

В.А. Корогодский

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ДВИГАТЕЛЕ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ

*Представлен анализ экспериментальных исследований двухтактного двигателя с искровым зажиганием по нагрузочным характеристикам. Исследования проводились с использованием карбюраторной системы питания (количественное регулирование мощности) и при непосредственном впрыске топлива (качественное регулирование мощности) с обогащением и обеднением топливно-воздушной смеси в расслоенном топливно-воздушном заряде. Разработанный новый рабочий процесс с обеднением смеси и рациональным регулированием мощности ( $\Delta P_s \text{ var}$ ) позволил более чем в 1,8 раза снизить расход топлива по сравнению с чисто качественным регулированием мощности ( $\Delta P_s = 0$ ) и более, чем в 10 раз сократить содержание CO и  $C_m H_n$  в отработавших газах.*

**Введение и постановка проблемы.** Одним из способов снижения расхода топлива и количества выбросов вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием (ИЗ) является переход от внешнего к внутреннему смесеобразованию [1].

Наиболее эффективно применение внутреннего смесеобразования в двухтактных ДВС с ИЗ. Это позволяет значительно, в  $1,7 \div 1,83$  раза, снизить расход топлива и в  $7 \div 10$  раз сократить выбросы продуктов неполного сгорания (СО,  $C_m H_n$ ) с ОГ, что происходит за счет исключения потерь топлива при продувке и повышения индикаторного КПД ( $\eta_i$ ). Для повышения  $\eta_i$  применяют обеднение топливно-воздушного заряда (ТВЗ) или его расслоение (РТВЗ) [2].

Организация внутреннего смесеобразования в двухтактных ДВС с ИЗ при непосредственном впрыскивании топлива (НВТ) в цилиндр и изменении количества поступающего свежего заряда на впуске за счет дросселирования позволяет регулировать состав ТВЗ путем его расслоения. При этом организация интенсивной турбулизации обедненного состава ТВЗ во фронте пламени способствует эффективному протеканию процессов сгорания, что предопределяет получение высоких индикаторных показателей ДВС при ограниченных выбросах ВВ с ОГ. Поэтому направление исследований по поиску рационального способа регулирования мощности ДВС с ИЗ с использованием соответствующих организаций процессов внутреннего смесеобразования и сгорания расслоенного топливно-воздушного заряда является актуальным.

**Анализ публикаций.** Идея организации в ДВС рабочего процесса с РТВЗ запатентована еще Н. Отто в 1877 г. (патент Германии № 532) [3]. На сегодняшний день ведущими мировыми производителями двигателей (Audi, Fiat, Ford, Honda, Isuzu,

Mazda, Mercedes, Mitsubishi, Nisan, Orbital, Renault, Subaru, Toyota) проведены теоретические и экспериментальные исследования выпускаемых ДВС с ИЗ при НВТ, которые доказывают перспективность применения рабочих процессов с РТВЗ, и соответственно, использование подобных силовых установок в автомобилестроении.

В результате анализа показателей ДВС с ИЗ при НВТ установлено, что наиболее целесообразно применение РТВЗ на частичных нагрузках до частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$  [4].

Результаты исследований двухтактных ДВС (QUB) с ИЗ при НВТ и организации РТВЗ свидетельствуют, что минимальный удельный эффективный расход топлива ( $g_e = 0,26 \div 0,360 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)}$ ) и минимальное содержание СО,  $C_m H_n$  в ОГ ( $CH = 350 \div 450 \text{ ppm}$ ) наблюдается (или имеет место) при работе ДВС на частичных нагрузках (в диапазонах  $n = 2500 \div 3500 \text{ мин}^{-1}$  и  $N_e = (0,7 \div 0,8) N_{e \text{ max}}$  [5]. Показатели этих двигателей можно принять за ориентир при разработке и доводке новых рабочих процессов двухтактных ДВС с ИЗ при НВТ и использовании РТВЗ.

**Терминология.** В работе используется следующая терминология.

Количественное регулирование мощности (КолРМ) двигателя – регулирование мощности двигателя за счет изменения количества топливно-воздушного заряда.

Качественное регулирование мощности (КачРМ) двигателя – регулирование мощности за счет изменения коэффициента избытка воздуха.

**Цель и задачи исследований.** Целью данной работы является экспериментальное определение рационального способа регулирования мощности двухтактного ДВС с ИЗ (ДН-4) в зоне основных эксплуатационных режимов работы в зависимости

от нагрузки ( $P_e$ ) по нагрузочной характеристике (при  $n=3000$  мин<sup>-1</sup>), который обеспечит лучшие показатели по топливной экономичности и выбросам ВВ с ОГ.

**Анализ результатов экспериментальных исследований.** Экспериментальные исследования одноцилиндрового двухтактного двигателя ДН-4 (S/D=87/82) с ИЗ, кривошипно-камерной продувкой и воздушным охлаждением проводились при работе ДВС по нагрузочной характеристике при  $n=3000$  мин<sup>-1</sup> в лаборатории кафедры ДВС НТУ «ХПИ».

На рис. 1-3 приведены результаты исследований показателей двигателя ДН-4 при работе с карбюраторной системой питания (внешнее смесеобразование, КолРМ, геометрическая степень сжатия  $\epsilon_{\text{геом}}=8,4$ ) и с системой НВТ (внутреннее смесеобразование, КачРМ, геометрическая степень сжатия  $\epsilon_{\text{геом}}=12$ ) при впрыскивании топлива в смещенную к выпускному окну полуразделенную камеру сгорания (КС) (рис. 4).

При внешнем смесеобразовании двигатель имеет чисто количественное регулирование мощности во всем диапазоне нагрузок (от  $P_e=0,146$  МПа до  $P_e=0,45$  МПа) путем открытия дроссельной заслонки в карбюраторе, при этом разрежение за дросселем изменяется от  $\Delta P_s=15$  кПа до  $\Delta P_s=0$  кПа и, соответственно, увеличивается количество поступающего в цилиндр ТВЗ (рис. 2).

При внутреннем смесеобразовании на данном этапе исследований двигатель имел качественное регулирование мощности во всем диапазоне нагрузок (от  $P_e=0,11$  МПа до  $P_e=0,418$  МПа), при этом воздушная заслонка на всех режимах открыта полностью ( $\Delta P_s=0$ ) и повышение мощности осуществляется только за счет увеличения цикловой подачи топлива (рис. 2). Организация внутреннего смесеобразования при НВТ с КачРМ позволила во-первых, исключить потери топлива при продувке цилиндра, во-вторых, увеличить  $\eta_i$  и в-третьих, снизить выбросы ВВ с ОГ. Увеличение  $\eta_i$  происходит за счет роста коэффициента избытка воздуха с  $\alpha=0,77\div 0,9$  при внешнем смесеобразовании (карбюратор) до  $\alpha_{\text{цил}}=0,95\div 2,5$  при внутреннем смесеобразовании (НВТ), а также за счет повышения  $\epsilon_{\text{геом}}$  с 8,4 до 12. В итоге это позволило получить снижение расхода топлива в 1,3÷1,7 раза и в 20÷30 раз снизить количество выбросов СО и  $C_mH_n$  в ОГ.

Переход от внешнего к внутреннему смесеобразованию на двухтактном ДВС с ИЗ позволяет

улучшить показатели по топливной экономичности и сократить выбросы ВВ с ОГ. Однако для корректной оценки и определения рационального способа регулирования мощности целесообразно показатели двигателя с системой НВТ и КачРМ при полностью открытой воздушной заслонке ( $\Delta P_s=0$ ) принять за базовые для сравнения с показателями, которые могут быть получены при КачРМ за счет изменения поступающего на впуске воздуха ( $\Delta P_s \text{ var}$ ) и цикловой подачи топлива.

При КачРМ от  $P_e=0,149$  до  $P_e=0,346$  МПа по нагрузочной характеристике при  $n=3000$  мин<sup>-1</sup> на частичных нагрузках и НВТ в смещенную к выпускному окну полуразделенную КС (рис. 4) количество поступающего в цилиндр воздуха регулируется положением воздушной заслонки и, соответственно, изменением разрежения за ней от  $\Delta P_s=12$  кПа до  $\Delta P_s=0$  кПа ( $\Delta P_s \text{ var}$ ). С повышением нагрузки ( $P_e=0,149\div 0,346$  МПа) воздушная заслонка приоткрывалась, что способствовало увеличению количества поступающего в цилиндр воздуха и возрастанию  $\alpha_{\text{цил}}$  с 1,46 до 1,63. При дальнейшем повышении нагрузки до  $P_e=0,346$  МПа, когда воздушная заслонка открыта полностью ( $\Delta P_s=0$ ), значение  $\alpha_{\text{цил}}$  снижается до 1,44. Обогащение топливно-воздушной смеси в РТВЗ позволило организовать легковоспламеняемую смесь ( $\alpha_{\text{цил}}=0,8\div 0,9$ ) между электродами свечи зажигания, что обеспечило надежное воспламенение и стабильное последующее интенсивное сгорание при повышении идентичности последовательных циклов и, как следствие, повышение среднего индикаторного давления. При этом сокращение времени сгорания РТВЗ позволило уменьшить потери теплоты в стенки, увеличить долю эффективного использования теплоты, о чем свидетельствует снижение температуры ОГ на 50÷70 °С по отношению к базовому КачРМ с  $\Delta P_s=0$  на этом интервале нагрузок, и в среднем в 1,5 раза снизить удельный эффективный расход топлива ( $g_e$ ). Однако, организация КачРМ ( $\Delta P_s \text{ var}$ ) при обогащении РТВЗ наряду с понижением количества выбросов  $C_mH_n$  в среднем на 8 % привело к повышению содержания в ОГ окиси углерода на 80 % и достигло СО=0,3 % (рис. 3). Дальнейшее повышение нагрузки ( $P_e$ ) от 0,346 до 0,418 МПа производилось путем КачРМ при полностью открытой воздушной заслонке ( $\Delta P_s=0$ ) и увеличении цикловой подачи топлива.

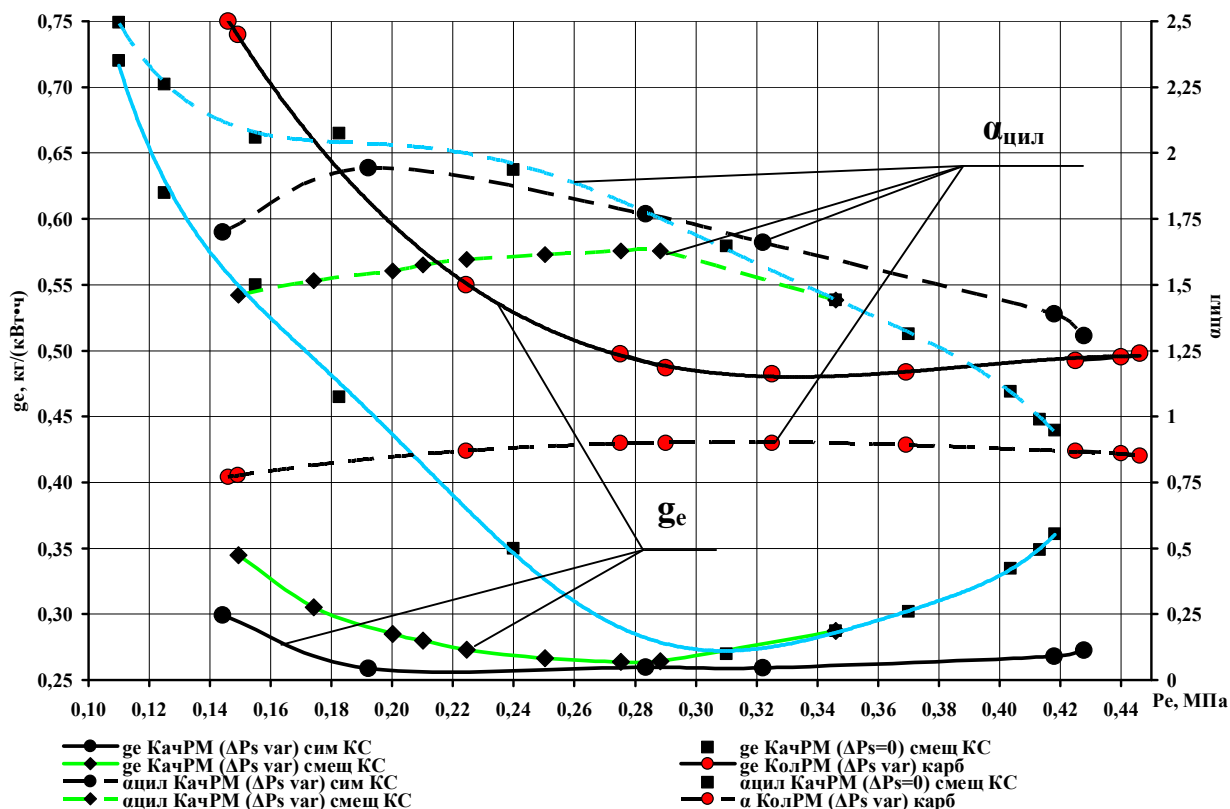


Рис. 1. Значения  $g_e$  и  $\alpha_{цил}$  при количественном и качественном способе регулирования мощности и изменении нагрузки

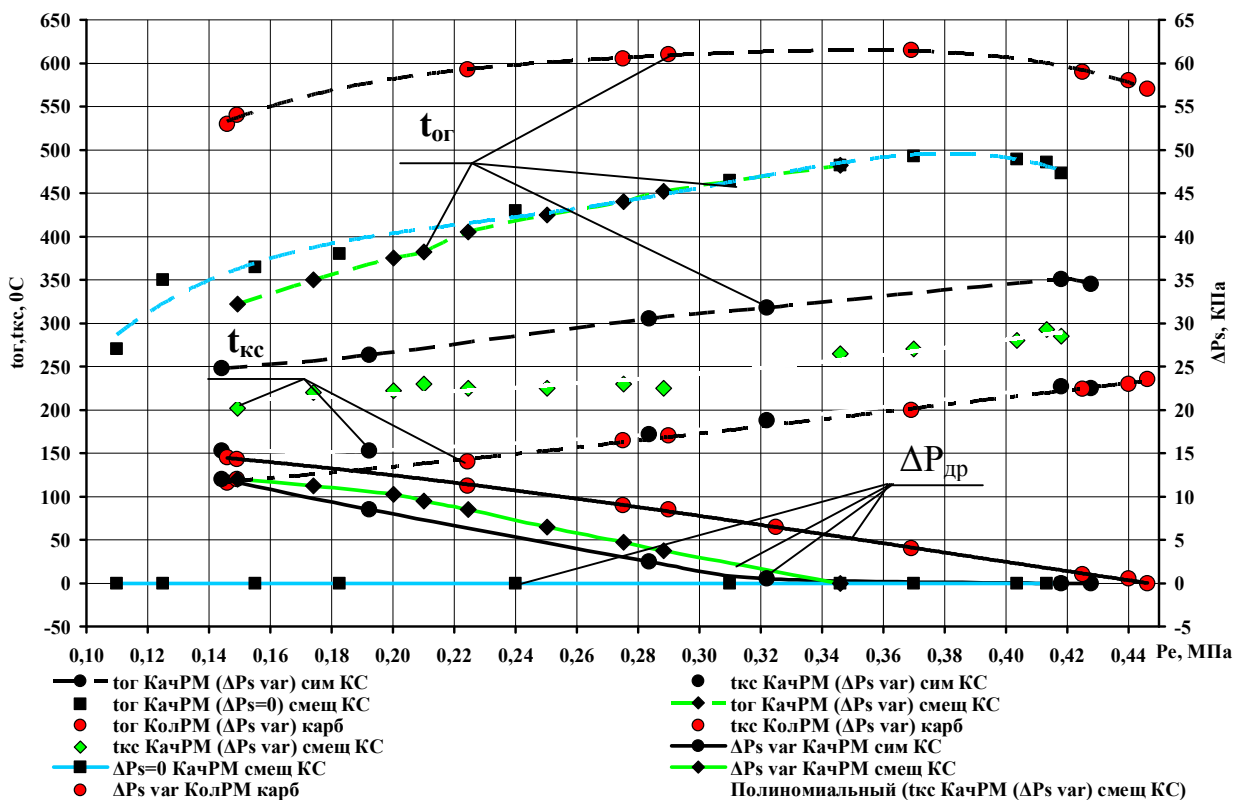
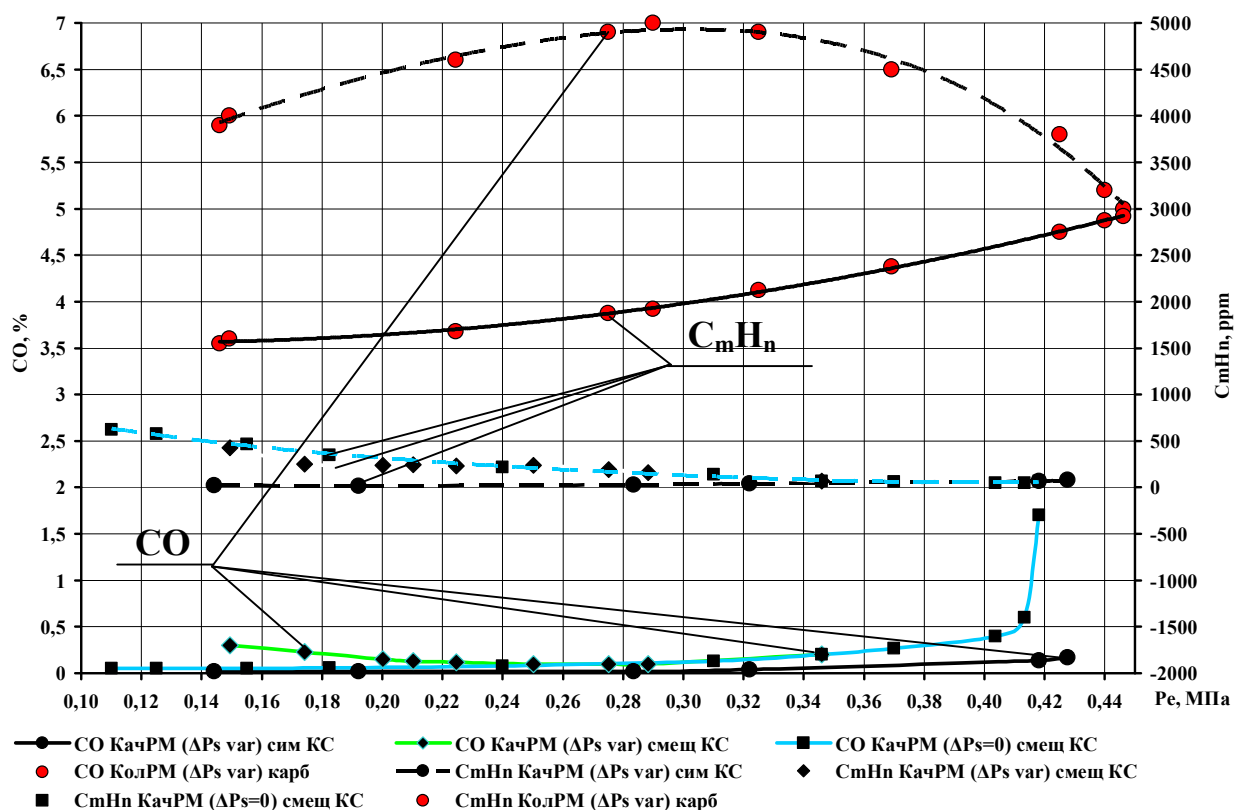


Рис. 2. Значения температур  $t_{ог}$ ,  $t_{кс}$  и разрежение на впуске  $\Delta P_{др}$  при изменении нагрузки

Рис. 3. Содержание CO и C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> в ОГ при изменении нагрузки

Результаты экспериментальных исследований двухтактного ДВС с ИЗ и НВТ в смещенную к выпускному окну полуразделенную КС показали, что для снижения расхода топлива и уменьшения продуктов неполного сгорания (CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) в ОГ целесообразно на частичных нагрузках осуществлять КачРМ с ΔP<sub>s</sub> var, а с повышением мощности от 75 до 100 % – КачРМ при ΔP<sub>s</sub>=0.

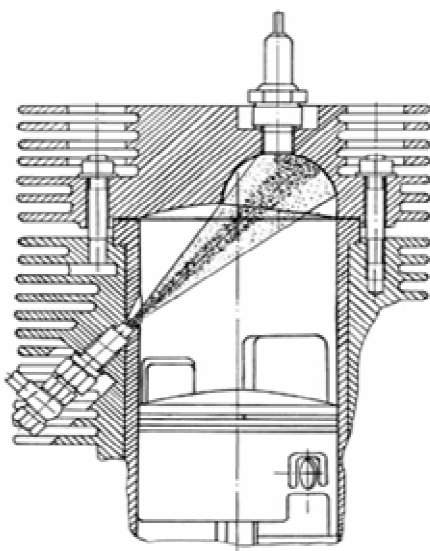


Рис. 4. НВТ в смещенную к выпускному окну полуразделенную КС

Одним из способов дальнейшего уменьшения расхода топлива и снижения количества выбросов ВВ с ОГ, особенно CO, является расширение пределов эффективного обеднения РТВЗ путем интенсивного подвода избыточного воздуха в область сгорания при повышении степени сжатия.

С этой целью организован новый рабочий процесс в ДВС с ИЗ при НВТ [7] (внутреннее смешение, КачРМ, ε<sub>геом</sub>=16,3) в симметричную полуразделенную КС (рис. 5). Новый рабочий процесс позволяет за счет интенсивного подвода воздуха в зону сгорания эффективно сжигать более обедненный РТВЗ при сокращении времени на протекание процессов сгорания. Повышение турбулизации при сгорании РТВЗ также позволяет дополнительно повысить степень сжатия и организовать бездетонационное сгорание, что способствует повышению η<sub>i</sub> при снижении выбросов CO и C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> с ОГ.

Реализация нового рабочего процесса в ДВС с ИЗ при расширении пределов сгорания обедненного РТВЗ в симметричной полуразделенной КС (рис. 5) по отношению к известному рабочему процессу, организованному в смещенной к выпускному окну полуразделенной КС (рис. 4) [2], обеспе-

чила снижение расхода топлива и сокращение выбросов ( $\text{CO}$  и  $\text{C}_m\text{H}_n$ ) с ОГ.

Сравнение экспериментальных показателей двигателя ДН-4 с НВТ и двумя способами организации рабочих процессов с РТВЗ проводилось при КачРМ и установке одинаковых регулировочных параметров: угла опережения зажигания  $\theta_{\text{зак}}=10$  град. п.к.в. до ВМТ и момента начала подачи топлива  $\varphi_{\text{впр}}=224$  град. п.к.в. после ВМТ.

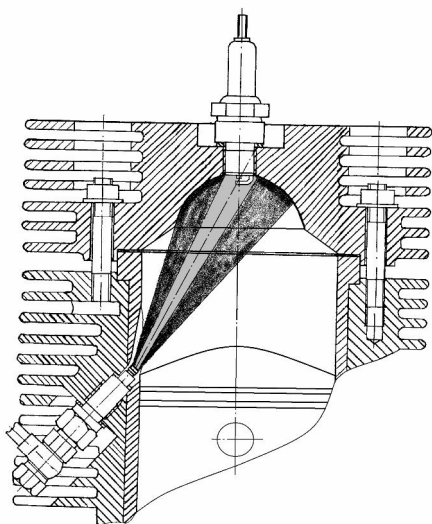


Рис. 5. НВТ в симметричную полуразделенную КС

В интервале нагрузок от  $P_e=0,144$  МПа до  $P_e=0,29$  МПа при новом рабочем процессе в среднем на 20 % снижено разрежение на впуске за счет приоткрытия воздушной заслонки ( $\Delta P_s \text{ var}$ ), что позволило повысить значения  $\alpha_{\text{цил}}$  в среднем на 20 % и до 14 % снизить удельный расход топлива ( $g_e$ ) (рис. 1). Повышение эффективности преобразования теплоты топлива в работу при сгорании РТВЗ в тепловом балансе согласуется с понижением потерь теплоты с ОГ до 9 % и потерь теплоты через стенки КС ( $t_{\text{кв}}$ ) до 5 % (рис. 2). Повышение  $\alpha_{\text{цил}}$  и более высокая степень сжатия предопределили уменьшение содержания  $\text{CO}$  (до 0,02 %) и  $\text{C}_m\text{H}_n$  (до 14 ppm) в ОГ, что в среднем в 10 раз меньше, чем при организации рабочего процесса в смещенной к выпускному окну КС (рис. 3).

Применение КачРМ и организация рабочего процесса в симметричной полуразделенной КС (рис. 5) в интервале нагрузок от  $P_e=0,34$  МПа до  $P_e=0,428$  МПа при полном открытии воздушной заслонки ( $\Delta P_s=0$ ) по сравнению с организацией рабочего процесса в смещенной к выпускному окну полуразделенной КС позволило повысить значение  $\alpha_{\text{цил}}$ . Так при  $P_e=0,418$  МПа  $\alpha_{\text{цил}}$  повышено на 32 % и на 26 % снижен расход топлива (рис. 1), что согласуется с понижением температуры ОГ на

26 % (рис. 2). При максимальных нагрузках количество выбросов  $\text{C}_m\text{H}_n$  составляет 70÷80 ppm в обоих случаях, а содержание  $\text{CO}$  в ОГ при НВТ в симметричную полуразделенную КС более, чем в 10 раз меньше по сравнению с НВТ в смещенную к выпускному окну полуразделенную КС.

**Выводы.** Применение нового рабочего процесса позволило повысить степень сжатия до 16,3, расширить пределы эффективного обеднения РТВЗ за счет интенсивного подвода воздуха в зону горения и осуществить КачРМ, что позволило более, чем в 1,8 раза снизить расход топлива на частичных нагрузках (при  $\Delta P_s \text{ var}$ ) и в 1,35 раза сократить расход топлива при максимальной нагрузке ( $\Delta P_s=0$ ) по сравнению с использованием чисто КачРМ ( $\Delta P_s=0$ ) во всем диапазоне нагрузочной характеристики при  $n=3000$  мин<sup>-1</sup>. При этом, на минимальных нагрузках содержание  $\text{CO}$  в ОГ снижено с 0,05 до 0,02 %, а при максимальных нагрузках ограничено до 0,17 %, что в 10 раз меньше. Применение рационального КачРМ ( $\Delta P_s \text{ var}$ ) на частичных нагрузках позволило более, чем в 25 раз сократить выбросы  $\text{C}_m\text{H}_n$  с ОГ.

Особенности протекания нового рабочего процесса планируется исследовать по индикаторным диаграммам двигателя.

#### Список литературы:

1. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания / Дьяченко В.Г. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
2. Єроценков С.А. Анализ экономических и экологических показателей двухтактного двигателя ДН-4М с карбюратором и непосредственным впрыском топлива / С.А. Єроценков, В.А. Корогодский, О.В. Василенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №1. – С. 70–76.
3. Hucho W. H. *Schlaft die europaische Autoindustrie?* / W. H. Hucho // *Automobil Revue*. – 1997. – Heft 33.
4. Zhao F. *Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines* / F. Zhao, M.-C. Lai, D.L. Harrington // Elsevier Science Ltd. Pergamon, *Prog. Energy Comb. Sci.*, (An International Review Journal). – 1999. – vol.25. – pp. 437-562.
5. Blair G.P. *Design and Simulation of Two-Stroke Engines* / G.P. Blair // *Society of Automotive Engineers, Inc.* – 1996. – 623 p.
6. Корогодский В.А. Экспериментальное определение коэффициента утечки / В.А. Корогодский, О.В. Василенко, С.А. Цикра, С.В. Обозный // *Збірник наукових праць державної академії залізничного транспорту*. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 104. – С. 49-56.
7. Пат. РСТ/IB 2007/004105, МКІ F02B 23/10. *A Method of Mixing in a Combustion Chamber of an Internal Combustion Engine and a Spark-Ignition Direct-Injection Stratified Fuel-Air Charge Internal Combustion Engine*: Пат. РСТ/IB 2007/004105, МКІ F02B 23/10 Корогодський В.А. (UA), Кирілюк І.О. (UA), Ломов С.Г. (UA); Кілюгін В.І. (UA). – № WO 2009/044225 A1; Заявл. 03.10.2007; Опубл. 09.04.2009. – 45 с.

#### Bibliography (transliterated):

1. D'yachenko V.G. *Teoriya dvigatelej vnutrennego sgoranija* / D'yachenko V.G. – H.: HNADU, 2009. – 500 s.
2. Croshhenkov S.A.

*Analiz jekonomicheskikh i jekologicheskikh pokazatelej dvuhtaktnogo dvigatelja DN-4M s karbjuratorom i neposredstvennym vpryskom topliva / S.A. Croshhenkov, V.A. Korogodskij, O.V. Vasilenko // Dvigateli vnutrennego sgoranja. – 2007. – №1. – S. 70–76. 3. Hucho W. H. Schläft die europäische Autoindustrie? / W. H. Hucho // Automobil Revue. – 1997. – Heft 33. 4. Zhao F. Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines / F. Zhao, M.-C. Lai, D.L. Harrington // Elsevier Science Ltd. Pergamon, Prog. Energy Comb. Sci., (An International Review Journal). – 1999. – vol.25. – pp. 437-562. 5. Blair G.P. Design and Simulation of Two-Stroke Engines / G.P. Blair // Society of Automotive Engineers, Inc. – 1996. – 623 p. 6.*

*Korogodskij V.A. Jeksperimental'noe opredelenie koeficienta utechki / V.A. Korogodskij, O.V. Vasilenko, S.A. Cikra, S.V. Oboznnyj // Zbirnik naukovih prac' derzhavnoi akademii zaliznichnogo transportu. – Harkiv: UkrDAZT, 2009. – Vip. 104. – S. 49-56. 7. Pat. PCT/IB 2007/004105, MKI F02B 23/10. A Method of Mixing in a Combustion Chamber of an Internal Combustion Engine and a Spark-Ignition Direct-Injection Stratified Fuel-Air Charge Internal Combustion Engine: Pat. PCT/IB 2007/004105, MKI F02B 23/10 Korohodskiy V.A. (UA), Kyrylyuk I.O. (UA), Lomov S.G. (UA); Kulygin V.I. (UA). – № WO 2009/044225 A1; Zajavl. 03.10.2007; Opubl. 09.04.2009. – 45 s.*

Поступила в редакцию 07.06.2013

**Корогодский Владимир Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент, преподаватель кафедры теплотехники и тепловых двигателей Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, Харьков, Украина, e-mail: korogodskiy@mail.ru

### ОРГАНІЗАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ У ДВИГУНІ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

*В.А. Корогодський*

Представлено аналіз експериментальних досліджень двотактного двигуна з іскровим запалюванням по навантажувальним характеристикам. Дослідження проводилися з використанням карбюраторної системи живлення (кількісне регулювання потужності) й при безпосередньому вприскуванні палива (якісне регулювання потужності) зі збагаченням та збідненням паливно-повітряної суміші в розшарованому паливно-повітряному заряді. Розроблений новий робочий процес зі збідненням суміші та раціональним регулюванням потужності ( $\Delta P_s$  var) дозволив більш, ніж у 1,8 рази знизити витрату палива в порівнянні з чисто якісним регулюванням потужності ( $\Delta P_s=0$ ) і більш, ніж в 10 разів скоротити вміст CO і  $C_mH_n$  у відпрацьованих газах.

### ORGANIZATION OF RATIONAL METHOD OF POWER CONTROL IN A SPARK IGNITION ENGINE

*V.A Korohodskiy*

The analysis of experimental studies of two-stroke spark ignition engine on the load characteristics is presented. The studies were conducted using a carburetor system power supply (quantitative power control) and direct fuel injection (quality control capacity) with enrichment and the impoverishment of the fuel-air mixture in a stratified fuel-air charge. Developed a new workflow with a lean mixture and the sound management of power ( $\Delta P_s$  var) allowed to make more than 1.8 times lower fuel consumption compared with a purely qualitative power control ( $\Delta P_s=0$ ), and more than 10 times to reduce the CO and  $C_mH_n$  emissions in the exhaust gas.

УДК 621.436

**С.П. Кулманаков, С.С. Кулманаков, А.В. Лысенко**

### ВЛИЯНИЕ СОСТАВА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРНОГО КПД ДИЗЕЛЯ

*Рассмотрено влияние элементарного состава альтернативных топлив на индикаторный КПД дизеля. Проведенное расчетное исследование позволило оценить влияние различного состава рабочего тела на коэффициенты неиспользования теплоты в цикле, связанные с изменением состава рабочего тела. Приведены результаты экспериментального исследования при работе на топливах с различным соотношением углерода и водорода. В качестве объекта исследования был выбран двигатель 1Ч 13/14, работающий на смесевых биотопливах на основе этилового эфира рапсового масла и этанола.*

#### Введение

В настоящее время вопросу замены нефтяных топлив для ДВС альтернативными уделяется все большее внимание. При использовании различных видов альтернативных топлив возникают вопросы адаптации и совершенствования рабочего процесса с целью улучшения экономических и экологических показателей.

Вопросы повышения экономических и экологических показателей необходимо решать с учетом

особенностей физико-химических свойств применяемых альтернативных топлив. Основным отличием для всех видов топлив является их различие по элементарному химическому составу.

Число наиболее распространенных элементов, входящих в состав топлив, составляет от 1 до 5. При этом основными, обеспечивающими выделение теплоты при окислении, являются водород и углерод. Содержание серы и азота мало влияет на теплоту сгорания ввиду незначительности их со-