

Тимошевский Борис Георгиевич – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: btym@mksat.net, (050) 948-22-22.

Ткач Михаил Романович – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tkach@mksat.net, (050) 521-93-80.

Митрофанов Александр Сергеевич – ассистент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: m.aleksandr.s@mail.ru, (063) 021-30-93.

Познанский Андрей Станиславович – ассистент кафедры теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: AndPozn@yandex.ru, (096) 968-51-24.

Проскурин Аркадий Юрьевич – ассистент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: mover@ukr.net, (093) 204-80-26.

ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ 2Ч 7,2/6 ПРИ РОБОТІ НА СИНТЕЗ-ГАЗІ

В.Г. Тимошевський, М.Р. Ткач, О.С. Митрофанов, А.С. Познанський, А.Ю. Проскурін

Наведені результати експериментальних досліджень роботи двигуна з іскровим запаленням та зовнішнім сумішоутворенням при роботі на синтез-газі, який отримано шляхом парової конверсії біоетанолу. Отримано залежності зміни параметрів роботи двигуна по навантажувальній характеристиці, а також індикаторні діаграми при роботі на бензині, пропані та синтез-газі. Показано вплив коефіцієнта надлишку повітря на зміну тиску в циліндрі при роботі двигуна на синтез-газі.

INDICATORS OF SPARK IGNITION ENGINE 2-CYLINDER 4-STROKE 7,2 / 6, WHICH WORK ON THE SYNTHESIS-GAS

B.G. Timoshevsky, M.R. Tkach, A.S. Mitrofanov, A.S. Poznansky, A.U. Proskurin

The results of experimental studies of the spark-ignition engines with external mixture formation at work on the synthesis gas produced by steam reforming of ethanol are presents. The depending change of engine operating parameters on the load characteristics, as well as the indicator diagrams on petrol, propane gas and synthesis gas are obtained. The effect of excess air ratio on the change in pressure in the cylinder when the engine working of the synthesis gas is shows.

УДК 621.43

А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова, Н.Ю. Гладкова

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА БЕНЗОЭТАНОЛЕ

Потенциал производства и использования этилового спирта в качестве моторного топлива в Украине достаточно велик, в связи с чем прогнозирование эффективности, показателей токсичности энергоустановок транспортного средств целесообразно и востребовано. В статье приводятся результаты численного эксперимента для автомобильного двигателя МемЗ 307 (4Ч7,5/7,3), работающего на бензине и бензоэтанольных смесях с различным содержанием этанола. Приводятся основные расчетные рабочие характеристики двигателя, влияние и взаимовлияние на них регулируемых и режимных параметров.

Введение и постановка задачи

Этанол (этиловый спирт) как моторное топливо в странах Южной и Северной Америки, в Европе устойчиво занял свою нишу, дополняя или заменяя определенную долю традиционных топлив. Теперь и Украина на законодательном уровне определила 5 % добавку этанола к бензину. Потенциальные возможности производства этилового спирта для пассажирского транспорта во всем мире оцениваются приблизительно в 32 % от потребляемого бензина при условии использования Е 85 [1]. Задачи необходимых исследований спиртовых топлив ставятся с возникновением новых проблем и

появлением современных технических возможностей. Научный материал по этой тематике обширен, касается экспериментальных [2, 3], численных и расчетно-экспериментальных работ [4, 5, 6], причем часто в работах одновременно рассматривается использование этанола в двигателях с искровым зажиганием (ИЗ) и дизелях [3, 7, 8]. В [2] представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований разных авторов для различных типов двигателей и условий. Моделированию рабочего процесса двигателя и получению его рабочих характеристик посвящены работы [4 – 7]. Следует отметить, что за редким исключением, исследова-

ния проводятся для смесевых топлив с содержанием спирта до 20 – 30 %. В развитых странах, которые уже прошли путь первоначальных исследований, проводятся более глубокие изыскания с многоплановым рассмотрением химических превращений испарившегося топлива и отработавших газов [9].

Смесевое моторное топливо на основе традиционного нефтяного и ингредиентов биологического происхождения по сути является новым видом топлива, что в случае его использования неизбежно сказывается на мощностных, экономических и токсических характеристиках двигателя. Поэтому и качественные, и количественные результаты исследований влияния бензоэтанола различного состава на характеристики рабочего цикла двигателя важны для обеспечения эффективности его использования в транспортных ДВС. В предлагаемой статье приводятся результаты численного исследования рабочего цикла двигателя с ИЗ для широкого спектра комбинаций компонентов смесевое топлива.

Результаты численного эксперимента

Всестороннее понимание качественного взаимодействия параметров двигателя при использовании новых топлив может без больших затрат на моторные испытания дать математическое моделирование его рабочего процесса. При прогнозировании экономических и токсических характеристик двигателя с искровым зажиганием широко используются и хорошо себя зарекомендовали термодинамические модели рабочего цикла с традиционной 2–зонной моделью сгорания.

В статье приводятся результаты численного исследования рабочих характеристик двигателя МеМЗ 307 (4Ч7,5/7,3), технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики двигателя 4Ч7,5/7,3

Параметр	Значение
Диаметр цилиндра, м	0,073
Ход поршня, м	0,075
Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна	0,3125
Число цилиндров	4
Степень сжатия	9,8
Рабочий объем, см ³	1300
Номинальная мощность, кВт/ при частоте вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	47/5000
Топливо - бензоэтанольные смеси, % объемные	

Каждое моторное топливо имеет набор свойств, определяющих показатели рабочего цикла двигателя, большая часть этих свойств оказывает решающее влияние на процесс сгорания в цилиндре. Наличие этанола в смесевом топливе способствует увеличению скорости распространения пламени, улучшает однородность сгорания вследствие содержания кислорода в спирте (C₂H₅OH), повышает октановое число, что позволяет увеличить степень сжатия без угрозы возникновения детонации. Однако удельная теплота сгорания смесевое топлива с ростом содержания этанола в нем снижается и это отражается на показателях двигателя. По ходу исследований проверено утверждение некоторых исследователей, что увеличение содержания этанола в смеси вызывает рост литровой мощности двигателя из-за увеличения плотности смесевое топлива. Действительно, при полном замещении бензина этанолом плотность топливо-воздушной смеси увеличивается на 0,4 %, а литровая мощность двигателя вырастает на 5-6 %, но происходит ли это только за счет увеличения плотности, вопрос спорный.

Численные исследования прогнозируемых характеристик двигателя проводились в соответствии с методикой [10]. В расчетах рабочего цикла двигателя рассматривались топливные композиции с концентрацией этанола 0; 0,1; 0,3; 0,6; 0,85 в смеси (Gn_э/Gn_г). Ниже приводятся результаты расчетов, демонстрирующие влияние режимных и регулировочных параметров двигателя, состава смесевое топлива на показатели рабочего цикла.

На рис. 1 для режимов номинальной мощности и максимального крутящего момента приведены основные характеристики двигателя (p_i , η_i , p_{max} , T_{max}) в зависимости от состава смеси. Для всех параметров наблюдается их незначительный рост по мере увеличения содержания этанола до 85 % и заметный рост при концентрации этанола от 60 до 100 % при почти неизменном значении КПД для каждой топливной композиции и сохранении характера кривых. На рис. 2 представлены значения индикаторных мощности, крутящего момента и удельного расхода топлива по скоростной характеристике в зависимости от состава композиции. Отмечается незначительный (до 5 %) рост мощностных показателей с увеличением содержания этанола в смеси. Рисунок иллюстрирует влияние состава топлива на величину его удельного расхода; вот где сказывается влияние низшей теплоты сгорания этанола на калорийность смесевое топлива.

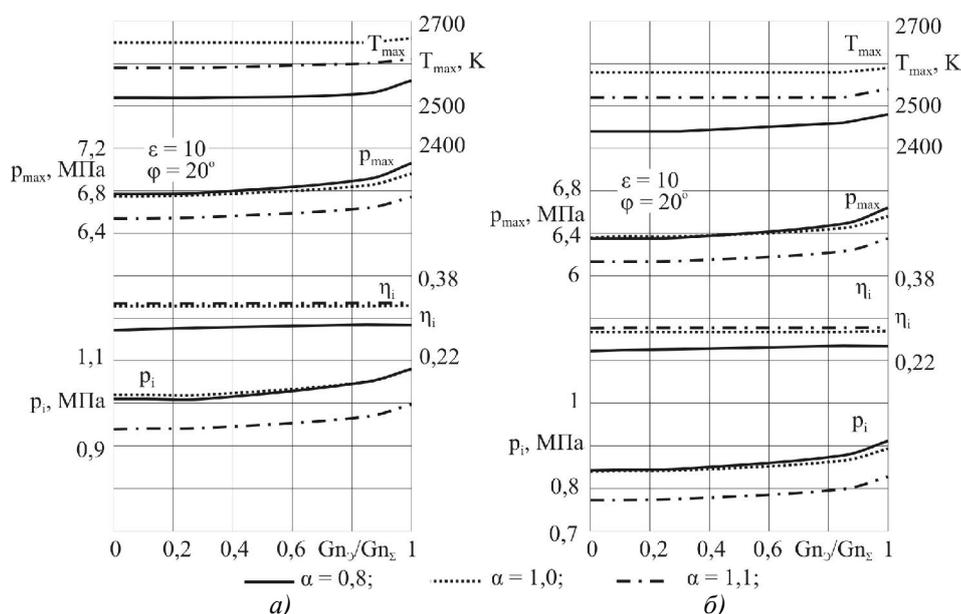


Рис. 1. Индикаторные показатели двигателя на режимах $N_{ном}$ и M_{max} в зависимости от состава бензоэтанола и коэффициента избытка воздуха:

a – режим номинальной мощности; *б* – режим максимального крутящего момента

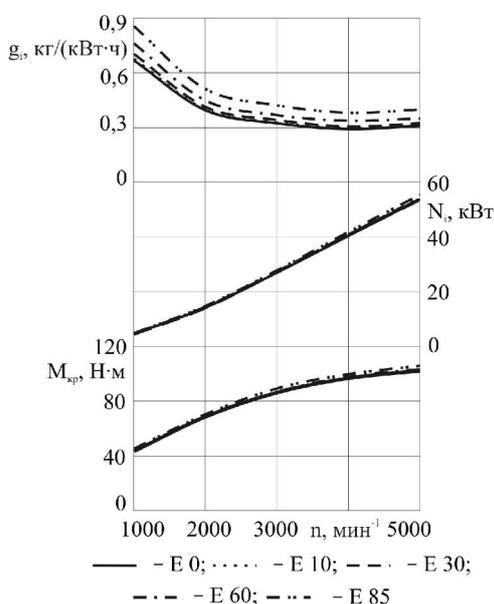


Рис. 2. Скоростные характеристики двигателя, работающего на смешевых топливах

Удельный расход смешевого топлива увеличивается с ростом содержания в нем этанола и уменьшается с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя, достигая минимального значения при $n = 3600 - 4000 \text{ мин}^{-1}$. Рост мощности и крутящего момента наблюдается на фоне увеличения удельного расхода топлива, что и объясняет практически неизменность КПД для каждой композиции. На абсолютную величину КПД влияет значение коэффициента избытка воздуха.

Прогнозирование показателей токсичности отработавших газов (содержание монооксидов азота NO, угарного газа CO) и углекислого газа CO₂ рассматривалось как во взаимовлиянии регулировочных, режимных и конструктивных параметров (α , ϕ , ϵ), так и в зависимости от состава смеси (G_{n_2}/G_{n_2}) и режима работы двигателя. Значение величины эмиссии представлено в граммах за цикл двигателя.

При коэффициенте избытка воздуха (α) меньше единицы возрастает концентрация угарного газа. Обеднение смеси вызывает сначала рост концентрации монооксидов азота, а затем, из-за понижения максимальной температуры сгорания в цилиндре двигателя при $\alpha > 1,1$, – ее снижение (это хорошо видно на рисунках 3 и 4), что характерно для любого топлива. Изменение угла опережения зажигания (ϕ) с точки зрения экономичности целесообразно только в небольшом диапазоне. Увеличение угла опережения зажигания при $\alpha > 1$, вызывает значительный рост эмиссии NO.

Увеличение концентрации этанола в топливной композиции сопровождается изменением эмиссии оксидов азота в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и коэффициента избытка воздуха. Содержание CO и CO₂ в отработавших газах уменьшается с увеличением концентрации этанола. Эмиссия этих компонентов с отработавшими газами также зависит от частоты вращения коленчатого вала, α и мощностного режима двигателя (рис. 5).

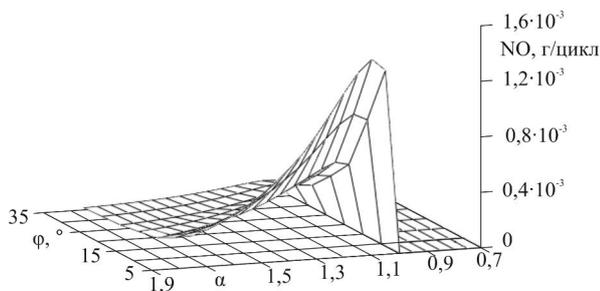


Рис. 3. Зависимость эмиссии монооксида азота от коэффициента избытка воздуха и угла опережения зажигания при использовании топлива E 30

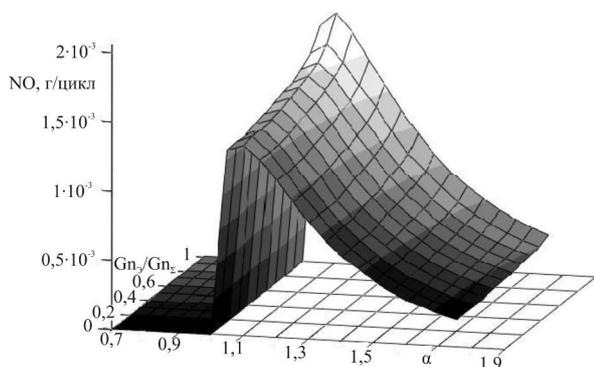


Рис. 4. Уровень эмиссии NO в зависимости от доли этанола в смесевом топливе и коэффициента избытка воздуха

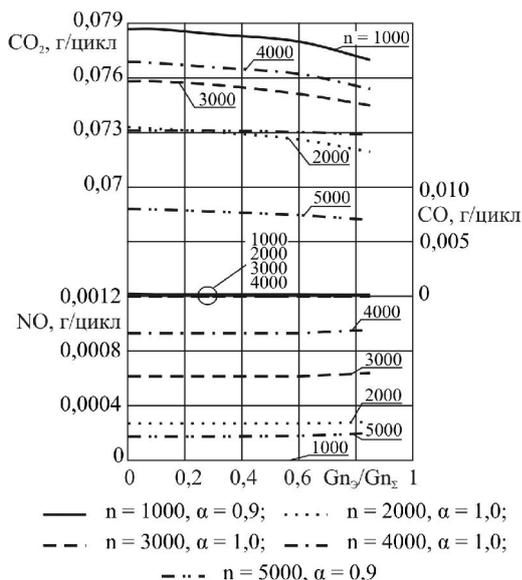


Рис. 5. Содержание в отработавших газах монооксидов азота и оксидов углерода в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, состава топливной композиции и α , (полная нагрузка)

Наряду с расчетными исследованиями в ИПМаш НАН Украины проведена серия экспери-

ментальных исследований характеристик двигателя МеМЗ 307. Была отмечена хорошая корреляция прогнозируемых и полученных в эксперименте результатов [11].

Эксперименты показали, что на определенном этапе увеличения концентрации этанола в топливной смеси существенно снижаются эффективные показатели двигателя без изменения программы блока управления. Поэтому для сохранения эксплуатационных характеристик двигателя необходима адаптация системы его управления.

Выводы

Анализ результатов численного моделирования характеристик двигателя МеМЗ 307, работающего на бензоэтанольных смесях, позволяет сделать вывод, что во всем диапазоне рассматриваемых топливных композиций (0, 10, 30, 60 и 85 процентов этанола) могут быть достигнуты удовлетворительные значения его экономических и экологических показателей. Мощность и максимальный крутящий момент не уменьшаются, несмотря на более низкую удельную теплоту сгорания смесового топлива, но увеличивается его удельный расход. Эмиссия монооксида азота при поддержании коэффициента избытка воздуха в диапазоне 0,9 – 1,0 немного возрастает только после достижения концентрации этанола в смесевом топливе 60 %. Моторный эксперимент показал, что двигатель устойчиво работает на обедненной топливо-воздушной смеси ($1,0 \leq \alpha \leq 1,5$), а эмиссия оксидов азота с отработавшими газами возрастает по мере увеличения доли этанола в смесевом топливе.

При переводе транспортного двигателя на питание бензоэтанолом достижение мощностных и экологических показателей, соответствующих техническим характеристикам бензинового двигателя, возможно за счет увеличения цикловой подачи смесового топлива. Для этого необходимы дополнительные исследования, связанные с изменением алгоритма управления двигателем.

Список литературы:

1. Kim S. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues /S. Kim, B.E. Dale// Biomass and Bioenergy. – 2004.– V. 26.– P. 361–375. 2. Alternative fuel / Edited by Maximino Manzanera. – Croatia, 2011. – 396 с. 3. Ерохов В.И. Одинокова И.В. Применение спиртов в бензиновых двигателях и дизелях / В.И.Ерохов, И.В.Одинокова // Автомобиле- и тракторостроение в россии: приоритеты развития и подготовка кадров: материалы Международной науч.-техн. конф., посвященной 145-летию МГТУ "МАМИ". – М., 2010. – С. 106 – 115. 4. Srinivasan C. Study of Combustion Characteristics of an SI Engine Fuelled with Ethanol and Oxygenated Fuel Additives / C. Srinivasan and C. Saravanan // Journal of Sustainable Energy. – 2010. – P. 85 – 91 5. Кухаренко Г.М.

Моделирование рабочего процесса двигателя при работе на смесях бензина с этанолом / Г.М.Кухаренко, Г.А.Вершина, А.Ю.Пилатов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2012. – № 1(14). – С. 34 – 44.

6. Bayraktar, H. Experimental and theoretical investigation of using gasoline – ethanol blends in spark-ignition engines. *Renewable Energy*. – 2005. – V. 30. – P. 1733 – 1747.

7. Матиевский Д. Д. Применение смесевых спиртовых топлив в дизелях автотракторного типа / Д. Д. Матиевский, С. П. Кулманаков // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2000. – № 2. – С. 87 – 93.

8. Патрахальцев Н.Н. Регулирование ДВС методом изменения физико-химических свойств моторного топлива / Н.Н. Патрахальцев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 3. – С. 26 – 32.

9. Ginnebaugh L. Examining the temperature dependence of ethanol (E85) versus gasoline emissions on air pollution with a largely-explicit chemical mechanism / L. Ginnebaugh, J. Liang, Z. Jacobson // *Atmospheric Environment*. – 2010. – V. 44(9) P. 1192 – 1199.

10. Левтеров А.М. Метод исследования характеристик поршневых ДВС на альтернативных топливах / А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова, Н.Ю. Гладкова // Вісник НТУ «ХП»: «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – 2011. – Вып. 42. – С. 99-106.

11. Левтеров А.М. Расчетно-экспериментальные исследования характеристик двигателя MeMz 307-1 на бензоэтанольных смесях / А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова, Н.Ю. Гладкова, В.П. Мараховский, А.Н. Авраменко // Вісник НТУ «ХП»: «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – 2012. – Вып. 27. – С. 107 – 113.

Bibliography (transliterated):

1. Kim S. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues / S. Kim, B.E. Dale // *Biomass and Bioenergy*. –

2004. – V. 26. – P. 361 – 375.

2. Alternative fuel / Edited by Maximino Manzanera. – Croatia, 2011. – 396 s.

3. Erohov V.I. Odinokova I.V. Primenenie spir-tov v benzinovyh dvigatel'jah i dizel'jah / V.I.Erohov, I.V.Odinokova // *Avtomobile- i traktorostroenie v rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov: materialy Mezhdunarodnoj nauchn.-tehn. konf., posvya-shhennoj 145-letiju MGTU "MAMI"*. – M., 2010. – S. 106 – 115.

4. Srinivasan C. Study of Combustion Characteristics of an SI Engine Fuelled with Ethanol and Oxygenated Fuel Additives / C. Srinivasan and C. Saravanan // *Journal of Sustainable Energy*. – 2010. – P. 85 – 91.

5. Kухаренко Г.М. Моделирование рабочего процесса двигателя при работе на смесях бензина с этанолом / Г.М.Кухаренко, Г.А.Вершина, А.Ю.Пилатов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2012. – № 1(14). – С. 34 – 44.

6. Bayraktar, H. Experimental and theoretical investigation of using gasoline – ethanol blends in spark-ignition engines. *Renewable Energy*. – 2005. – V. 30. – P. 1733 – 1747.

7. Матиевский Д. Д. Применение смесевых спиртовых топлив в дизелях автотракторного типа / Д. Д. Матиевский, С. П. Кулманаков // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2000. – № 2. – С. 87-93.

8. Патрахальцев Н.Н. Регулирование ДВС методом изменения физико-химических свойств моторного топлива / Н.Н. Патрахальцев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 3. – С. 26 – 32.

9. Ginnebaugh L. Examining the temperature dependence of ethanol (E85) versus gasoline emissions on air pollution with a largely-explicit chemical mechanism / L. Ginnebaugh, J. Liang, Z. Jacobson // *Atmospheric Environment*. – 2010. – V. 44(9) P. 1192 – 1199.

10. Левтеров А.М. Метод исследования характеристик поршневых ДВС на альтернативных топливах / А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова, Н.Ю. Гладкова // Вісник НТУ «ХП»: «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – 2011. – Вып. 42. – С. 99-106.

11. Левтеров А.М. Расчетно-экспериментальные исследования характеристик двигателя MeMz 307-1 на бензоэтанольных смесях / А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова, Н.Ю. Гладкова, В.П. Мараховский, А.Н. Авраменко // Вісник НТУ «ХП»: «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – 2012. – Вып. 27. – С. 107 – 113.

Поступила в редакцию. 22.05.2013

Левтеров Антон Михайлович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: dppr@ipmach.kharkov.ua

Левтерова Людмила Ивановна – ведущий инж. отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: dppr@ipmach.kharkov.ua.

Гладкова Наталья Юрьевна – ведущий инж. отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: dppr@ipmach.kharkov.ua.

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА, ЩО ПРАЦЮЄ НА БЕНЗОЕТАНОЛЕ

А.М. Левтеров, Л.І. Левтерова, Н.Ю. Гладкова

Потенціал виробництва та використання етилового спирту у якості моторного палива в Україні достатньо великий, внаслідок чого прогнозування показників ефективності та токсичності енергоустановок транспортних засобів є доцільним та таким, що має попит. В статті викладено деякі результати чисельного моделювання характеристик автомобільного двигуна MeMz 307 (4Ч7,5/7,3), що працює на бензині та бензоетанольних сумішах з різним вмістом етанолу. Наводяться основні розрахункові характеристики двигуна, вплив та взаємодія на них регульованих та режимних параметрів.

RESULTS OF NUMERICAL PROBE OF CHARACTERISTICS OF THE AUTOMOBILE ENGINE WORK ON PETROLETHANOL

A.M. Levterov, L.I. Levterova, N.Y. Gladkova

The potential of manufacture and use of ethyl spirit as motor fuel in Ukraine are great enough, in this connection forecasting of efficiency, indicators of toxicity of powerinstallations of vehicles are expedient and demanded. In article results of numerical experiment of the automobile engine of Memz 407 (4ч 7.5/7.3), work on gasoline and the benzoetanolnykh mixtures with the various maintenance of ethanol was resulted. The basic settlement performance data of the engine, influence and interference on them adjustable and regime parametres was also resulted.