

Міністерство освіти і науки України
Херсонська державна морська академія
Херсонський національний технічний університет
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Одеський національний морський університет
Національний університет «Одеська морська академія»
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Інститут газу НАН України
Національний транспортний університет
Український державний університет залізничного транспорту
Білоруський національний технічний університет
Білоруський державний економічний університет
University of Warmia and Mazury in Olsztyn (Польща)
Rzeszow University of Technology (Польща)
Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Польща)
Kabul Polytechnic University (Афганістан)
Науково-виробнича компанія «Modern Multi Power Systems» s.r.o. (Чехія)
Крюїнгова компанія «Marlow Navigation» (Кіпр)

МАТЕРІАЛИ

8-ї Міжнародної науково-практичної конференції

СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ НА ТРАНСПОРТІ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ



Херсон – 2017

Програмний комітет:

Белоцерківський М.А. – д.т.н., проф.
Об'єднаного інституту
машинобудування НАН Білорусі;
Білоусов Є.В. – к.т.н., доц. ХДМА;
Варбанець Р.А. – д.т.н., проф. ОНМУ;
Волков В.П. – д.т.н., проф. ХНАДУ;
Горбов В.М. – к.т.н., проф. НУК;
Грицук І.В. – д.т.н., проф. ХДМА;
Гутаревич Ю.Ф. – д.т.н., проф. НТУ;
Железко Б.О. – к.т.н., доц. Білоруського
державного економічного університету;
Жук Г.В. – д.т.н., с.н.с. ІГНАНУ;
Івановський В.Г. – д.т.н., проф. ОНМУ;
Іщенко І.М. – к.т.н., проф. ХДМА;
Каграманян А.О. – к.т.н., доц. УДУЗТ;
Колегаєв М.О. – к.т.н., проф. НУОМА;
Кравченко О.П. – д.т.н., проф. ЖДТУ;
Ляшенко Б.А. – д.т.н., проф. ШМ;
Малигін Б.В. – д.т.н., проф. ХДМА;
Матейчик В.П. – д.т.н., проф. НТУ;
Мнацаканов Р.Г. – д.т.н., проф. НАУ;
Наглюк І.С. – д.т.н., проф. ХНАДУ;
Подригало М.А. – д.т.н., проф. ХНАДУ;
Подригало Н.М. – д.т.н., доц. ХНАДУ;
Посвятенко Е.К. – д.т.н., проф. НТУ;
Рева О.М. – д.т.н., проф. НАУ;

Рожков С.О. – д.т.н., проф. ХДМА;
Селіванов С.Є. – д.т.н., проф. ХДМА;
Тамаргазін О.А. – д.т.н., проф. НАУ;
Тимошевський Б.Г. – д.т.н., проф. НУК;
Ткач М.Р. – д.т.н., проф. НУК;
Тулученко Г.Я. – д.т.н., проф. ХНТУ;
Шарко О.В. – д.т.н., проф. ХДМА;
Шостак В.П. – к.т.н., проф. НУК
Lejda Kazimierz – д.хаб., проф. Rzeszow
University of Technology (Польща);
Podprygora Olena – директор науково-
виробничої компанії «Modern Multi
Power Systems» s.r.o. (Чехія);
Said Usuf – Kabul Polytechnic University
(Афганістан);
Smieszek Mirosław – д.хаб., проф.
Rzeszow University of Technology
(Польща);
Wróblewski Aleksander – д.т.н., проф.
University of Warmia and Mazury in
Olsztyn (Польща);
Zbigniew Lukasik – д.т.н., проф.
Kazimierz Pulaski University of
Technology and Humanities in Radom
(Польща)

Організаційний комітет:

Голова – Ходаковський Володимир Федорович, професор, ректор ХДМА
Заступники голови – Бень Андрій Павлович, к.т.н., доц., проректор з НІР ХДМА
Білоусов Євген Вікторович, к.т.н., доц., декан ФСЕ ХДМА
Савчук Володимир Петрович, к.т.н., доц., завідувач кафедри ЕСЕУ ХДМА
Вчений секретар конференції – Блах Ігор Володимирович, нач. відділу технічної
інформації ХДМА
Технічний секретар – Бабій Михайло Володимирович, к.т.н., доц. каф. ЕСЕУ ХДМА

**Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх
обслуговування. 8-а Міжнародна науково-практична конференція, 28-29 вересня
2017 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія.**

У програмі 8-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні
установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» представлені
доповіді, які присвячені проблемам експлуатації, виробництва та проектування
енергетичних установок та устаткування на транспорті, а також підготовці спеціалістів у
сфері транспортної енергетики й устаткування.

РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Белоусов Е.В., Савчук В.П., Грицук И.В., Белоусова Т.П. ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ НА УЧАСТКЕ СЖАТИЯ В СУДОВЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ.....	341
Білоусова Т.П., Шульженко М.А., Титаренко Ю.В., Тулученко Г.Я. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОЧНИХ МАТРИЦЬ У ЗАДАЧАХ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ.....	344
Веретенник А.М., Аболешкин С.Е., Кардашев Д.Л., Григорьева Е.С. АКСЕЛЕРОМЕТРИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ.....	346
Джуринская А.А., Смоляной Е.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ ТЕРМОПРЕССОРОМ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА СУДОВОГО ДВС.....	350
Коновалов Д.В. Кобалава Г.А, Майбродский П.А. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОТЕРМОПРЕССОРА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК.....	351
Коробко В.В. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ІМПУЛЬСНОЇ ДВОНАПРАВЛЕНОЇ ТУРБИНИ В СКЛАДІ ТЕРМОАКУСТИЧНОЇ ТЕПЛОВОЇ МАШИНИ.....	352
Маулевич В.О. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ В СРЕДЕ AVL BOOST.....	356
Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Міщук Д.О. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ РОЗПУШУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ ПРИ СТАТИЧНОМУ РОЗПУШУВАННІ ГРУНТУ.....	357
Поляков В.А., Хачапуридзе Н.М. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ДИНАМИКИ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА.....	363
Половинка Э.М., Слободянюк Н.В. ПРОЦЕСС ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА В СУДОВОМ СРЕДНЕОБОРОТНОМ ДИЗЕЛЕ НА ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ.....	369
Рыбалко Р.И., Гущин О.В. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСМЕСИ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ТРАНСПОРТНОГО ТРУБОПРОВОДА...	374
Свистун Ю.А. РОБОТА ГАЗОВОГО ДВИГУНА НА ПРИВІД ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ЗА РІЗНОГО СКЛАДУ ГАЗО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ.....	377
Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О., Гапонов Е.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОГО ЭФФЕКТА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ С МАЛЫМИ ДОБАВКАМИ ВОДОРОДА.....	381
Ткач М.Р., Тимошевський Б.Г., Познанський А.С., Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕЗ-ГАЗУ В ДВЗ З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ.....	383
Троханяк В.І., Горобець В.Г., Богдан Ю.О., Антипов Є.О. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	386

ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ НА УЧАСТКЕ СЖАТИЯ В СУДОВЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

¹Белоусов Е.В., ¹Савчук В.П., ¹Грицук И.В., ²Белоусова Т.П.

¹Херсонская государственная морская академия (Украина)

²Херсонский национальный технический университет (Украина)

Малооборотные дизели составляют основу современной судовой энергетики, однако ужесточение экологических норм и рост цен на нефтяные топлива заставили их производителей направить свои усилия на разработку газодизельных МОД. У двухтактных двигателей воздух, перед поступлением в рабочий цилиндр, заполняет подпоршневую полость, имеющую достаточно большой объем. Это не позволяет организовать в них внешнее смесеобразование, так как в этом случае увеличивается опасность взрыва в подпоршневом пространстве. Поэтому в современных двухтактных двигателях используется внутреннее смесеобразование, при котором газовое топливо (ГТ) подается в рабочий цилиндр на такте сжатия сразу после закрытия органов газораспределения под низким давлением (двигатели фирмы Wärtsilä) или непосредственно перед приходом поршня в ВМТ под высоким давлением (двигатели фирмы MAN). Специфические условия работы судов наложили свои отпечатки на развитие топливных систем судовых двигателей, работающих на газе. В первую очередь это связано с необходимостью сохранить возможность работы двигателя на жидких топливах. Исходя из этого, основная масса судовых двигателей создается сегодня двухтопливными (dual-fuel (DF)), то есть способными работать на газовом, жидком топливе или на обоих топливах одновременно в различных пропорциях [1-7].

Очевидно, что помимо уже реализованных технических решений существуют промежуточные варианты, связанные с подачей газового топлива в рабочий цилиндр на разных участках процесса сжатия. При этом смещение процесса смесеобразования относительно процесса сжатия может позволить избавиться от недостатков присущих системам низкого давления и снизить роль недостатков присущих системам высокого давления.

В основу нашего исследования легло предположение, что использование среднего давления для подачи газа в рабочий цилиндр позволит, уменьшить затраты на сжатие газового топлива, сократить время пребывания газо-воздушной смеси в рабочем цилиндре до момента ее воспламенения, что позволит уменьшить вероятность возникновения детонации, прорыва газо-воздушной смеси в подпоршневое пространство.

Для анализа возможности смесеобразования на различных участках процесса сжатия авторами была разработана расчетная модель позволяющая получить значение массовых расходов ГТ через газовый клапан заданного сечения. Основной особенностью модели является необходимость учитывать протекание смесеобразования в условиях меняющегося в процессе сжатия противодавления. В качестве примера далее приведены результаты моделирования процессов смесеобразования в судовом малооборотном газодизельном двигателе RT-flex50DF. В таблице 1 приведены основные характеристики двигателя, топлива и процесса подачи газа использованные при моделировании.

В результате моделирования было исследовано десять вариантов подачи ГТ в процессе сжатия. Для обеспечения надежного поступления ГТ в рабочий цилиндр давление перед газовым клапаном принималось на $\approx 20\%$ выше максимального давления в цилиндре на момент прекращения подачи. На рис. 1 линия 2, соответствует режиму подачи ГТ характерному для двигателя RT-flex50DF с подачей газа под давлением 1,6 МПа, а линия 10 режиму подачи в двигателях с прямым впрыском под давлением 20 МПа. Полученные для этих случаев углы начала и конца подачи ГТ совпадают с данными двигателей, в которых такие способы смесеобразования реализованы на настоящий момент.

Таблиця 1 – Исходные данные для расчетов

Параметр	Значение	Ед. изм.
Цилиндровая мощность двигателя	1620	кВт
Частота вращения двигателя	124	мин ⁻¹
Коэффициент запаса давления ГТ на участке подачи	1,2	
Часовой расход газового топлива	256,67	кг/ч
Плотность ГТ при начальном давлении	0,656	кг/м ³
Количество газовых клапанов на цилиндр	2	шт.
Проходное сечение газовых клапанов	0,00040	м ²
КПД компрессора	0,6500	
Газовая постоянная ГТ	783	кДж/(кг К)
Удельный объем ГТ	0,0544	м ³ /кг
Удельная изобарная теплоемкость ГТ	2483	кДж/(кг К)
Удельная изохорная теплоемкость ГТ	1700	кДж/(кг К)
Начальный объем ГТ при атмосферном давлении	391,26	м ³
Цикловая порция ГТ, массовая	0,0345	кг

На рис. 1 представлено расчетные кривые изменения массового расхода ГТ на рассмотренных участках, из которых видно, что при подаче ГТ в начале процесса сжатия, сразу после закрытия органов газораспределения, принятый запас по давлению обеспечивает истечение газа из соплового канала газового клапана с критической скоростью. В результате этого на начальных этапах подачи газа, его расход через сопловое отверстие остается постоянным. Особенно это хорошо видно для случая подачи ГТ в двигатель при давлении 1,6 МПа, характерном для двигателя RT-flex50DF (кривая 2).

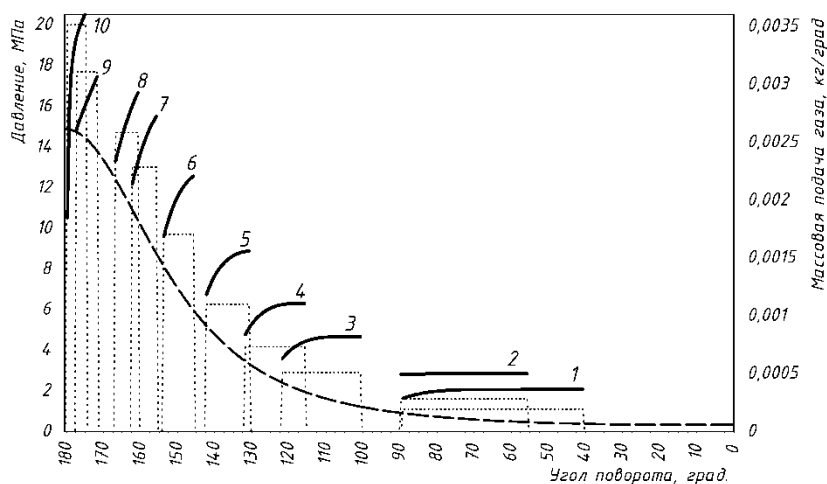


Рисунок 1. Изменение массовой подачи ГТ в рабочий цилиндр двигателя на такте сжатия на разных участках 1-10 – под давлением 1,1; 1,6 2,9; 4,15; 6,25; 9,7; 13; 14,7; 17,67; 20 МПа соответственно; ---- линия сжатия в координатах $p\phi$; — — линия массового расхода ГТ через сопловое отверстие газового клапана

В этом случае на протяжении всего процесса подачи ГТ скорость его поступления остается закритической, а расход постоянным, не зависящим от давления в цилиндре.

Смещение процесса топливоподачи в сторону ВМТ приводит к увеличению противодействия, в результате чего истечение ГТ из соплового отверстия переходит из закритической в докритическую область. В результате этого расход топлива с ростом давления в рабочем цилиндре уменьшается. Из рис. 1 видно, что при давлении перед газовым клапаном 6,25 МПа (кривая 5), истечение ГТ происходит только в докритической области. Это усложняет алгоритм управления газовым клапаном, поскольку требуется корректировка угла его закрытия с учетом переменного характера подачи.

Из рис. 2 видно, что с увеличением давления перед газовым клапаном, затраты на сжатие ГТ возрастают с 2,5% от мощности цилиндра при давлении 1,1 МПа до 9,7% при давлении 20 МПа. При этом время открытия клапана сокращается на порядок с 0,066 до 0,0064 с, что повышает требования к его быстродействию.

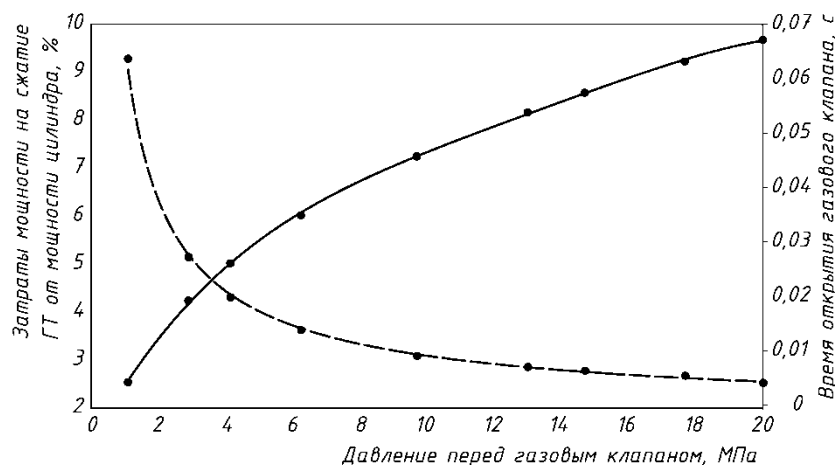


Рисунок 2. Относительные затраты мощности на сжатие ГТ перед подачей его в цилиндр двигателя (—) на такте сжатия и время открытия газового клапана как функция давления перед ним (- - -)

Выводы. Проведенный анализ, позволяет предположить, что вполне рациональным с точки зрения практической реализации может быть вариант смесеобразования, при котором ГТ подается в рабочий цилиндр под давлением 4,15 МПа на участке 115-132° п.к.в. В этом случае на момент открытия газового клапана поршень пройдет более 73% своего хода. В результате значительно сократится время пребывания газо-воздушной смеси в рабочем цилиндре до момента ее поджига, что позволит значительно уменьшить вероятность возникновения детонационного сгорания. Это даст возможность при использовании ГТ эксплуатировать двигатель на режимах полной эксплуатационной мощности, что не может быть реализовано в двигателях с системами низкого давления. Кроме того, может быть сокращено время на стабилизацию состава газо-воздушной смеси, в результате чего будет увеличена скорость реакции двигателя на изменение нагрузки. Количество газо-воздушной смеси проникающей в подпоршневую полость через неплотности поршневых колец тоже уменьшится, в результате чего вероятность взрыва в подпоршневом пространстве сократится. Затраты энергии на сжатие газа до давления около 3,5...4,5 МПа составят примерно 5% от мощности цилиндра, что почти в два раза ниже чем для двигателей с подачей топлива под давлением 20 МПа (9,67%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Rolsted, H. MAN B&W 2-stroke Marine Engine Leading today's Environmental challenges. Korea: MAN Diesel & Turbo SE, 2010. – 86 p.
2. ME-GI – Dual Fuel Done Right. MAN Diesel, ME-GI, Sname NY, 2013. – 73 p.
3. ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines A Technical, Operational and Cost-effective Solution for Ships Fuelled by Gas. Denmark, Copenhagen: MAN Diesel & Turbo, 2012. – 36 p.
4. Wettstein, R. The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine. AJOUR Conference, Odense, 27/28 Nov, 2014 – 31 p.
5. Белоусов, Е.В. Анализ современных подходов к проблеме создания судовых малооборотных газодизельных двигателей [Текст] / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, Т.П. Белоусова // Двигатели внутреннего сгорания. Всеукраинский научно-технический журнал. – Харьков: изд. НТУ«ХПИ» – № 1. 2016 – С 81-88.