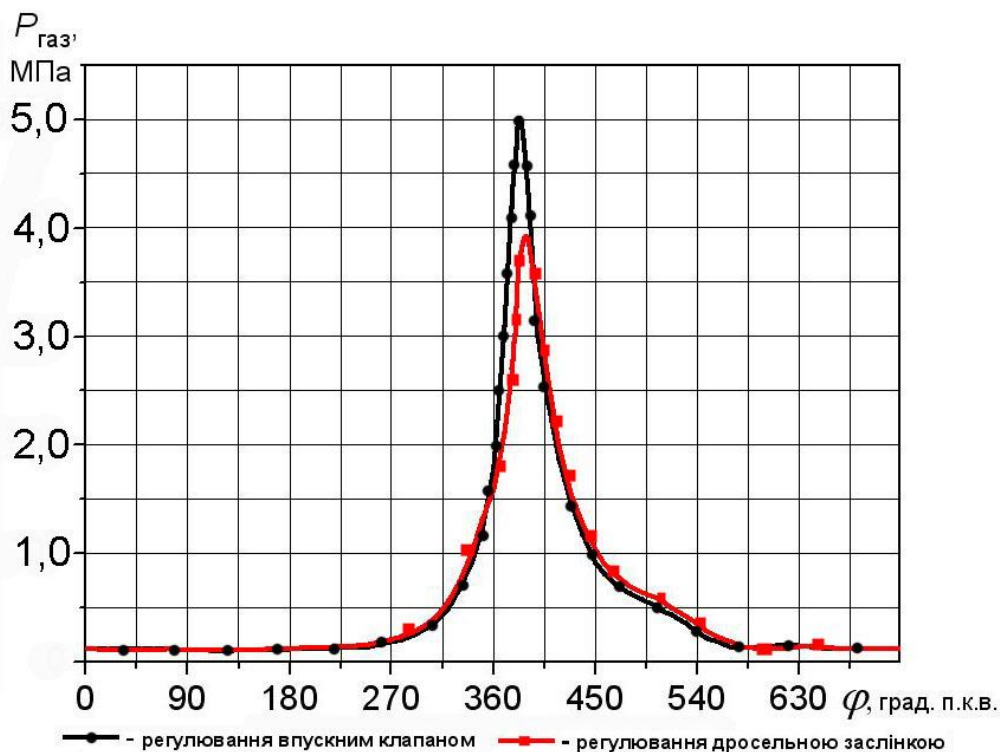


Рис. 2. Оциллограммы перемещения клапанов  
Fig. 2. Ostsillogrammi of moving of valves



**Рис. 3.** Зависимость давления во впускном трубопроводе  $P_{вп}$  от хода клапана  $h$ : 1 – 1000 мин<sup>-1</sup>; 2 – 1600 мин<sup>-1</sup>; 3 – 2200 мин<sup>-1</sup>

**Fig. 3.** Dependence of pressure in the inlet pipeline  $P_{vp}$  from the valve stroke of  $h$ : 1 – 1000 min<sup>-1</sup>; 2 – 1600 min<sup>-1</sup>; 3 – 2200 min<sup>-1</sup>



**Рис. 4.** Индикаторные диаграммы двигателя 4Ч7,9/6,6 оборудованного ГПК при  $n = 2800$  мин<sup>-1</sup>

**Fig. 4.** Indicator-diagrams of engine of 4Ч7,9/6,6 equipped hydraulics of valves at  $n = 2800$  min<sup>-1</sup>

Как видно из диаграмм при регулировании мощности системой ДВК наблюдается значительный и более стремительный рост давления в цилиндре. Максимальное давление сгорания находится ближе к верхней мертвой точке, что свидетельствует о росте скорости сгорания смеси. Анализ индикаторных диаграмм для определения показателей процесса сгорания показал следующее:

- при дросселировании свежего заряда впускным клапаном имеет место увеличение показателя характера сгорания до  $m = 5,6$  (при дросселировании заслонкой  $m = 4,0$ );
- длительность сгорания рабочей смеси  $\varphi_z$  сокращается до 58 град. п.к.в. по сравнению с регулированием мощности дроссельной заслонкой, для которого  $\varphi_z = 67$  град. п.к.в.;

- жесткость работы двигателя  $dp/d\phi$  возрастает при дросселировании свежего заряда впускным клапаном на 16...18 %.

На рис. 5 представлена зависимость скорости сгорания смеси  $w$  от угла поворота коленчатого вала  $\phi$  для разных способов регулирования мощности. Рост скорости сгорания заряда при регулировании мощности впускным клапаном свидетельствует о улучшении смесеобразования вследствие роста турбулентности заряда в цилиндре двигателя.

На рис. 6 представлены нагрузочные характеристики двигателя 4Ч7,9/6,6 при разных способах регулирования мощности.

Сравнивая графики нагрузочных характеристик нужно отметить, что использование системы ДВК для регулирования мощности двигателя, способствует уменьшению часового и удельного расхода топлива в пределах 10 %.

Нужно заметить, что представленные данные были получены для двигателя с двоклапанной системой газораспределения при не регулируемых ФГР.

Использование альтернативного привода клапанов ГРМ, например электрогидравлического, дает возможность обеспечить безступенчатое регулирование, как хода клапанов, так и ФГР в зависимости от скоростного и нагрузочного режима работы двигателя. Определение оптимальных ФГР для разных режимов работы двигателя, нуждается в гибком алгоритме управления ГРМ.

На рис. 7 представлена блок-схема контролера БУК-4КЦ разработанного для управления как электрогидравлическим и электромагнитным приводами клапанов, так и для управления шаговыми двигателями которые используются в таких приводах. Общий вид контролера представлен на рис. 8.

В состав контролера входят такие функциональные блоки: блок аналоговой обработки, блок цифровой обработки и силовой блок. Базовая структура контролера разработана в полном соответствии с требованиями к экспериментальному алгоритму управления исполнительными устройствами автомобильного двигателя – клапанами.

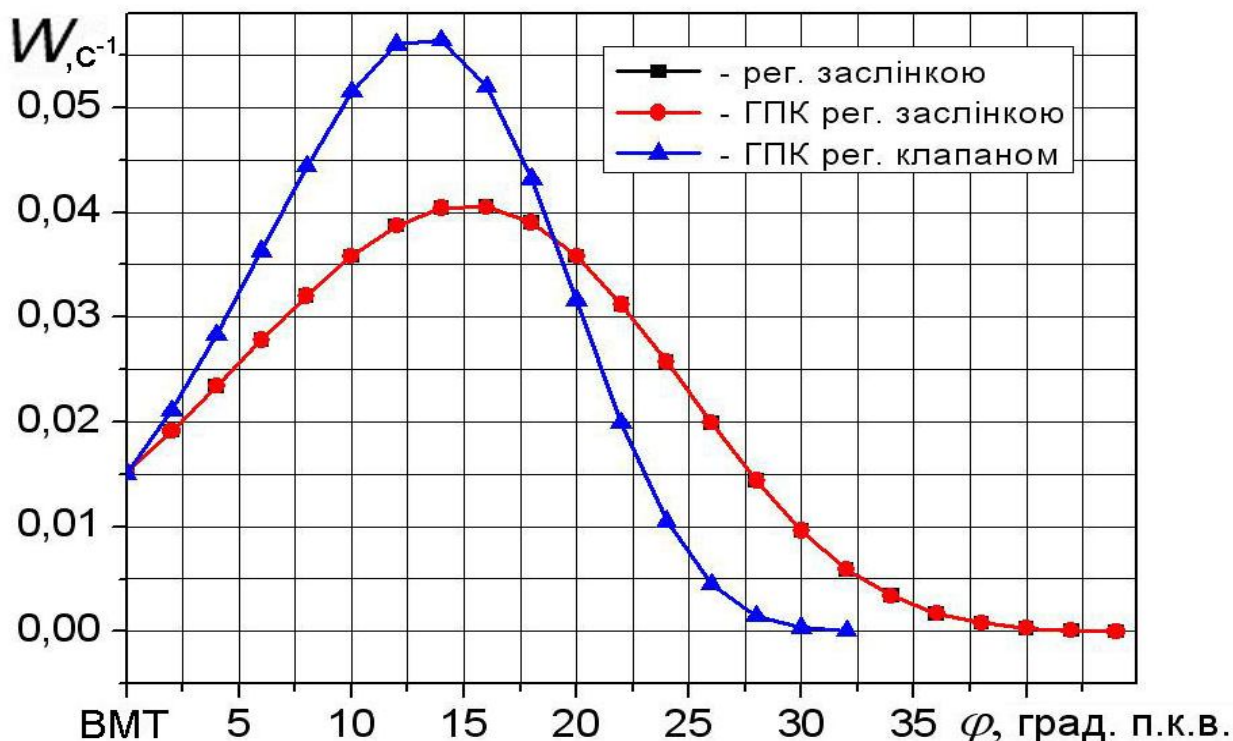
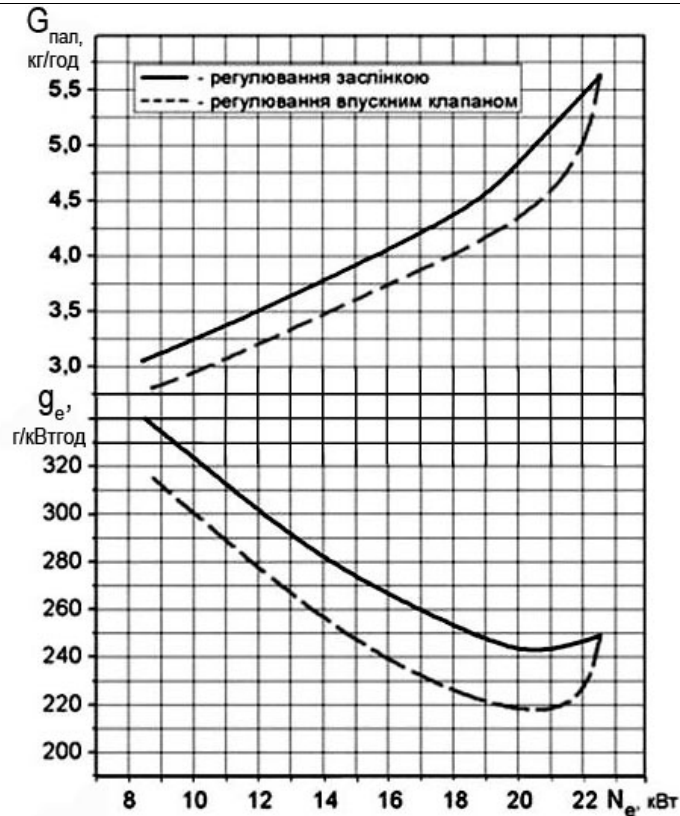


Рис. 5. Зависимость скорости сгорания смеси  $w$  от угла поворота коленчатого вала  $\phi$  для разных способов регулирования мощности

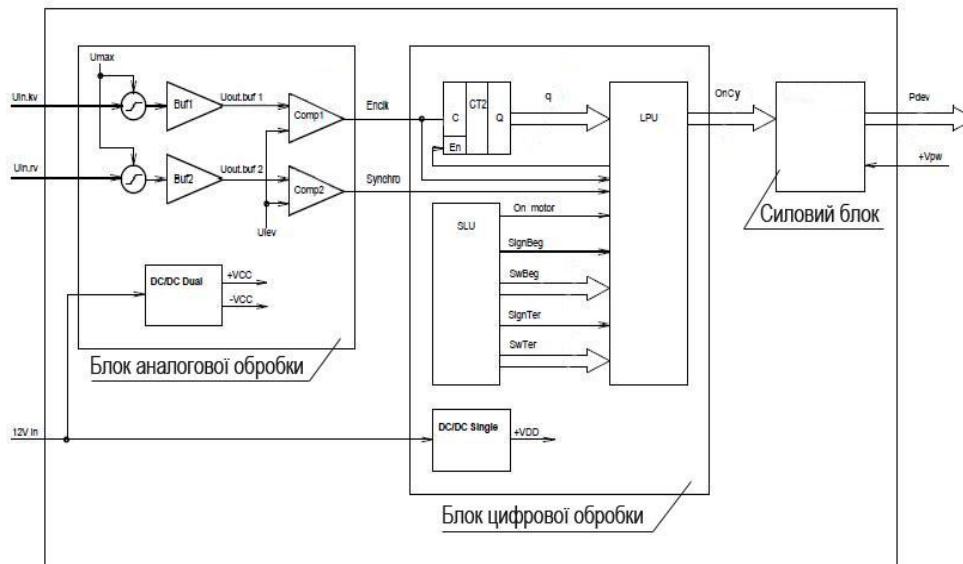
Fig. 5. Dependence of speed of combustion of mixture of  $w$  on the corner of turn of crankshaft  $\phi$  for the various methods of adjusting of power

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ  
НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ**



**Рис. 6.** Нагрузочные характеристики двигателя 4Ч7,9/6,6 при разных способах регулирования мощности при  $n=2800 \text{ мин}^{-1}$

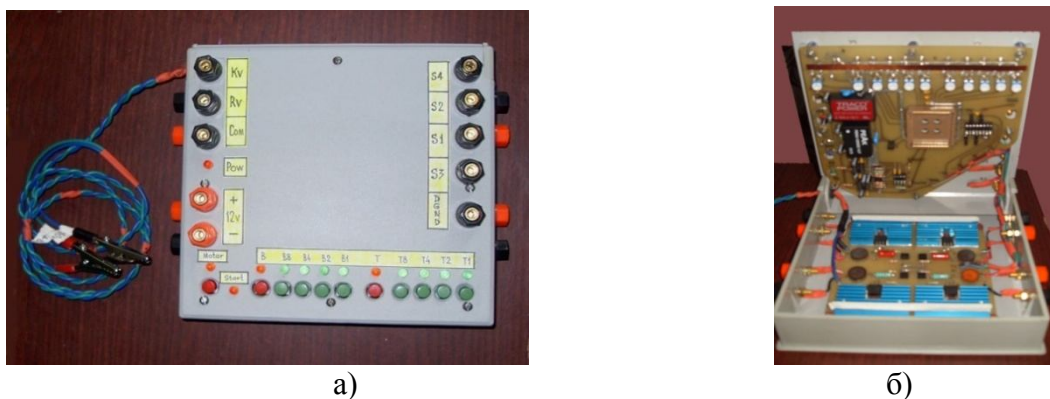
**Fig. 6.** Loading descriptions of engine 4Ч7,9/6,6 at different methods of adjusting of power at  $n=2800 \text{ min}^{-1}$



**Рис. 7.** Блок-схема контролера БУК-4КЦ  
**Fig. 7.** Flow-chart of the inspector БУК-4КЦ

На входы контролера подаются аналоговые сигналы  $U_{in.kv}$  и  $U_{in.rv}$  индуктивных датчиков, установленных на коленчатом и распределительном валах двигателя. Все процедуры обработки сигналов в аналоговом и цифровом блоках выполняются в реальном вре-

мени. В структуру контролера включены элементы управления временными и фазовыми характеристиками сигналов управления исполнительными устройствами (реализован проблемно-ориентированный интерфейс пользователя).



**Рис. 8.** Контролер БУК–4КЦ: а – внешний вид; б – внутренняя компоновка  
**Fig. 8.** The inspector БУК–4КЦ: a - original appearance; b - internal arrangement

### ВЫВОД

Одним из эффективных способов улучшения экономических и экологических показателей работы двигателя является регулирование мощности путем дросселирования свежего заряда впускным клапаном. Благодаря этому обеспечивается рост турбулентности во впускном тракте и цилиндре двигателя, что улучшает процессы смесеобразования и сгорания топливно-воздушной смеси.

Безмоторные и моторные испытания двигателя 4Ч7,9/6,6 оборудованного гидроприводом клапанов ГРМ показали следующее:

- простоту и невысокую стоимость изготовления ГПК с дроссельным регулированием хода клапана;
- возможность обеспечения точности регулирования хода клапана;
- простоту обслуживания (система не нуждается в регулировках в процессе эксплуатации);
- простоту отключения отдельных цилиндров двигателя или групп цилиндров;
- при дроселировании свежего заряда впускным клапаном показатель характера сгорания равен  $m = 5,6$  (при дроселировании заслонкой  $m = 4,0$ );
- длительность сгорания рабочей смеси  $\varphi_z$  сокращается до 58 град. п.к.в. по сравнению с регулированием мощности дроссельной заслонкой, для которого  $\varphi_z = 67$  град. п.к.в.;
- при дроселировании свежего заряда впускным клапаном жесткость работы двигателя  $d\mu/d\varphi$  возрастает на 16...18 %;

- система ДВК обеспечивает улучшение топливной экономичности двигателя в среднем на 10 % при работе в режимах частичных нагрузок;

- полученные показатели процесса сгорания дают возможность теоретически оценить ожидаемую эффективность внедрения системы ДВК на двигателях типа 4Ч7,9/6,6;

- определение оптимальных ФГР для разных режимов работы двигателя, при использовании альтернативных систем газораспределения нуждается в гибком алгоритме управления ГРМ;

- разработка и исследование ГРМ с качественно новыми характеристиками являются одним из перспективных направлений работы конструкторов ДВС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Avtomobil'ni 2007: Avtomobil'ni dviguni: pidruchnik / F.I. Abramchuk, Ju.F. Gutarevich, K.Ye. Dolganov, I.I. Timchenko. – K.: Aristej. – 476.
2. Balabin V.N. 2010: Nauchnye osnovy sozdaniya reguliruemih privodov gazorasprede-lenija lokomotivnyh dvigatelej vnutrennego sgoranija novogo pokolenija: avtoref. d-ra tehn. nauk: 05.02.02 / V.N. Balabin – M. – 50.
3. Vibe I.I. 1962: Novoe v rabochem cikle dvi-gatelja / I.I. Vibe. – Sverdlovsk: Mashgiz. – 271.
4. Voinov A.N. 1977: Sgoranie v bystrohodnyh porshnevnyh dvigateljah / A.N. Voinov – M.: Mashinostroenie. – 277.
5. Dvigateli 1983: Dvigateli vnutrennego sgoranija: Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej. Uchebnik dlja vtuzov po

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ  
НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

- special'nosti «Dvigateli vnutrennego sgoranija» / [D.N. Vyubov, N.A. Ivashhenko, V.I. Ivin i dr.]; pod red. A.S. Orlina, M.G. Kruglova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie. – 372.
6. Dacyk Ju. 2000: Proshhaj, drosel' / Ju. Dacyk // Avtocentr. – №42. – 26–27.
7. Djachenko V.G. 2008: Dviguni vnutrishn'ogo zgorannja: teorija / V.G. Djachenko. – H.: NTU «HPI». – 488.
8. Kakim 2000: Kakim stanet v budushhem privod k klapanam? // Avtostroenie za rubezhom. – №9. – 13.
9. Krajnjuk A.I. 2006: Reguliruemye sistemy gazoraspredelenija DVS / A.I. Krajnjuk. – Lugansk: Izd-vo SNU im. V. Dalja. – 232.
10. Krajnjuk A.I., Rybalchenko A.G. 1986: Gidroprivod klapanov gazoraspredelenija s rekuperativnymi svojstvami dlja vysokoobrotного transportного дизеля / A.I. Krajnjuk, A.G. Rybalchenko // Dvigatelestroenie. – №9. 39–40.
11. Lenin I.M. 1969: Teorija avtomobilnyh i traktornyh dvigatelej / I.M. Lenin – M.: Mashinostroenie. – 368.
12. Sviridov Ju.B. 1969: Osobennosti gazodinamicheskikh processov v dvigatele pri drosselirovanii napolnenija: Chast' I (teoreticheskaja) / Ju.B. Sviridov // Trudy CNITA,.–Vyp. 40.– 3–10.
13. Sistema 2009: Sistema izmenenija faz gazoraspredelenija Audi Valvelift System // Avtostroenie za rubezhom. – №12. – 8.
14. Sosnin D.A. 2005: Novejshie avtomobil'nye jelektromnye sistemy / D.A. Sosnin, V.F. Jakovlev. – M.: SOLON-Press. – 240.
15. Tehnologija 2009: Tehnologija klapanogo raspredelenija MultiAir koncerna Fiat // Avtostroenie za rubezhom. – №12. – 9.
16. Filippov A.Z. 2008: Gidravlichnij privod klapaniv gazorozpodil'nogo mehanizmu dviguna vnutrishn'ogo zgorannja / A.Z. Filippov, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko // Naukovij visnik Nacional'nogo agrarnogo universitetu. – № 126. – 244–248.
17. Pat. 2009: Pat. 87357 Ukraina MPK F01L 9/00. Gazorozpodil'nij mehanizm dviguna vnutrishn'ogo zgorannja / A.Z. Filippov, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko, Ju.A. Gerasimchuk; zajavnik i patentovlasnik Nacional'nij universitet bioresursiv i prirodo-koristuvannja Ukraini. – a200709790; zajavl. 31.08.2007; opubl. 10.07.2009, Bjul. №13.
18. Pat. 2009: Pat. 91786 Ukraina, MPK F01L 9/04. Elektromagnitnij privid klapaniv GRM / S.I. Topchij; zajavnik i patentovlasnik Nacional'nij universitet bioresursiv i prirodo-koristuvannja Ukraini. – a200902739; zajavl. 24.03.2009; opubl. 25.08.2010, Bjul. №16.
19. Pat. 2013: Pat. 102802 Ukraina, MPK F01L 9/00, F02D 13/00. Sistema upravlinnja elektromagnitnim klapanom gazorozpodil'nogo mehanizmu dviguna vnutrishn'ogo zgorannja / A.V. Bozhenko, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko; zajavniki i patentovlasniki A.V. Bozhenko, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko. – a 2012 13652; zajavl. 29.11.2012; opubl. 12.08.13, Bjul. №15.
20. Filippov A., Beshun O., Krasowski E. 2001: Pro mozhlivist' reguljuvannja potuzhnosti bagatocilindrovih dizel'nih dviguniv metodom vidkljuchennja okremih robochih cikliv // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Nacional'nij agrarnij universitet, Kiev, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – T.1. – 33–37.
21. Anatolij Filippov, Aleksej Beshun, Yuriy Gerasimchuk, Olga Gluhovska, Ludmila Evchenko. 2005: Dinamika dizel'nogo DRC (dvigatelja s regulirovaniem moshhnosti otkljucheniem od del'nyh rabochih ciklov) // MOTROL: Motoryzacija i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – T. 7. – 83–91.

**INFLUENCING OF METHOD  
OF ADJUSTING OF POWER  
BY INDUCTION-VALVE ON FUEL  
ECONOMY OF PETROL ENGINE**

**Summary.** The results of tests of engine are described 4Ч7,9/6,6 equipped by a gas-distributing mechanism with hydraulic drive of valves, which enabled to regulate engine power by the change of motion of induction-valves.

**Key words:** turbulence, throttling, fuel economy, hydraulic, valves gear, tests, diagram, power.