

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»  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail (Morocco)  
Jiangsu University of Science and Technology (China)  
Карагандинський державний університет (Казахстан)  
Петербурзький державний університет шляхів сполучення (Росія)  
Московський державний технічний університет імені М.Е. Баумана (Росія)  
Крюїнгова компанія «Marlow Navigation» (Кіпр)

## МАТЕРІАЛИ

7-мої Міжнародної науково-практичної конференції

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



Херсон – 2016

## Організатори конференції

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»  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail (Morocco)  
Jiangsu University of Science and Technology (China)  
Карагандинський державний університет (Казахстан)  
Петербурзький державний університет шляхів сполучення (Росія)  
Московський державний технічний університет імені М.Е. Баумана (Росія)  
Крюїнгова компанія «Marlow Navigation» (Кіпр)

## Програмний комітет:

Білоусов Є.В., к.т.н., доц. ХДМА	Михайлик В.Д., д.т.н., проф. ХДМА
Букетов А.В., д.т.н., проф. ХДМА	Настасенко В.О., к.т.н., проф. ХДМА
Варбанець Р.А., д.т.н., проф. ОНМУ	Рева О.М., д.т.н., проф. НАУ
Горбов В.М., к.т.н., проф. НУК	Рудакова Г.В., д.т.н., проф. ХНТУ
Ісаєв Є.О., д.т.н., проф. ХДМА	Селіванов С.Є., д.т.н., проф. ХДМА
Іщенко І.М., к.т.н., проф. ХДМА	Соколова Н.А., д.т.н., проф. ХДМА
Колегаєв М.О., к.т.н., проф. НУ ОМА	Стухляк П.Д., д.т.н., проф. ТНТУ
Леонов В.Є., д.т.н., проф. ХДМА	Тимошевський Б.Г., д.т.н., проф. НУК
Малахов О.В., к.т.н., проф. НУ ОМА	Федоров В.В., д.т.н., проф. ФМІ НАНУ
Малигін Б.В., д.т.н., проф. ХДМА	Шарко О.В., д.т.н., проф. ХДМА
Рожков С.О., д.т.н., проф. ХДМА	Шостак В.П., к.т.н., проф. НУК
Луців І.В., д.т.н., проф. ТНТУ	Щедролосєв О.В., д.т.н., проф. НУК

## Організаційний комітет:

**Голова** – Ходаковський Володимир Федорович, професор, ректор ХДМА  
**Заступники голови** – Бень Андрій Павлович, к.т.н., доц., проректор з НІР ХДМА  
Букетов Андрій Вікторович, д.т.н., проф., зав. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА  
**Вчений секретар конференції** – Акімов О.В., к.т.н., доц. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА  
**Заст. вченого секретаря конференції** – Настасенко Валентин Олексійович, к.т.н., проф. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА; Проценко Владислав Олександрович, к.т.н., доц. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА; Бабій Михайло Володимирович, к.т.н., доц. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА  
**Технічний секретар** – Браїло Микола Володимирович, к.т.н., ст. викл. каф. ЕСЕУ та ЗП

Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 7-ма Міжнародна науково-практична конференція, 22-23 вересня 2016 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія.

У програмі 7-мої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» наведені доповіді, які присвячені проблемам експлуатації, виробництва та проектування енергетичних установок та устаткування на транспорті, використанню нових матеріалів, а також проблемам підготовки спеціалістів у сфері транспортної енергетики й устаткування.

Програмний комітет конференції не завжди розділяє думку авторів стосовно змісту опублікованих доповідей. Відповідальність за наукову цінність, практичну значущість і зміст доповідей несуть безпосередньо автори.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	11
-------------	----

### **ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ**

<b>Акимов А.А.</b> Modeling heat and mass transfer in a seawater scrubber for marine application .....	13
<b>Белоусов Е.В., Савчук В.П., Белоусова Т.П.</b> Конвертация судовых малооборотных двигателей для работы на газовых топливах.....	16
<b>Варбанец Р.А., Кучеренко Ю.Н., Кырнац В.И., Жолтиков Е.И.</b> Технологические карты научных исследований в задачах мониторинга и параметрической диагностики судовых дизелей.....	19
<b>Вассерман А.А., Слынько А.Г.</b> Об использовании энергии отработавших газов ДВС с газотурбинным наддувом .....	20
<b>Гаєва Л.І., Дикун Т.В.</b> Вплив випаровуваності бензинів на техніко-експлуатаційні показники роботи двигуна внутрішнього згоряння.....	21
<b>Доценко Г.Г., Наговський Д.А.</b> Системи керування судовими технічними засобами ..	22
<b>Егоров О.И., Ванжа А.Г.</b> Усовершенствование процедуры идентификации поездов .....	25
<b>Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Бутрин О.П., Грушицький О.Я.</b> Несуча здатність шарнірів паралельно-рядних ланцюгових передач нафтогазовидобувного обладнання і транспортних засобів у імовірнісному аспекті .....	26
<b>Малахов А.В., Палагин А.Н.</b> Система стабилизации судов типа HEAVY-LIFT .....	29
<b>Матвеев В.В.</b> Система рециркуляции уходящих газов для обеспечения требований ИМО по выбросам NOx.....	31
<b>Наговський Д.А., Доценко Г.Г.</b> Керування вантажними операціями LNG судна .....	32
<b>Проценко В.О.</b> Структурна досконалість відцентрових фрикційних муфт сепараторів WESTFALIA .....	34
<b>Стрелковская Л.А.</b> Использование метода экспертных оценок при создании экспертной системы .....	36
<b>Тимофеев К.В., Сидорук М.В.</b> Автоматизация системы охлаждения частотных перетворювачів електрорушійної установки судна .....	37
<b>Ткач М.Р., Тимошевський Б.Г., Познанський А.С., Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю.</b> Вплив добавок синтез-газу до бензину на процес згоряння ДВЗ 2Ч 7,2/6.....	39
<b>Ткач М.Р., Тимошевський Б.Г., Доценко С.М., Галинкін Ю.М.</b> Масагабаритні показників металогібридної установки безперервної дії, утилізуючої тепло малооборотних двигунів .....	42
<b>Худяков И.В., Амелин М.Ю., Рудакова А.В.</b> Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных энергетических установок .....	45

## **КОНВЕРТАЦИЯ СУДОВЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАБОТЫ НА ГАЗОВЫХ ТОПЛИВАХ**

<sup>1</sup>Белоусов Е.В., <sup>1</sup>Савчук В.П., <sup>2</sup>Белоусова Т.П.

<sup>1</sup>*Херсонская государственная морская академия (Украина)*

<sup>2</sup>*Херсонский национальный технический университет (Украина)*

Постоянный рост цен на нефть и топлива, получаемые из нее, а также ужесточение требований, связанных с экологическими показателями судовых двигателей, заставляют все большее число производителей искать альтернативные решения, связанные как с поиском новых топлив, так и способов их использования в судовых дизелях [1].

В качестве наиболее перспективных топлив, позволяющих одновременно снизить и стоимость перевозок, и количество вредных выбросов, являются газовые топлива различного происхождения. Наиболее перспективным газовым топливом (ГТ) сегодня считается природный газ.

Применение природного газа позволяет существенно сократить количество вредных выбросов в сравнении с топливами нефтяного происхождения – полностью исключить выбросы серы, кардинально (на 90 %) снизить выбросы оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и существенно (на 30 %) снизить выбросы твердых частиц и диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) [2]. К другим преимуществам ГТ можно отнести отсутствие жидких фракций, что исключает разжижение масла в зоне работы поршневых колец, а практически полное отсутствие зольности приводит к улучшению условий смазки и повышению срока службы циркуляционного масла. В результате ресурс двигателей, работающих на газе, может быть увеличен в 1,3...1,5 раза, во столько же снижены затраты на обслуживание и ремонт.

Первоначально вопрос использования природного газа в качестве моторного топлива на флоте встал для судов-газовозов. Накопление опыта их эксплуатации позволило расширить область применения ГТ в двигателях судов других типов. Сегодня использование сжиженного природного газа рассматривается как перспективное направление для судов – контейнеровозов, пассажирских, автомобилевозов, паромов и т.д. [2, 3]. Специфические условия работы судов наложили свой отпечаток на развитие топливных систем судовых двигателей, работающих на газе. В первую очередь это связано с необходимостью сохранить возможность работы двигателя на жидких топливах, которая возникает всякий раз, когда судно движется в балласте. Кроме того, в зависимости от вида груза, условий плавания и времени, состав газов, используемых в СЭУ, может существенно изменяться. Топливная система должна адекватно реагировать на такие изменения и обеспечивать работу двигателей на номинальных режимах.

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 сразу в различных пропорциях.

К организации рабочего процесса в DF-двигателях при работе на газе существует два принципиально различных подхода – использование внешнего и внутреннего смесеобразования. При этом в обоих случаях воспламенение газо-воздушной смеси осуществляется от электрической искры или небольшой порции жидкого топлива, впрыснутого в рабочий цилиндр.

Изначально задача использования природного газа в судовых двигателях была решена для четырехтактных двигателей, в которых преимущественно использовалось внешнее смесеобразование в комбинации с запальным зажиганием [1]. В двухтактных двигателях организовать внешнее смесеобразование достаточно сложно, так как перед поступлением в рабочий цилиндр воздух заполняет подпоршневую полость, имеющую достаточно большой объем. Наличие большого количества газо-воздушной смеси увеличивает опасность взрыва и серьезность его последствий. Поэтому в современных двухтактных двигателях используется внутреннее смесеобразование, при котором газовое топливо подается в

рабочий цилиндр после закрытия газораспределительных органов.

К внутреннему смесеобразованию существует два основных подхода:

– газ подается в рабочий цилиндр сразу после закрытия выпускного клапана в начальной стадии такта сжатия под относительно небольшим давлением, благодаря чему такие системы получили название – *систем питания низкого давления*;

– газ подается в камеру сгорания вместе с запальным топливом в конце такта сжатия под высоким давлением, поэтому такие системы получили название *систем питания высокого давления* или *прямого впрыска газа* (Direct Injected Gas (GD)).

В настоящее время, к опытной эксплуатации двухтактных малооборотных двигателей с системами низкого давления приступила фирма Wärtsilä, создавшая для продвижения данных технологий дочернюю компанию Winterthur Gas and Diesel Ltd. Системами высокого давления оборудуются малооборотные газодизельные двигатели фирмы MAN, которые используются в качестве главных, не только на газовозах, но и на других типах судов. В этом же направлении ведет разработки японская фирма Mitsubishi, которая на базе дизелей серии UEC создает собственный вариант малооборотного DF-двигателя получившего индекс UEC-LSGi. В таблице 1 приведены основные особенности, связанные с конструкцией, организацией рабочего процесса и эксплуатацией газодизельных двигателей оборудованных системами низкого и высокого давления.

Таблица 1 – Сравнение систем подачи газа в двигатель низкого и высокого давления

<b>Особенности конструкции и организации рабочего процесса</b>	<b>Низкого давления</b>	<b>Высокого давления</b>
Мощность на газовом топливе	80% от $N_e^{ЖТ}$	100% от $N_e^{ЖТ}$
Чувствительность к качеству газа (метановое число)	не ниже 80	нет
Чувствительность к температуре воздуха на входе	есть	нет
Доля запального топлива	$\approx 1\%$	3...5%
Наличие отдельной системы запального впрыска	Есть	Нет
Возможность использования HFO как запального	В перспективе	Да
Возможность использования HFO как резервного	Да	Да
Возможность работы на двух топливах одновременно (кроме запального)	Нет/В перспективе	Да
Смесеобразование	С перемешиванием	Без перемешивания
Давление подводимого газового топлива	1,6 МПа	30,0 МПа
Максимальное давление цикла	Возрастает	Без изменений
Возникновение детонации при изменении нагрузки	Возможно	Нет
Вероятность пропуска воспламенения	Есть	Нет
Вероятность взрыва в подпоршневом пространстве	Есть	Нет
Вероятность взрыва в выпускном ресивере	Есть	Нет
Вероятность утечек газа в машинное отделение	Низкая	Высокая
Эффективный КПД на газовом топливе	Без изменений	Возрастает
Эффективный КПД на жидком топливе	Снижается	Без изменений
Соответствие нормам выбросов IMO по $NO_x$	Tier III	Tier II
Выбросы $CO_2$ с отработавшими газами г/(кВт×ч)	485,7	452,4
Выбросы метана с отработавшими газами г/(кВт×ч)	3...6	$\approx 0,5$
GWP (потенциал глобального потепления в эквиваленте $CO_2$ ) от ЖТ	На ниже 10%	На ниже 23%
Возможность перехода с одного топлива на другое под нагрузкой	До 80% от $N_e^{ЖТ}$	Без ограничений
Реакция двигателя на изменение нагрузки	Замедленная	Без изменений

Анализ таблицы 1, позволяет выявить преимущества и недостатки каждого из рассмотренных типов систем газоснабжения двухтактных малооборотных газодизельных двигателей и обозначить перспективные области их использования.

*Преимущества систем низкого давления:*

- хорошее перемешивание газо-воздушной смеси в ходе процесса сжатия;
- использование минимальной порции запального топлива для поджога газо-воздушной смеси;
- подача газ в рабочий цилиндр под относительно низким давлением, что позволяет снизить вероятность утечек, упростить топливную систему, повысить безопасность ее использования;
- для подачи ГТ можно использовать более дешевые и надежные винтовые или центробежные компрессоры.

*Недостатки систем низкого давления:*

- возможность возникновения детонации и как следствие более высокие требования к качеству ГТ;
- неизбежное просачивание газо-воздушной смеси через поршневые кольца в подпоршневое пространство на такте сжатия, а так же вероятность попадания газа в подпоршневое пространство в случае повреждения газового клапана;
- ограничения по мощности двигателя при работе на ГТ на уровне 80% от номинала, замедленная реакция на изменение нагрузки.

*Преимущество систем прямого впрыска:*

- при подаче ГТ непосредственно в камеру сгорания, можно полностью исключить возникновение детонации, по этому, отсутствуют какие либо ограничения по мощности двигателя при работе на ГТ, да и требования к качеству ГТ менее жесткие;
- исключено попадание ГТ в подпоршневое пространство;

*Недостатки систем прямого впрыска:*

- использование газа под высоким давлением усложняет топливную систему, повышает требования к ее безопасности;
- большой расход жидкого топлива на запальное зажигание газо-воздушной смеси;
- для сжатия природного газа необходимо использование многоступенчатых компрессоров, что повышает энергетические затраты установки.

Очевидно, что оба подхода к организации рабочего процесса в газодизельных двигателях имеют свои преимущества, которые для определенного типа установок могут оказаться решающими. В этой связи, можно предположить, что область использования систем низкого давления в обозримой перспективе будут ограничиваться судами газовозами. Эти суда могут обеспечивать достаточно стабильные параметры газового топлива на входе в двигатель, а режимы их работы в большей степени соответствуют тем ограничениям которые накладываются на двигатели выполненные по схеме низкого давления. Основным преимуществом определяющим использование таких двигателей будет их более низкая стоимость, меньшие эксплуатационные затраты, особенно по составляющей жидкого топлива, простота в эксплуатации и более высокие экологические показатели.

Системы высокого давления могут быть использованы на судах всех типов, однако, более высокая стоимость и повышенные эксплуатационные затраты в значительной степени снизят эффект от их использования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Rolsted H. MAN B&W 2-stroke Marine Engine Leading today's Environmental challenges [Текст]./ Rolsted H. // Korea: MAN Diesel & Turbo SE, 2010. – 86 p.
2. ME-GI – Dual Fuel Done Right [Текст]. 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 [Текст]. Denmark, Copenhagen: MAN Diesel & Turbo. 2012. – 36 p.