

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
Одеський національний морський університет
Херсонська державна морська академія
ДП Науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря»–«Машпроект»
Регістр судноплавства України
Харбінський інженерний університет (Китай)
Університет науки і технологій Цзянсу (Китай)
Західнопоморський технологічний університет (Польща)
Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія)
MV WERFTEN Wismar GmbH (Німеччина)

МАТЕРІАЛИ

X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

4–5 листопада 2021 року



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

УДК 629.12.03

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: *Трушляков Є.І.* – д.т.н., проф. (Україна)

Заступники голови: *Павлов Г.В.* – д.т.н., проф. (Україна); *Сербін С.І.* – д.т.н., проф. (Україна); *Горбов В.М.* – к.т.н., проф. (Україна)

Вчений секретар: *Мітенкова В.С.* – к.т.н, доцент (Україна)

Члени оргкомітету: *Белоусов Є.В.* – д.т.н., доц. (Україна); *Варбанець Р.А.* – д.т.н., проф. (Україна); *Грицук І.В.* – д.т.н., проф. (Україна); *Димо Б.В.* – к.т.н., проф. (Україна); *Радченко М.І.* – д.т.н., проф. (Україна); *Ткач М.Р.* – д.т.н., проф. (Україна); *Ся Гуйхуа* – prof (КНР); *Хведелидзе П.Г.* – д.т.н. проф. (Грузія); *Чередніченко О.К.* – д.т.н., доц. (Україна); *Чобенко В.Н.* – к.т.н. (Україна); *Шостак В.П.* – к.т.н., проф. (Україна); *Gershanik V.I.* – DSc (Німеччина); *Stachel A.A.* – DSc, Prof (Польща); *Themelis N.J.* – PhD (США)

Матеріали публікуються за оригіналами, поданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Відповідальний за випуск Горбов В.М.

Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, 4–5 листопада 2021 року. – Миколаїв : Видавничий дім «Гельветика», 2021. – 358 с.
ISBN 000–000–000–000–0

У збірнику наведені матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, яка відбулась у Національному університеті кораблебудування (м. Миколаїв) 4–5 листопада 2021 року. Розглянуто різні аспекти науково-технічних, організаційних та екологічних питань, пов'язаних з дослідженням, проектуванням, виготовленням та експлуатацією суднових енергетичних установок суден різного призначення, дослідженням робочих процесів у елементах суднових енергетичних установок, а також шляхам удосконалення підготовки фахівців з суднової енергетики у вищих навчальних закладах. Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів та аспірантів.

УДК 629.12.03

ISBN 000–000–000–000–0

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2021

Секція № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

<i>Белоусов Е.В., Савчук В.П., Самарин А.Е., Белоусова Т.П., Рыбальченко Н.Е.</i> Истечение газового топлива из сопловых каналов газоподающего модуля малооборотного газодизельного двигателя среднего давления.....	126
<i>Ніколаєв Є.М., Бондаренко М.С.</i> Удосконалення системи охолодження головного двигуна судна проекту CNF09.....	131
<i>Ватаман Р.В.</i> Анализ эффективности теплоиспользующих систем охлаждения наддувочного воздуха дизельных установок	135
<i>Forduy S., Radchenko A., Zubarev A., Bohdal L., Khaldobin V., Konovalov A.</i> Increasing efficiency of gas engines in integrated energy system by scavenge air cooling in absorption chiller	139
<i>Forduy S., Zubarev A., Mikielewicz D., Ostapenko O., Hrych A., Khaldobin V.</i> Improving the efficiency of gas engine heat utilization by ejector-absorption chillers.....	141
<i>Козловський А.В.</i> Вплив геометричних параметрів проточної частини камери згоряння ГТД на стійкість процесів горіння	144
<i>Козловський А.В., Баклан О.В.</i> Дослідження параметрів турбіни високого тиску ГТА з ТУК номінальною споживаною потужністю 25 МВт.....	146
<i>Козловський А.В., Вілкул С.В.</i> Дослідження характеристик плазмового генератора, призначеного для підвищення стабільності процесів в камері згоряння ГТД.....	148
<i>Лашко П.В.</i> Анализ схем теплоиспользующей установки охлаждения наддувочного воздуха с использованием избыточной теплоты уходящих газов на выходе	151
<i>Личко Б.М., Макаренко О.С., Проскурін А.Ю., Резанов І.О., Пінчук П.О.</i> Вдосконалення системи управління подачею палива дизельних двигунів.....	155
<i>Маулевич В.О., Варбанець Р.А.</i> Експлуатація суднових двигунів MAN B&W типу ME з електронним керуванням на низькосірчаному паливі.....	157
<i>Мінчев Д.С., Гогоренко О.А., Мошенцев Ю.Л.</i> Експериментальне дослідження режимів роботи відцентрового компресора	160
<i>Мухаметханов Р.С.</i> Визначення резервів підвищення ефективності турбонаддуву суднових дизелів і напрямку їх реалізації	166
<i>Наливайко В.С., Хоменко В.С., Савчук П.С.</i> Історія створення двигунів внутрішнього згоряння типу Д100	170
<i>Наливайко В.С., Авдюнін Р.Ю., Челпанов А.О.</i> Аналіз взаємного руху поршнів двотактного дизеля типу Д100.....	173
<i>Грич А.В., Остапенко О.В.</i> Вплив двоступеневого кондиціювання повітря на ефективність газових двигунів автономної теплоелектростанції	178
<i>Грубий М.А., Коштовний В.П.</i> Покращення показників суднових СОД при використанні водню в якості палива.....	181
<i>Остапенко А.В., Грич А.В.</i> Повышение эффективности трансформации теплоты газового двигателя в холод использованием ступенчатой трансформации в ЭХМ и	185

Секція № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 621.431.74

ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА ИЗ СОПЛОВЫХ КАНАЛОВ ГАЗОПОДАЮЩЕГО МОДУЛЯ МАЛООБОРОТНОГО ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Белоусов Е.В.

доктор технических наук, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Савчук В.П.

кандидат технических наук, заведующий кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Самарин А.Е.

кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Белоусова Т.П.

старший преподаватель кафедры менеджмента и информационных технологий Херсонского государственного аграрно-экономического университета.

Рыбальченко Н.Е.

аспирант кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Аннотация. Существенным резервом повышения эффективности рабочих процессов судовых газодизельных малооборотных двигателей является совершенствование процессов подачи газового топлива в рабочий цилиндр. В дополнение к уже реализованным концепциям подачи газового топлива под низким и высоким давлением, авторами обоснована перспективность использования средних давлений. Это позволит, сохранив основные преимущества известных методов, существенно сократить свойственные им недостатки.

Ключевые слова: газодизельные малооборотные двухтактные двигатели, газовое топливо, газоподающий модуль, пилотное зажигание.

Мировой торговый флот находится в процессе динамичных преобразований, продиктованных меняющимся законодательством, ростом экологических требований и все более жесткой конкуренцией на рынке перевозок. Как инструмент решения проблем, стоящих перед отраслью, рассматривается перевод судовых двухтактных малооборотных двигателей внутреннего сгорания (МОД) на газовые топлива (ГТ) [1]. Важным сдерживающим фактором является то, что для МОД существуют ограничения, связанные с особенностями организации рабочего процесса, не позволяющие в полной мере применить опыт по переоборудованию на ГТ других типов двигателей [2]. Каждый производитель развивает собственную концепцию, направленную на решение данной проблемы [2, 3]. На сегодняшний день, наметились две принципиально различные концепции – подача ГТ непосредственно в рабочий цилиндр в начале такта сжатия под давлением 1,2...1,6 МПа и впрыск ГТ под давлением 20...30 МПа в камеру сгорания в конце такта сжатия. [2-4]. Каждой из этих концепций присущи, как преимущества, так и определенный набор недостатков [5].

В частности концепция подачи ГТ под низким давлением позволяет: получить низкий уровень выбросов, соответствующий стандарту Tier III, без дополнительной обработки отработавших газов; создать простую, надежную и экономичную систему подачи ГТ с минимальным количеством компонентов; обеспечить стабильную работу на ГТ в диапазоне эксплуатационных режимов.

Фирма Wärtsilä является основным разработчиком концепции «низкого давления», которая основана на сжигании в рабочем цилиндре обедненной газозоудушной смеси, которая в ходе процесса сжатия гомогенизируется и сгорает при большом избытке воздуха. ГТ подмешивается заряду в начале хода поршня на такте сжатия. В конце такта сжатия воздушно-топливный заряд воспламеняется за счет впрыска пилотной порции топлива в количестве, не превышающем 1% от расхода топлива при полной нагрузке. Для обеспечения стабильного зажигания пилотное топливо впрыскивается в форкамеры.

Отрицательным моментом продолжительного сжатия является образование пероксидов, являющихся причиной возникновения детонационных процессов. Двигатели с подачей ГТ под высоким давлением лишены этого недостатка.

Кроме уже реализованных подходов могут быть использованы другие варианты подачи ГТ, связанные с его поступлением в рабочий цилиндр на части рабочего хода поршня под давлением 4,0...6,0 МПа. В этом случае появляется возможность сочетать преимущества обоих реализованных на практике методов и существенно сократить свойственные им недостатки [6-8]. Эффективным методом борьбы с детонационным сгоранием, имеющим место в двигателях низкого давления, является сокращение времени пребывания газозоудушной смеси в рабочем цилиндре двигателя на такте сжатия [6, 7]. Это время зависит от давления, под

которым ГТ подводится к газоподающему модулю (рис. 1) и от особенностей истечения через его проточную часть [8]. При таком способе подачи газоподающие модули должны быть установлены в верхней части втулки цилиндра (рис. 2) или в его крышке.

Далее представлены результаты проведенного авторами исследования влияния элементов проточной части на формирование траекторий движения ГТ и параметров его истечения из соплового канала газоподающего модуля в рабочий цилиндр в условиях меняющегося противодействия.

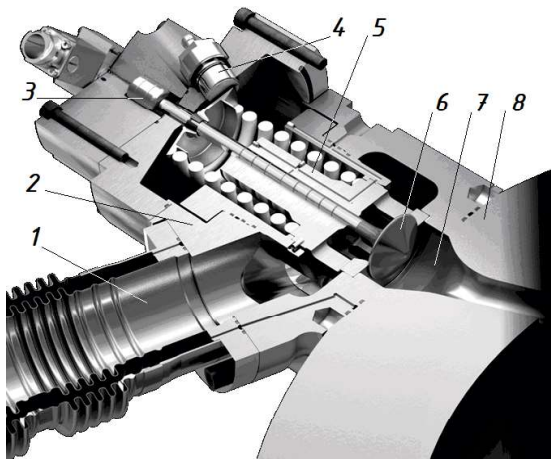


Рисунок 1 – Трехмерная модель газоподающего модуля двигателя W-X62DF: 1 – подвод ГТ; 2 – корпус; 3 – гидравлический поршень; 4 – датчик закрытия; 5 – направляющая втулка; 6 – клапан; 7 – сопловый канал; 8 – втулка цилиндра

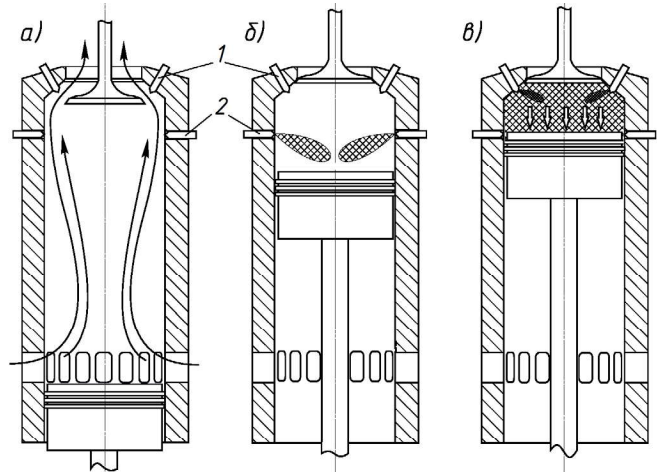


Рисунок 2 – Система подачи газового топлива среднего давления: а – продувка цилиндра; б – подача газа, воспламенение и сгорание; в – рабочий ход; 1 – запальный модуль; 2 – газоподающий модуль

Канал сопловой вставки и прилегающая к нему камера с газовым клапаном формируют сложные траектории движения ГТ на пути от газовой магистрали к полости рабочего цилиндра, что существенно влияет на расходные характеристики. Для исследования этого влияния была разработана трехмерная модель газоподающего модуля в среде SolidWorks.

Использование трехмерного газодинамического моделирования позволяет варьировать отдельными параметрами проточной части модуля, исследуя параметры потока ГТ на выходе из соплового канала в рабочий цилиндр с учетом значения действующего противодействия. Пример моделирования формирования траекторий газовых потоков и распределение скоростей представлено на рис. 3, где показано изменение числа Маха вдоль траектории движения газового топлива от газоподводящей магистрали и до выхода из соплового канала.

Основные параметры потока исследовались с учетом траекторий движения ГТ внутри подающего модуля, а так же с учетом профиля соплового канала с минимальными сечениями

от 200 до 500 мм² с шагом в 50 мм². (рис. 4). Давление ГТ перед клапаном во всех случаях принималось равным 4,13 МПа.

Результаты моделирования параметров истечения через исследуемые профили сопловых каналов (рис. 4), показаны на рис. 5. Из представленных данных видно, что истечение ГТ на участке сжатия с противодавлением от 0,73 до 2,3 МПа, происходит в закритической области, а расход ГТ на этом участке остается постоянным. Рост противодавления в ходе процесса сжатия приводит к переходу характера истечения в закритическую область и резкому уменьшению расхода ГТ через сопловый канал.

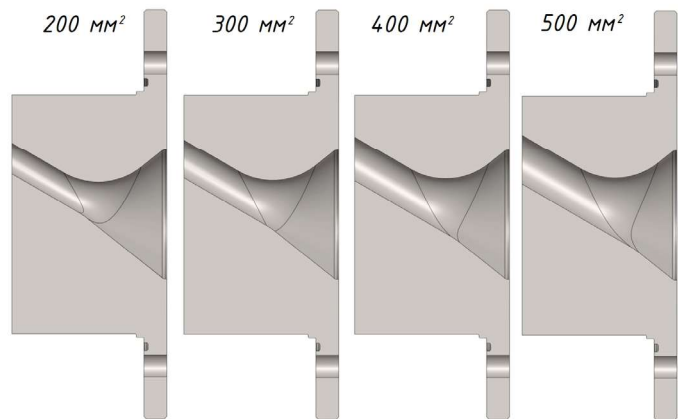
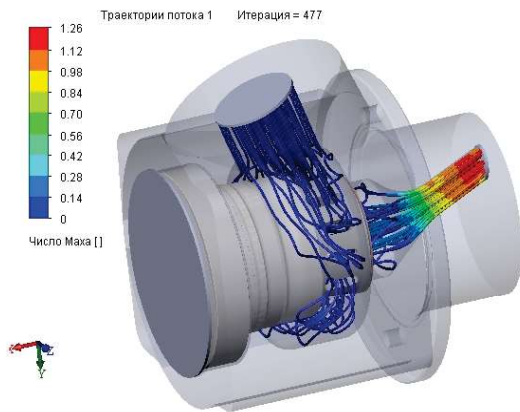


Рисунок 3 – Изменения траекторий и распределение скоростей вдоль газового тракта газоподающего модуля

Рисунок 4 – Сечения сопловых каналов

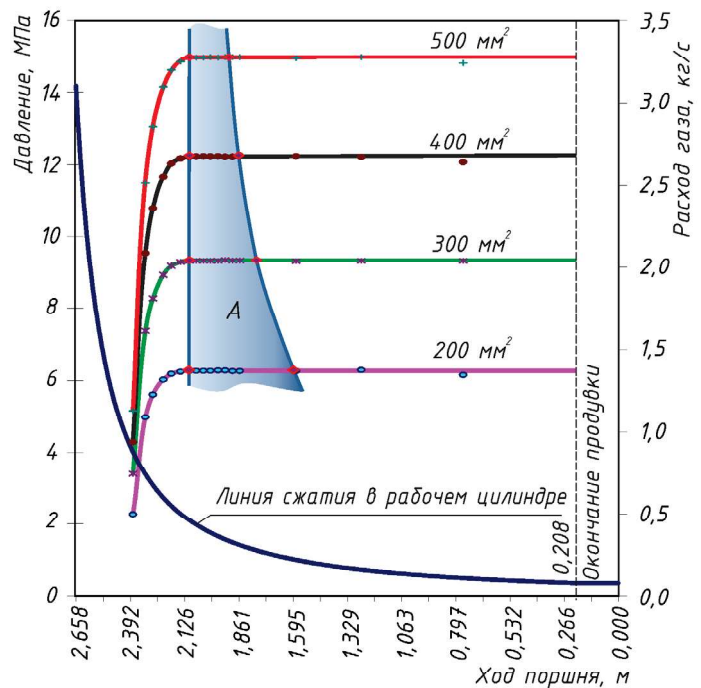


Рисунок 5 – Изменение расходных характери-

При этом момент такого перехода стик газового модуля как функция хода рабочего да не зависит от минимального сечения поршня на линии сжатия соплового канала. В тоже время, увеличение минимального сечения соплового канала увеличивает расходные характеристики, независимо от характера истечения, практически прямопропорционально. Исследование показало, что профилирование входной части канала позволяет в 1,5 раза увеличить его пропускную способность и сдвинуть область подачи (область А на рис. 5) полной цикловой порции ближе к ВМТ, сократив время подачи с 0,03 до 0,0167 с, то есть в 1,8 раза (для сечения 500 мм²). При этом точка перехода характера истечения сдвигается к ВМТ. Смена режима происходит когда поршень проходит 2,10 м, а момент начала подачи сдвигается до 1,91 м. В результате чего участок сжатия газоздушнoй смеси сокращается на 47% по сравнению со стандартными параметрами соплового канала.

Литература:

1. McGill, R., Remley, W., Winther, K., *Alternative Fuels for Marine Applications. Technical report from the IEA Advanced Motor fuels Implementing Agreement*, IEA, Paris. 2013. – 108 p.
2. Juliussen, L.R. *MAN B&W ME-GI Engines. Recent research and results.* / L.R. Juliussen, M.J. Kryger, A. Andreasen // *MAN Diesel & Turbo*, Copenhagen, 2012. – 6 p.
3. Wettstein R. *The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine.* / R. Wettstein // *AJOUR Conference*, Odense, 2014. – 31 p.
4. Белоусов, Е.В. *Топливные системы современных судовых дизелей.* – изд. 4-е / Е.В. Белоусов. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 256 с.
5. Белоусов, Е.В. *Анализ современных подходов к проблеме создания судовых малооборотных газодизельных двигателей* / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, Т.П. Белоусова // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2016. – № 1. – С. 81-88.
6. Belousov, E. *Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas-Diesel Engines* / E. Belousov, A. Marchenko, I. Gritsuk, V. Savchuk, N. Bulgakov, V. Mitienkova, M. Ahieiev, O. Samarin, R. Vrublevskiy, M. Volodarets, Y. Kalashnikov, S. Pronin // *SAE Technical Paper 2020-01-2107*, 2020. – 14 p. doi:10.4271/2020-01-2107.
7. Белоусов, Е.В. *Организация внутреннего смесеобразования в судовых малооборотных газодизельных двигателях* / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, И.В. Грицук, Т.П. Белоусова // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2017. – №2. – С. 13-16.
8. Марченко, А.П. *Исследование влияния давления подачи и сечений сопловых каналов на процессы топливоподачи в газодизельных малооборотных двухтактных двигателях*

низкого давления / А.П. Марченко, Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, В.С. Вербовский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2020. – № 1. – С 6-12.

OUTFLOW OF GAS FUEL FROM THE NOZZLE CHANNELS OF THE MODULE FOR GAS SUPPLY OF A LOW-SPEED MEDIUM-PRESSURE GAS-DIESEL ENGINE

E.V. Belousov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants of the Kherson State Maritime Academy.

V.P. Savchuk, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy.

Samarin A.E., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants of the Kherson State Maritime Academy.

Belousova T.P., Senior Lecturer, Department of Management and Information Technologies, Kherson State Agrarian and Economic University.

Rybalchenko N.E., Post-graduate student of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy.

Annotation. A significant reserve for increasing the efficiency of the working processes of low-speed marine gas-diesel engines is the improvement of the processes of supplying gas fuel to the working cylinder. In addition to the already implemented concepts for supplying gaseous fuel under low and high pressure, the authors substantiated the prospects of using medium pressures. This will allow, while retaining the main advantages of the known methods, significantly reduce their inherent disadvantages.

Key words: low-speed gas-diesel two-stroke engines, gas fuel, gas supply module, pilot ignition.

УДК 629.12.06

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА СУДНА ПРОЕКТУ CNF09

Ніколаєв Є. М

магістр гр.6214м, НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Бондаренко М. С.

*к.т.н., доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Розглянуті питання модернізації системи охолодження дизельного двигуна, що входить до складу енергетичної установки судна проекту CNF09 «Слов'янин».

Ключові слова. Високотемпературне охолодження, регулювання властивостей охолоджуючої рідини, управління параметрів системи охолодження

Актуальність. Основними тенденціями розвитку суднових енергетичних установок (СЕУ) є підвищення паливної економічності і надійності при задоволенні екологічних вимог, що встановлюються нормативами ІМО.

Підвищення економічності СЕУ наразі забезпечується зниженням питомої витрати палива головних і допоміжних двигунів шляхом підвищення тиску наддуву і середнього