

УДК 519.2

М. В. ПРОКОПЕНКО**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ ФАЗ ГАЗОРОЗПОДІЛУ НА РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ НА ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОТРАКТОРНОГО ДВИГУНА**

В роботі на прикладі двигуна 4ЧН12/14 виконано аналіз впливу зміни фаз газорозподільчого механізму на економічні показники двигуна з урахуванням конкретної моделі його експлуатації. Проаналізовано взаємозв'язок тривалості фаз газорозподільчого механізму та режимів конкретної моделі експлуатації (а саме зміни частоти обертання колінчастого валу, потужності двигуна, крутного моменту двигуна). Розроблено методику оцінки впливу фаз газорозподільчого механізму на показники роботи автотракторних двигунів на різних режимах роботи.

Ключові слова: газорозподільчий механізм, модель експлуатації автотракторного двигуна, економічні показники двигуна, фази газорозподільчого механізму.

В работе на примере двигателя 4ЧН12/14 выполнен анализ влияния изменения фаз газораспределительного механизма на экономические показатели двигателя с учетом конкретной модели его эксплуатации. Проанализирована взаимосвязь продолжительности фаз газораспределительного механизма и режимов конкретной модели эксплуатации (а именно частоты вращения коленчатого вала, мощности двигателя, крутящего момента двигателя). Разработана методика оценки влияния фаз газораспределительного механизма на показатели работы автотракторных двигателей на различных режимах работы.

Ключевые слова: газораспределительный механизм, модель эксплуатации автотракторного двигателя, экономические показатели двигателя, фазы газораспределительного механизма.

In process on the example of engine 4ЧН12/14 the analysis of influence of change of phases of gas-distributing mechanism is executed on the economic indicators of engine taking into account the concrete model of his exploitation. The interrelation of duration of phases of a gas distribution mechanism and the modes of concrete model of operation is analysed (namely rotary speeds of a bent shaft, engine power, torque of the engine). Methodology of estimation of influence of phases of gas-distributing mechanism is worked out on the indexes of work of motor vehicle and tractor engines on different mode work. Need of the accounting of the concrete mode (model) of operation at assessment of economic and ecological indicators of operation of the engine is shown. Results of calculation of influence of phases of a gas distribution (are given at constant phases of an admission or release) on indicators of operation of the engine. Recommendations about the choice of values of phases of a gas distribution mechanism are made during the work on various modes of operation for the purpose of improvement of economic and ecological indicators.

Keywords: gas-distributing mechanism, model of exploitation of motor vehicle and tractor engine, economic indicators of engine, phase of gas-distributing mechanism.

Вступ. Зазвичай підбір найбільш ефективних фаз газорозподілу (ФГР) виконується на стадії доведення двигуна заводом-виробником. Як правило, ФГР підбираються такими, щоб забезпечити максимальне значення якого-небудь одного обраного параметра двигуна.

При цьому підбираються профілі впускних і випускних кулачків розподільного вала, що визначають прискорення і час-перетин відкриття клапанів, а також взаємне положення розподільного (розподільних) і колінчастого валів, від якого залежить момент початку відкриття клапанів.

Очевидно, що зміна профілів кулачків розподільного вала в процесі роботи двигуна недоцільна через значну громіздкість і недостатню надійність відповідного виконавчого механізму і зниження з цієї причини надійності двигуна в цілому. Тому при вибраних в процесі доведення профілях кулачків подальший підбір ФГР полягає в установці такого моменту початку відкриття клапанів, при якому відбувається більш ефективне наповнення циліндрів свіжим зарядом.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

На сьогоднішній день відомо достатньо велика кількість досліджень, що дозволяють моделювати і аналізувати вплив процесу газообміну на робочий процес двигуна [1-6] та інші.

Вдосконалення двигунів внутрішнього згоряння (а насамперед форсованих швидкохідних дизелів) перш за все зводиться до врахування часткових і перехідних режимів роботи двигуна при розрахунку

його економічних та екологічних показників. В таких розрахунках треба обов'язково брати до уваги, що при переходах з одного режиму роботи на інший повинні змінюватись і параметри газообміну.

Слід зазначити, що системи зміни фаз газорозподільчого механізму з механічним керуванням не забезпечують достатньої ефективності в роботі при частому переході двигуна з одного режиму роботи на інший. Використання систем з електромагнітним керуванням дає змогу більш ефективно впливати на робочий процес, покращуючи показники двигуна.

Мета та постановка задачі. Метою даної роботи є аналіз впливу зміни фаз газорозподілу на економічні показники автотракторних двигунів.

Важливою сучасною вимогою до газорозподільчих механізмів є здатність змінювати (корегувати) фази ГРМ під час роботи в залежності від режиму і моделі експлуатації двигуна.

Відомо, що в умовах міського руху найуживанішими режимами роботи автомобільних двигунів є часткові навантаження і холостий хід.

Робота тракторів і комбайнів також характеризується тривалою експлуатацією на цих режимах під час транспортних та інших операцій, при виконанні яких двигун неможливо завантажити до номінальної потужності.

При цьому значно погіршується робочий процес. Малі циклові подачі палива обумовлюють надмірне збіднення горючої суміші, що викликає підвищення втрат теплоти в систему охолодження. Збільшується

нерівномірність подачі палива по циліндрах і погіршується якість його розпилювання.

Це приводить до зниження коефіцієнта корисної дії, закоксування розпилювачів форсунок та нагаровідкладення при тривалій роботі двигуна на таких режимах.

Одним з ефективних способів усунення вказаних недоліків є застосування методу регулювання та зміни фаз газорозподільчого механізму в процесі роботи двигуна на конкретному режимі експлуатації.

Тому вивчення питання впливу зміни фаз газорозподілу на різних режимах роботи на економічні показники автотракторних двигунів є актуальним питанням.

Перспективними напрямками вдосконалення ДВЗ в т.ч. й автотракторних на сьогоднішній день вважаються: покращення процесів згоряння палива на часткових і перехідних режимах та оптимізація процесів газообміну з урахуванням моделі експлуатації та з використанням механізмів газорозподілу нового покоління, бо традиційні механізми газорозподілу з механічним приводом клапанів обмежують можливість покращення техніко-економічних показників ДВЗ.

Системи зміни фаз газорозподілу і ходу клапанів призначені для регулювання параметрів роботи газорозподільного механізму залежно від режимів роботи двигуна. Застосування таких систем забезпечує підвищення потужності і крутного моменту двигуна, покращення паливної економічності і зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами.

Враховуючи значні затрати часу і матеріальних ресурсів на проведення експериментальних робіт доцільно оптимізацію фаз газорозподілу при розробленні систем автоматичного управління клапанами газорозподілу (наприклад з електромагнітним приводом) виконувати в першу чергу на математичній моделі процесів газообміну.

В роботах [1-3] та ін. наведено розрахункові математичні моделі, що дозволяють моделювати і аналізувати робочий процес двигунів з урахуванням процесів газообміну.

Широко відомо, що на різних режимах роботи двигуна фази газорозподілу доцільно оптимізувати. Так, при низьких частотах обертання фази газорозподілу повинні мати мінімальну тривалість («вузькі фази»), а при високих частотах обертання – навпаки, бути максимально «широкими» і при цьому забезпечувати перекриття процесів впуску і випуску.

Основними параметрами альтернативних механізмів газорозподілу, що оптимізуються, при конструюванні і доведенні двигуна є закони відкриття клапанів, фази газорозподілу, хід клапанів, а також геометричні характеристики впускних і випускних трубопроводів (довжина, діаметр і конфігурація). При цьому слід зазначити неоднозначність самого визначення оптимальності параметрів системи газорозподілу, оскільки параметри, що задовольняють умові отримання найбільшої потужності, не завжди співпадають з параметрами, що відповідають

мінімальній витраті палива. Останні, у свою чергу, можуть не бути задовільними з погляду токсичності викидів та інших властивостей двигуна.

Тому зрозуміло, що визначення оптимальних параметрів доцільно виконувати за допомогою математичної моделі, в якій необхідно обов'язково враховувати тип, призначення двигуна, умови його експлуатації та інші фактори.

Відомо, що фази газорозподілу, які є оптимальними на номінальному режимі, можуть не бути такими на інших режимах експлуатації двигуна. Це викликано тим, що кінетична енергія свіжого заряду у впускній системі і відпрацьованих газів (ВГ) впускній системі, а також хвильові процеси в них суттєво змінюються зі зміною частоти обертання колінчастого вала двигуна і навантаження. Тому, встановлюючи кути відкриття і закриття впускного і випускного клапанів на кожному робочому і холостому режимах, можна покращити робочий процес, зменшити токсичність ВГ, підвищити паливну економічність.

Запропоновано оцінку впливу фаз газорозподілу на показники роботи двигуна виконувати наступним чином.

Характеристики експлуатаційних режимів роботи двигуна на конкретному тракторі, комбайні або ін. беремо з відомих загальних експлуатаційних моделей двигуна, наприклад [7]. Значення частот обертання колінчастого вала та величини потужностей на кожному режимі експлуатації береться з відомих полів розподілення режимів роботи (полігонів) [8].

Робочий процес при кожних окремо заданих фазах газорозподілу, кожній окремо заданій потужності та частоті обертання колінчастого вала розраховується по програмі кафедри ДВЗ НТУ «ХП» з урахуванням зміни максимального тиску цикла, корегуванні коефіцієнту надлишку повітря, наявності чи відсутності наддуву.

Таким чином, можливо в першому припущенні проаналізувати вплив зміни фаз механізму газорозподілу з урахуванням моделі експлуатації двигуна.

Відомо, що фази газорозподілу залежать від частоти обертання колінчастого вала, ступеню форсування двигуна, характеристик агрегатів газотурбінного наддування, умов на впуску і випуску двигуна і так далі. Тому вибір раціональних фаз газорозподілу є актуальним і важливим завданням.

Далі наведено результати розрахункового дослідження по вибору раціональних фаз газорозподілу двигуна типу 4ЧН12/14 з потужністю $N_e = 106,7$ кВт при частоті обертання колінчастого вала $n = 2000$ хв⁻¹, з фазами газорозподілу для випускного клапану 64°-12°, для впускного – 12°-32°. Двигун використовується на тракторі категорії 3.

Вплив фаз на показники двигуна оцінювались з урахуванням конкретної моделі експлуатації [8].

Узагальнена модель експлуатації тракторних двигунів с/г призначення наведена в таблиці 1.

В цій таблиці $\overline{M_{крі}}$, $\overline{n_i}$, P_r - відносний крутний

момент, відносна швидкість обертання колінчастого валу та відносне завантаження двигуна на кожному полігоні відповідно.

Літрова потужність (а значить і потужність) двигуна на кожному полігоні моделі експлуатації бралась з відомих в літературі моделей експлуатації (наведених у графічному вигляді) [8].

Так для двигуна 4ЧН12/14 така модель має наступний вигляд (дивись рисунок 1).

Таблиця 1 - Узагальнена модель експлуатації тракторних дизелів с/г призначення

№ полигона	\bar{M}_{hp}	\bar{n}_i	P_i		%
			категория 2	категория 3	
1	2	3	4	5	
0	0	0,35	24,5	15,4	
1	0,1	0,825	2,1	2,0	
2	0,1	0,975	4,3	5,4	
3	0,1	1,075	6,7	9,6	
4	0,3	0,825	1,9	2,7	
5	0,3	0,975	2,8	4,6	
6	0,3	1,05	6,9	6,0	
7	0,5	0,825	1,8	3,2	
8	0,5	0,95	2,7	3,5	
9	0,5	1,025	10,3	8,5	
10	0,7	0,825	2,1	2,6	
11	0,7	0,95	3,3	3,4	
12	0,7	1,025	10,3	9,0	
13	0,9	0,825	1,2	2,4	
14	0,9	0,95	3,1	3,6	
15	0,9	1,0	10,2	9,9	
16	1,1	0,825	0,8	1,2	
17	1,1	0,95	1,5	3,3	
18	1,15	0,825	0,6	0,6	

На наведених полігонах моделі експлуатації дизеля зверху вказана літрова потужність, а знизу відносне завантаження двигуна.

Далі для двигуна 4ЧН12/14 з потужністю $N_e = 106,7$ кВт при частоті обертання колінчастого валу $n = 2000$ хв⁻¹, з фазами газорозподілу для впускного клапану 64°-12°, для впускного – 12°-32°, для трактора категорії 3 виконаємо розрахунковий експеримент для визначення впливу зміни фаз ГРМ на показники роботи двигуна. Розрахунки виконано на режимі номінальної потужності та на полігонах № 6,9,12,15. Ці полігони вибрано тому, що вони мають найбільший відсоток годинного навантаження.

Дослідження проводилися за умови постійної потужності на кожному полігоні моделі експлуатації, а ефективність варіантів регулювання фаз газорозподілу оцінювалась по зміні питомої витрати палива g_e .

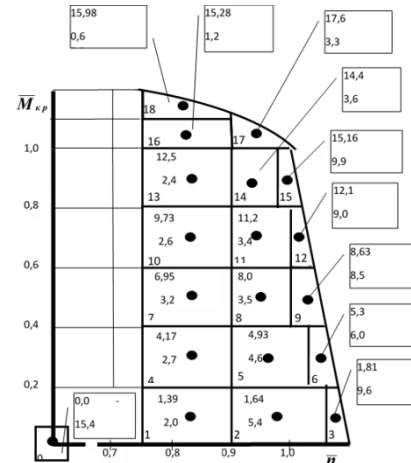


Рис.1-Модель експлуатації двигуна 4ЧН12/14

Крім того, аналізувались зміна потужності насосних ходів $N_{нх}$ та коефіцієнту залишкових газів $\gamma_{ост}$.

Результати розрахунків для полігону № 6 представлено в таблицях 2-3 і на рисунках 2-7.

Таблиця 2 – Результати розрахунків впливу фаз газорозподілу при постійних фазах випуску (64-12° п.к.в.), (полігон № 6)

Фази випуску, град	g_e , г/кВт.ч	$N_{нх}$, кВт	$\gamma_{ост}$, %
2-32	308,9	-9,09	0,166
12-32	303,7	-9,21	0,174
22-32	309,4	-9,09	0,166

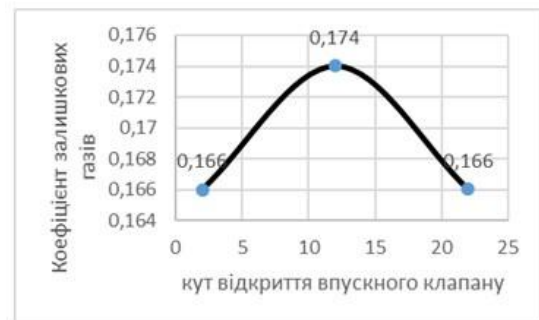


Рис. 2 – Вплив кута впускного клапану на коефіцієнт залишкових газів (полігон № 6)

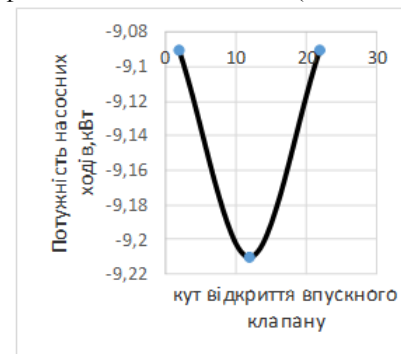


Рис. 3 – Вплив кута впускного клапану на потужність насосних ходів (полігон № 6)



Рис. 4 – Вплив кута випускного клапану на питому ефективну витрату палива (полігон № 6)

Таблиця 3 – Результати розрахунків впливу фаз газорозподілу на параметри дизеля 4ЧН12/14 при постійних фазах впуску (12-32° п.к.в.), (полігон № 6)

Фази впуску, град	g_e , г/кВт.ч	$N_{н.х.}$, кВт	$\gamma_{ост}$, %
24-12	335,1	-14,92	0,124
34-12	315,3	-11,23	0,126
44-12	305,1	-10,03	0,128
54-12	303,8	-9,46	0,139
64-12	303,7	-9,21	0,174
74-12	304,5	-9,36	0,216
84-12	310,4	-9,86	0,263
94-12	318,3	-10,63	0,311

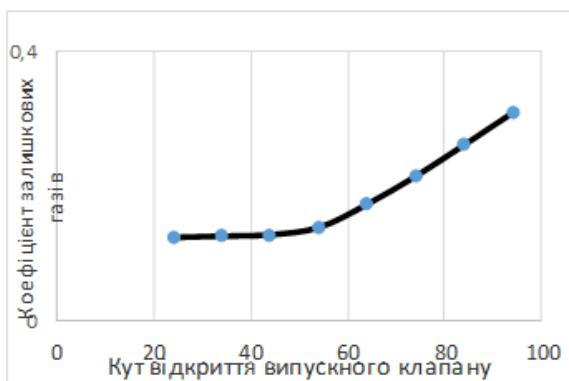


Рис. 5 – Вплив кута випускного клапану на коефіцієнт залишкових газів (полігон № 6)

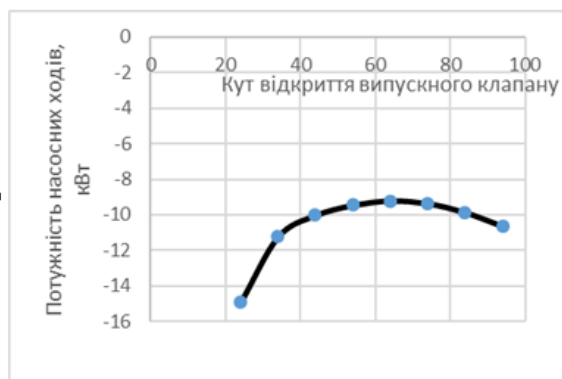


Рис. 6 – Вплив кута випускного клапану на потужність насосних ходів (полігон № 6)

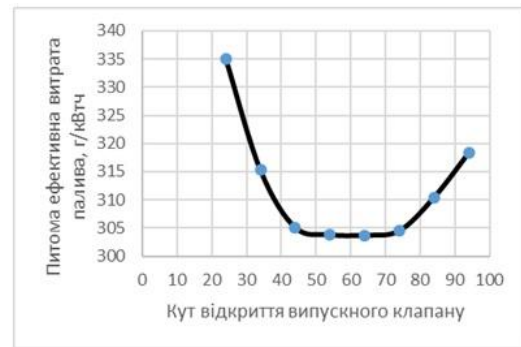


Рис. 7 – Вплив кута випускного клапану на питому ефективну витрату палива (полігон № 6)

Далі таким же чином було отримано результати і для інших найвпливовіших полігонів, а також для номінального режиму.

З приведених в вище наведених таблицях і графіках видно що питома ефективна витрата палива залежить від куту відкриття впускного і випускного клапану. Також бачимо залежність між показниками роботи двигуна з одного боку та режиму експлуатації з іншого.

Зі зменшенням кута скорочується час-переріз випускного клапану, що призводить до збільшення енергетичних витрат на примусове очищення циліндра від газів (зростання потужності насосних ходів $N_{н.х.}$), що відпрацювали, і, як наслідок, підвищенню питомої витрати палива g_e .

Аналіз впливу кута закриття випускного клапану на параметри двигуна показав, що зі збільшенням цього значення різко підвищується коефіцієнт залишкових газів. Зменшення запізнювання закриття випускного клапану від раціонального його значення призводить до зниження часу-перерізу для витікання газів з циліндра у кінці процесу впуску, що погано починає впливати на якість очищення циліндра від продуктів згорання (збільшується коефіцієнт залишкових газів) і одночасно збільшує втрати потужності на насосні ходи.

Для фаз впуску найкращі показники газообміну отримані при початку відкриття випускного клапану з упередженням (тобто до приходу поршня у ВМТ) з фазою не більше 12°.

Збільшення цієї фази небажано із-за скорочення часу-перерізу впускного клапану, що призводить до збільшення втрат потужності на насосні ходи.

Висновки. Отже, аналізуючи отримані результати розрахункового дослідження по аналізу впливу зміни фаз газорозподілу на різних режимах роботи на економічні показники двигуна на прикладі дизеля 4ЧН12/14, можна зробити наступні висновки:

1. В цілях найбільш раціонального регулювання фаз газорозподілу, що забезпечує найкращі вихідні показники роботи дизеля, рекомендується враховувати конкретну модель експлуатації двигуна і особливості його роботи.

2. В подальшому для можливості швидко реагувати на зміну режиму роботи і корегувати фази газорозподілу треба розглядати можливість використання сучасних електромагнітних ГРМ з електронним керуванням.

Список літератури

1. Калугин С.П., Балабин В.Н. Математическое моделирование пр-о цессов газообмена двигателя внутреннего сгорания/ С.П. Калугин, В.Н. Балабин // Прикладная физика, 2007. – №1. – С. 20-28.
2. Крайнюк А.И. Регулируемые системы газораспределения ДВС. Мо-нография. / А.И. Крайнюк – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2006. – 232 с.
3. Дьяченко В.Г. Газообмен в двигателях внутреннего сгорания: учеб. пособие. / В.Г. Дьяченко – К.: УМК ВО, 1989. – 204 с.
4. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные гла-вы: Учебник для вузов. / Р.З. Кавтарадзе – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.
5. Хмельов Р.Н. Математическое и программное обеспечение системно-го подхода к исследованию и расчёту систем двигателей внутреннего-го сгорания: Монография. / Р.Н. Хмельов – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2011. – 229 с.
6. Рудой Б.П., Березин С.Р. Расчёт на ЭВМ показателей газообмена ДВС / Б.П. Рудой, С.Р. Березин // Труды Уфимского авиационного института. – Уфа: УФАИ. – 1979. – 66 с.
7. Величкин И.Н., Зубистова М.П., Штыка А.Г. и др. Режимы нагружения дизелей промышленных тракторов с механической трансмиссией // Тракторы и сельхозмашины. - 1985. - №9.
8. Прокопенко Н.В. Прогнозирование в САПР ДВС длительной прочности камер сгорания поршней при эксплуатации форсированных быстроходных дизелей: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03. – Харьков, 2001.– 201 с.
9. Трактори та автомобілі. Ч. 1. Навч. посіб. / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко., А.Т. Лебедев та ін. ; За ред. проф. А.Т.Лебедева. – К.: Вища школа, 2000. – 357 с.
10. Процессы в перспективных дизелях / А.Ф. Шеховцов, Ф.И. Абрамчук, В.И. Крутов, А.П. Марченко и др. / Под ред. А.Ф. Шеховцова. – Харьков: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1992. – 352 с.
11. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности. / Ф.И. Абрамчук, А.П. Марченко, Н.Ф. Разлейцев, Е.И. Третьяк и др. / Под ред. А.Ф. Шеховцова – К.: Техника, 1992. – 272 с.

References (transliterated)

1. Kalugin S.P., Balabin V.N. Matematicheskoe modelirovanie pro cessoov gazoobmena dvigatelya vnutrennego sgoraniya/ S.P. Kalugin, V.N. Balabin // Prikladnaya fizika, 2007. – No 1. – p. 20-28.
2. Krajnyuk A.I. Reguliruemye sistemy gazoraspredeleniya dvs. monografiya. / A.I. Krajnyuk – lugansk: izd-vo snu im. v. dalya, 2006. – 232 p.
3. Dyachenko V.G. Gazoobmen v dvigatelyax vnutrennego sgoraniya: ucheb. posobie. / V.G. Dyachenko – Kyev, 1989. – 204 p.
4. Kavtaradze R.Z. Teoriya porshnevyyh dvigatelej. specialnye glavy: uchebnik dlya vuzov. / R.Z. Kavtaradze – Moscow: izd-vo mvtu im. n.e. Baumana, 2008. – 720 p.
5. Xmelyov R.N. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistemno-go podhoda k issledovaniyu i raschyotu sistem dvigatelej vnutrenne-go sgoraniya: monografiya. / R.N. Xmelyov – Tula: izd-vo tulgu. – 2011. – 229 p.
6. Rudoj B.P., Berezin S.R. Raschyot na evm pokazatelej gazoobmena dvs / B.P. Rudoj, S.R. Berezin // Trudy ufimskogo aviacionnogo instituta. – Ufa: ufai. – 1979. – 66 p.
7. Velichkin I.N., Zubistova M.P., Shtyka A.G. i dr. Rezhimy nagruzeniya dizelej promyshlennykh traktorov s mexanicheskoj transmissiej // Traktory i selxozmashiny. - 1985. - No 9. p.3
8. Prokopenko N.V. Prognozirovaniye v SAPR DVS dlitelnoj prochnosti kamer sgoraniya porshnej pri ekspluatácii forsirovannykh bystroходnykh dizelej: dis... kand. texn. nauk: 05.05.03. – Kharkov, 2001.– 201 p.
9. Traktori ta avtomobili. ch. 1. navch. posib. / M.G. Sandomirskij, M.F. Bojko., A.T. Lebedev ta in. ; za red. prof. A.T.Lebedeva. – Kyev: vishha shkola, 2000. – 357 p.
10. Processy v perspektivnykh dizelyax / A.F. Shexovcov, F.I. Abramchuk, A.P. Marchenko i dr. / pod red. A.F. Shexovcova. – Xarkov: izd-vo «osnova» pri xark. un-te, 1992. – 352 p.
11. Sovremennyye dizeli: povysheniye toplivnoj ekonomichnosti i dlitelnoj prochnosti: / F.I. Abramchuk, A.P. Marchenko, N.F. Razlejcev, E.I. Tretyak i dr. / pod red. A.F. Shexovcova – Kyev: texnika, 1992. – 272 p.

Надійшла (received): 03.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз впливу зміни фаз газорозподілу на різних режимах роботи на економічні показники автотракторного двигуна / М.В. Прокопенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 108–112. – Бібліогр.: 11 Назв. – ISSN 2079-0066.

Анализ влияния изменения фаз газораспределения на различных режимах работы на экономические показатели автотракторного двигателя / Н.В. Прокопенко // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Транспортное машиностроение. - Х.: НТУ «ХПИ», 2017. - № 14 (1236). - С. 108-112. - Библиогр. : 11 Названий. - ISSN 2079 0066.

Analysis of influence of change of phases of gas-distributing mechanism is executed on the economic indicators of motor-vehicle and tractor engine / N.V. Prokopenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Transport machine building. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 14 (1236). – P. 108–112. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-0066.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прокопенко Микола Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання; тел.: (050) 754-41-35; e-mail: kola0123@ukr.net.

Прокопенко Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания; тел.: (050) 754-41-35; e-mail: kola0123@ukr.net

Prokopenko Nickolay V. - Candidate of Engineering science, Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of internal combustion engine; тел.: (050) 754-41-35; e-mail: kola0123@ukr.net