

## МОДИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И СОСТАВА КОМПОЗИТА В КРЫШКАХ КОКИЛЕЙ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС

*Л.П. Клименко, В.И. Андреев, О.Ф. Прищепов, В.В. Шугай, А.И. Случак*

В статье приведены результаты исследований влияния материалов и конструкции элементов кокилей центробежного литья, в частности крышек, на протекание процесса структурообразования поверхности отливки и соответственно, качество полученной заготовки. Продемонстрированы основные этапы разработки в данном направлении в рамках темы № 0115U000317 «Фундаментальные исследования поверхностных высокопрочных структур с переменной износостойкостью». Усовершенствована конструкция и композиционный состав основных элементов конструкции для передней крышки кокиля центробежного литья. Оптимальной определено разъемную конструкцию без монометаллических элементов, что содержит передний слой в виде тонкой керамической вкладки, теплоизоляционный слой из металлокерамического композита с закрытой по всему объему пористостью на основе титановой губки и наполнителя в силикатно-спиртовой матрице и механическую основу в виде брикета с титановой губки и чугуновой стружки.

## MODIFICATION OF CONSTRUCTION AND COMPOSITE MIXTURE IN CUSTING FORMS FOR CYLINDERS OF ICE

*L.P. Klymenko, V.I. Andriev, O.F. Prishchepov, V.V. Shuhai, O.I. Sluchak*

This article is the result of experimental direction in the applied project №0115U000317 „Fundamental studies of superficial high-strength structures with variable wear resistance”. The purpose of this research is to modificate the improved coupling construction the lid for the centrifugal casting form by replacing the monometallic flanges with the multilayer composite structure with a ceramic changeable tab in the contact area of the melt with a lid and metal-ceramic heat insulator with closed porosity. The object of the investigation is the structural features and composite composition of elements of a split construction of covers for centrifugal casting form. It consists of 6 parts. They include Introduction, Overview of major developments, Results, Discussion, Conclusions and the References. This research determines the main causes that cause structure forming of materials surfaces in casting form and cylindrical metal blank. Improved construction and composite composition of the main structural elements for the front cover in centrifugal casting form has been presented. The split structure without monometallic elements containing the front layer in the form of a thin ceramic tab is optimally defined, the thermal insulation layer from the metal-ceramic composition with the closed porosity on the basis of the titanium sponge and the filler in the silicate-alcohol matrix and the mechanical basis in the form of a cake from the titanium sponge and cast iron swarf have been developed.

УДК 629.12.03

DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.09

*А.К. Чердниченко*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СУДОВ-ГАЗОВОЗОВ ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*В данной статье обсуждается эффективность применения термохимических технологий регенерации сбросного тепла в энергетических комплексах современных судов газозовозов. Приведены результаты моделирования процессов в комбинированной дизель-газотурбинной установке с термохимической регенерацией тепла отходящих газов путем конверсии испаряющегося при перевозке груза и энергокомплекса с малооборотным дизельным двигателем и с утилизационной металлгидридной установкой. Показано, что применение термохимических технологий регенерации сбросного тепла позволяет повысить КПД установки на 3% и обеспечивает перспективные требования ИМО по энергоэффективности. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании энергетических установок современных судов газозовозов.*

### Введение

Судоходство является неотъемлемой частью мировой транспортной системы. Согласно данным UNCTAD, около 80% объема перевозимого в мире груза приходится на морские перевозки.

Современные подходы к проектированию сложных технических систем предусматривают, что судно, как технический объект, должно рассматриваться как экономическая и техническая категория [1]. Важными показателями эффективности любого транспортного судна, являются характеристики пропульсивного комплекса и входящей в него судовой энергетической установки (СЭУ), являющейся частью многоуровневой иерархической структуры судна [2]. Принятие решений при

проектировании проводится с учетом технических и экономических ограничений, накладываемых на проектируемый объект (рис. 1). В свою очередь, эти ограничения могут быть связаны как с современным уровнем развития техники и технологий, так и с политическими, социальными, внешнеэкономическими и другими аспектами. Анализ тенденций развития судовой энергетики XXI века позволяет выявить два основных тренда – жесткая регламентация выбросов, в первую очередь CO<sub>2</sub>, и дальнейшее повышение энергетической эффективности тепловых двигателей.

Согласно резолюциям International Maritime Organization (ИМО) для каждого нового судна валовой вместимостью 400 и более тонн необходимо

определять требуемый (Required) и достижимый (Attained) конструктивный индекс энергетической эффективности судна EEDI (Energy Efficiency Design Index), а также операционный индекс EEOI (Energy Efficiency Operational Index) при проектировании, постройке и эксплуатации судна [3].

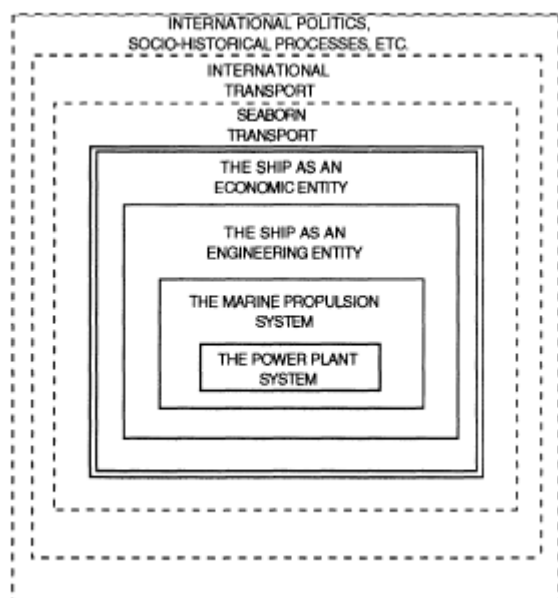


Рис. 1. Судовая энергетическая установка, как часть многоуровневой иерархической структуры [1]

Required EEDI вычисляется в зависимости от типа судна и дедвейта с учётом коэффициента, который постепенно будет ужесточаться вплоть до 2025 г. Attained EEDI вычисляется в соответствии с методикой, приведённой в резолюции ИМО МЕРС.212(63) и последующих уточнениях, и должен быть меньше либо равен Required EEDI.

Физический смысл индексов идентичен и представляет собой отношение массы произведенного энергетической установкой судна парникового газа CO<sub>2</sub> к величине транспортной работы судна за определенный период времени, регламентируемое при проектировании новых судов (EEDI) и в процессе эксплуатации (EEOI):

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{Transport\_work}} = \frac{\text{Engine power} \times SFC \times C_F}{DWT \times \text{speed}} \quad (\text{гCO}_2 / \text{тонн} - \text{миль}) \quad (1)$$

Сокращение выбросов CO<sub>2</sub> образующегося при работе энергетической установки, может быть достигнуто как уменьшением расхода топлива (Engine power × SFC), так и применением топлива, с низким содержанием углерода, что учитывается коэффициентом содержания углерода в топливе C<sub>F</sub> (рис. 2).

Использование в качестве топлива сжиженного природного газа (LNG) позволяет снизить C<sub>F</sub> на 12% по сравнению с традиционным для транспортных судов топливом HFO. Кроме того, более высокая теплотворная способность природного газа (≈ 50 МДж/кг) позволяет снизить удельный расход топлива (SFC) главного двигателя. Удельный расход топлива приводится в каталогах производителей для дизельного топлива с низшей теплотворной способностью 42,7 МДж/кг. При работе двухтопливных МОД, около 3–5% приходится на запальную дозу жидкого топлива («пилотное» топливо), которым является дизельное топливо. С учетом этого переход на LNG дает возможность уменьшить SFC на 14%.

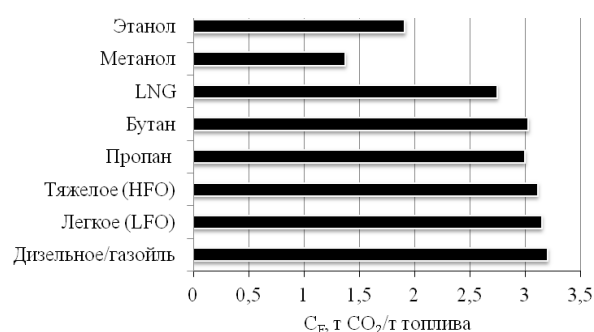


Рис. 2. Коэффициент содержания углерода для основных и альтернативных судовых топлив [3]

За последние десять лет количество судов, использующих в качестве топлива LNG, выросло более чем в 10 раз [4].

Часть таких судов представляют собой газовозы LNG, транспортирующие природный газ при атмосферном давлении и при температурах ниже точки кипения метана (-161,5°C). При этом в грузовом рейсе за сутки испаряется 0,1–0,15 % от объема перевозимого груза, в балластном рейсе 0,06–0,1 % [5]. Испаривший газ (BOG) используется в качестве топлива в энергетической установке [6].

#### Постановка задачи

Необходимость реализации мероприятий по выполнению требований законодательных актов ИМО по снижению влияния судовой энергетической установки на окружающую среду определяет запрос практики, направленный на повышение эффективности использования судов газозовов. Целью работы является сравнение энергетической эффективности перспективных схем пропульсивных энергетических установок газозовов LNG.

#### Результаты исследования

Эффективность судовой утилизационной металлургической установки может быть исследована

на методами математического моделирования. При этом многовариантность схемных решений требует выявления взаимосвязей ее элементов методами системного анализа.

При исследовании энергетической установки газозова целесообразно рассматривать ее как три основных взаимосвязанных компонента: главные двигатели, электроэнергетическое оборудование и системы обработки испаряющегося в процессе транспортировки газа.

Современные объектно-ориентированные подходы к проектированию сложных технических систем [7, 8] предполагают совмещение принципов стратегии функциональной декомпозиции с инкапсуляцией подсистем.

В предыдущих работах были выявлены перспективные схемы энергетических установок судов газозовов, предусматривающие применение термохимических технологий регенерации сбросного тепла [9, 10].

К первой группе относятся энергетические установки с термохимической конверсией природного газа за счет вторичных энергоресурсов тепловых двигателей. Физическую основу такой установки формирует совокупность процессов, в результате которых под воздействием тепла отходящих газов, которое отбирается от них в утилизационном устройстве, происходит реакция химического превращения топлива с образованием синтез-газа [11].

Сопоставление результатов расчета и анализ потенциалов сбросного тепла газотурбинного двигателя (ГТД) и четырехтактных среднеоборотных дизельных двигателей (СОД) позволяет сделать вывод, что для располагаемого температурного диапазона отходящих газов современных серийных ГТД (до 450 °С) возможна умеренная конверсия природного газа и эффективная конверсия метанола, этанола, бутана, пропана и этана. Тепловой потенциал вторичных энергоресурсов ДВС дает возможность умеренной конверсии этанола и метанола, но не позволяет эффективно осуществить конверсию других углеводородов.

Это позволило сделать вывод о перспективности варианта комбинированной дизель-газотурбинной установки (ДГТУ) с термохимической регенерацией тепла отходящих газов ГТД путем паровой конверсии углеводородного топлива (рис.3).

Вторая группа перспективных судовых энергетических установок с применением термохимических технологий предусматривает утилизацию сбросного тепла двухтопливных двухтактных малооборотных дизельных двигателей (МОД) приме-

нением металлгидридных установок непрерывного действия [12].

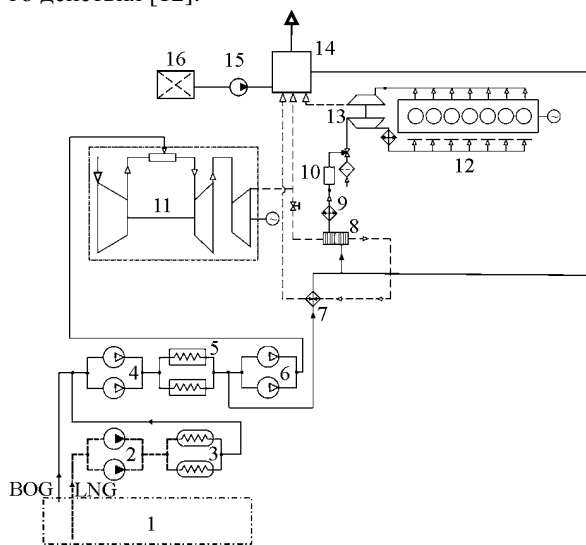


Рис. 3. Схема ДГТУ с ТХР газозова LNG:

1 – танк LNG; 2 – насосы LNG; компрессор ТНА; 3 – испарители LNG; турбина ТНА; 4 – компрессоры низкого давления; ДВС; 5 – подогреватели; охладитель наддувочного воздуха; 6 – компрессоры высокого давления; 7 – утилизационный подогреватель; 8 – термохимический реактор; 9 – охладитель синтез-газа; 10 – нейтрализатор; 11 – ГТД; 12 – ДВС; 13 – турбоагрегат ДВС; 14 – УК; 15 – насос; 16 – водяной танк

В данной работе рассмотрена утилизационная металлгидридная установка (УМГУ), источником тепла в которой служит промежуточный теплоноситель, циркуляцию которого обеспечивает циркуляционный насос параллельно через утилизационные теплообменники отходящих газов и наддувочного воздуха (ОНВ) за турбокомпрессором. В установке предусмотрена регенерация тепловой энергии в регенерационном теплообменнике, и регенерация механической энергии в гидродвигателе, приводящем подкачивающий насос металлгидридного контура. Благодаря этому уменьшаются затраты мощности на перекачку гидридной суспензии.

Расчетные схемы установок были созданы с помощью системы моделирования химико-физических процессов *Aspen Plus*. Модели учитывают основные физические соотношения: материальный и тепловой баланс; фазовое равновесие; процессы тепло- и массопередачи.

Для определения затрат мощности на перекачивание рабочих сред, было проведено моделирование процессов в теплообменных аппаратах. Рассчитаны геометрические характеристики теплообменных поверхностей и гидравлические сопротив-

ления типовых кожухотрубных (стандарт ТЕМА) теплообменников при заданных в расчетных схемах параметрах.

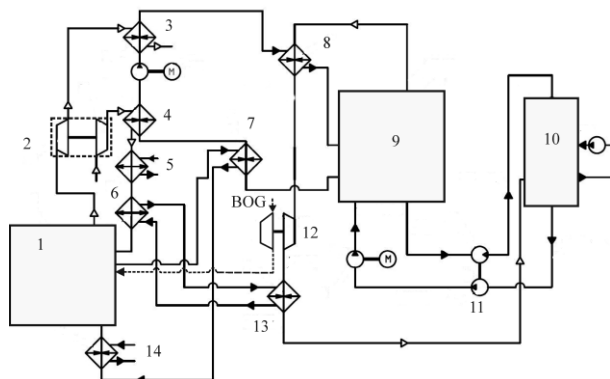


Рис. 4. Упрощенная схема утилизационной металлгидридной установки пропульсивного МОД газовоза LNG :

1 –МОД; 2 –турбокомпрессор; 3, – утилизационный теплообменник отходящих газов; 4,5,6 – ОНВ 1,2 и 3 ступени; 7 – утилизационный теплообменник охлаждающей жидкости; 8 –перегреватель водорода; 9 – десорбер; 10 – сорбер; 11 – турбонасосный агрегат; 12 – водородная расширительная машина привода компрессора газа; 13 – регенерационный теплообменник; 14 – концевой охладитель

Для определения параметров двигателей MAN Diesel & Turbo SE использовалась on-line программа CEAS Engine Calculations, размещенная на официальном сайте marine.man.eu. Программа позволяет определить удельный расход топлива, количество и температуру отходящих газов за двигателем, а также тепловой баланс двигателя в зависимости от степени его нагружения и параметров окружающей среды.

При моделировании процессов испарения перевозимого груза применялись методики и алгоритмы, сформулированные в [13, 14]. Основными компонентами, испаряющегося в процессе транспортировки груза, являются метан (92...98 %) и азот (2...8 %)

Исследование проводилось применительно к пропульсивной установке мощностью  $\approx 42$  МВт для газовоза типа Q-мах грузоподъемностью 250 тыс. м<sup>3</sup> сжиженного природного газа. Режим работы – ходовой с грузом. Согласно данным [15], для газовоза LNG типа Q-мах общесудовые потребности в электроэнергии на ходовом режиме составляют  $\approx 2,2$  МВт. В расчетах приняты условия ISO 3046/1-2002: температура воздуха  $T_a = 298$  К; температура охлаждающей забортной воды  $T_{sw} = 298$  К.

Рассмотрено три варианта:

V1 – Одновальная установка с двухтактным двухтопливным малооборотным дизельным двигателем MAN 9G80ME-C9.5-GI и прямой передачей мощности на винт (рис.5a). Спецификационная длительная мощность двигателя 42,4 МВт. Для выработки электроэнергии предусмотрен дизель-генератор (ДГ) на базе двухтопливного четырехтактного среднеоборотного дизельного двигателя MAN 9L35/44DF.

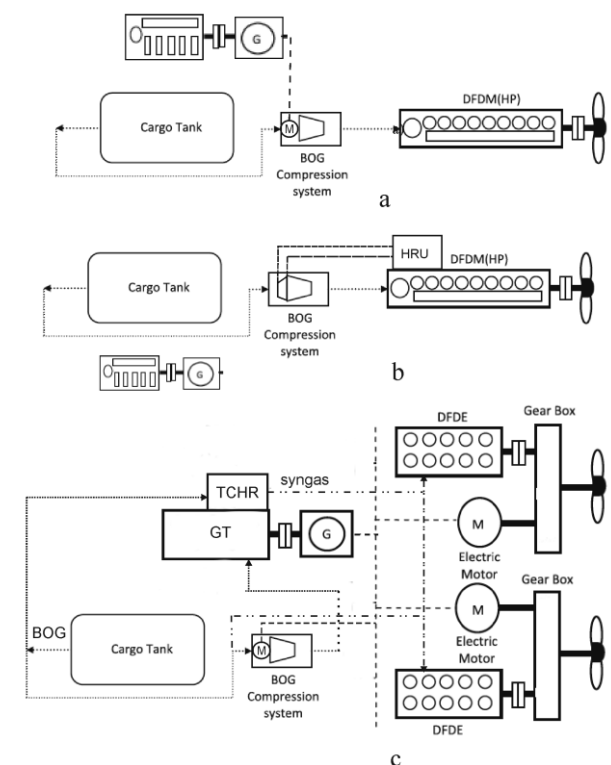


Рис. 5. Структурные схемы моделируемых пропульсивных установок

V2 – Схема V1 с утилизационной металлгидридной установкой для привода компрессора системы подачи BOG в главный двигатель (рис. 5b). В качестве промежуточного теплоносителя был принят Therminol®, рабочим телом в металлгидридном контуре принята суспензия  $MmNi_{4,5}Al_{0,5}$  в Therminol® 66.

V3 – Двухвальная комбинированная дизель-газотурбинная установка с ТХР (рис. 5c). В состав установки входит газотурбогенератор на базе ГТД Siemens SGT 400 мощностью 12,9 МВт и 2 двухтопливных четырехтактных среднеоборотных дизельных двигателя Wärtsilä 16V50DF мощностью 15,6 МВт каждый.

Исследование схемы V1 позволило верифицировать адекватность моделирования процессов в системе подачи BOG в главный двигатель. Затраты мощности на привод компрессора хорошо согласуются с данными фирмы MAN Diesel & Turbo и

составляют около 3% мощности главного двигателя.

Расчеты схемы В2 показали, что полезная механическая мощность утилизационной установки составляет 2,5 МВт или 6% от мощности главного двигателя. Этого достаточно для привода компрессора системы подачи ВOG в главный двигатель и выработки около 55% потребной на ходовом режиме электрической энергии, что позволило заменить ДГ на менее мощный.

Моделирование схемы В3 позволило определить, что при температуре отходящих газов, соответствующих номинальному режиму работы SGT 400 (~555 °С), технически достижимая в судовых условиях степень конверсии ВOG составляет 0,25. Проанализировано два варианта:

В3-1 – ГТД работает на природном газе, ДВС на конвертируемом синтез-газе;

В3-2 – совместная работа ГТД и ДВС на конвертируемом синтез-газе.

Результаты математического моделирования пропульсивных установок разного состава представлены в табл. 1. Проведено сопоставление значений достигаемого конструктивного индекса энергетической эффективности судна EEDI для моделируемых схем и базового варианта. За базовый вариант принята установка с МОД, работающим на топливе НФО и системой повторного сжигания испарившегося груза.

Таблица 1. Сопоставление параметров пропульсивных установок

Параметр	В1	В2	В3	
			В3-1	В3-2
КПД, %	51	54	46	47
SFC, г/(кВт час)	141	133	158	153
Суточный расход газа т/сут	155,5	146,5	167,5	162,3
Изменение Attained EEDI, %	-35,4	-40,0	-35,0	-38,4

Расчеты показывают значительное снижение достижимого конструктивного индекса энергетической эффективности судна Attained EEDI. Полученные значения Attained EEDI соответствуют требованиям ИМО по Required EEDI, которые вступят в силу с 1 января 2025 года.

#### Заключение

1. Применение в энергетической установке газозавоза LNG термохимических технологий утилизации вторичных энергоресурсов тепловых двигателей, позволяет снизить достижимый конструктивный индекс энергетической эффективности судна

на 35-40% и обеспечить перспективные требования ИМО по энергоэффективности.

2. Выявлено, что применение утилизационной металлгидридной установки в составе пропульсивного комплекса с двухтопливным МОД позволяет повысить КПД установки на 3%.

3. Умеренная эффективность применения ДГТУ с ТХР в пропульсивной установке газозавоза LNG связана с низкой степенью конверсии метана.

4. Представляет интерес оценка эффективности ДГТУ с ТХР применительно к газозавозам, специализирующимся на перевозке сжиженных углеводородных газов.

#### Список литературы:

1. Bakountouzis, L.N. Marine power plants: design methodology and trends [Text] / L.N. Bakountouzis // Transactions on the Built Environment. – 1993. - vol 1. - pp. 85-95.
2. Bakountouzis, L.N. Gas Turbines in Ship Propulsion. Design Constraints in Relation to Ship Types [Text] / L.N. Bakountouzis // ASME International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition 93-GT-410. – 1993- pp. 1-7.
3. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. [Электронный ресурс]. – 2016 – Режим доступа: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>. –06.20.2017.
4. LNG SHIPPING AT 50. [Электронный ресурс] / A SIGTTO/GIIGNL commemorative issue. OCTOBER 2014 – Режим доступа: [http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC\\_AREA/Publications/lng-shipping-at-50compressed.pdf](http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/Publications/lng-shipping-at-50compressed.pdf). –06.20.2017.
5. Glomski, P. Problems with Determination of Evaporation Rate and Properties of Boil-off Gas on Board LNG Carriers [Text] / P. Glomski and R. Michalski // Journal of Polish Cimac, Energetic aspects.- Gdańsk, 2011. - Vol. 6, No. 1, – pp. 133–140.
6. Fernandez, I.A. Review of propulsion systems on LNG carriers [Text] / I.A. Fernandez, M.R. Gomez, J.R. Gomez, A.B. Insua // Renewable and Sustainable Energy Reviews – 2017. - Vol. 67. – pp. 1395–1411.
7. Gaspar, H.M. Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design [Text] / H. M. Gaspar, A. Ross, D.H. Rhodes, S. Erikstad // Int'l Maritime Design Conference. – Glasgow, UK, June 2012 – pp. 150–160. doi: 10.3940/rina.ijme.2012.a3.230.
8. Erikstad, S.O. A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels [Text] / S. O. Erikstad, S. Solem, K. Fagerholt // Ship Technology Research. – September 2011. – Vol. 58, No 3. – pp. 132–141.
9. Чередниченко, А.К. Моделирование энергокомплексов с термохимической регенерацией тепла для судов-газовозов [Текст] / А. К. Чередниченко // Вестник двигателестроения. – 2016. – № 2. – С. 36–41.
10. Чередниченко, А.К. Влияние климатических факторов на эффективность утилизационной металлгидридной установки двухтопливного малооборотного ДВС газозавоза [Текст] / А. К. Чередниченко, М.Р. Ткач // Вісник НТУ «ХПІ». – 2017. – № 10. – С. 85–91.
- Носач В.Г. Энергия топлива [Текст] / В.Г. Носач. – К.: Наук. думка, 1989. – 148 с.
12. Ткач М. Р. Утилизация низкопотенциального тепла ДВС 9G80 ME металлгидридной установкой непрерывного действия [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимо-

шевский, С. М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Двигатели внутреннего сгорания. - 2014. - № 1. - С. 35-41. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/dvs\\_2014\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/dvs_2014_1_10). 13. Dimopoulos, G. G. Thermoeconomic Simulation of Marine Energy Systems for a Liquefied Natural Gas Carrier [Текст] / George G. Dimopoulos, Christos A. Frangopoulos // Int. J. of Thermodynamics. December 2008. – Vol. 11, No. 4. – P. 195–201. 14. Dimopoulos, G. G. A Dynamic Model for Liquefied Natural Gas Evaporation During Marine Transportation [Текст] / George G. Dimopoulos, Christos A. Frangopoulos // Int. J. of Thermodynamics. – September 2008. – Vol. 11, No. 3. – P. 123–131. 15. LNG Carriers with ME-GI Engine and High Pressure Gas Supply System. [Электронный ресурс] / MAN Diesel & Turbo. 5510-0026- 04ppr Sep 2014. – Режим доступа: <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technicalpapers/lng-carriers-with-high-pressure-gas-supplysystem.pdf?sfvrsn=16>. – 16.01.2017.

### **Bibliography (transliterated):**

1. Bakountouzis, L.N. (1993), Marine power plants: design methodology and trends. Transactions on the Built Environment, vol 1, pp. 85-95. 2. Bakountouzis, L.N. Gas Turbines in Ship Propulsion. Design Constraints in Relation to Ship Types. ASME International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition 93-GT-410. 1993, pp. 1-7. doi:10.1115/93-GT-410. 3. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. 2016. Available at: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>. [Accessed on 20.06.2017]. 4. LNG SHIPPING AT 50 / A SIGTTO/GIIGNL commemorative issue. OCTOBER 2014. Available at: [http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC\\_AREA/Publications/lng-shipping-at-50compressed.pdf](http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/Publications/lng-shipping-at-50compressed.pdf) [Accessed on 20.06.2017]. 5. Glomski, P., Michalski, R. (2011), Problems with Determination of Evaporation Rate and Properties of Boil-off Gas on Board LNG Carriers. Journal of Polish Cimac, Energetic aspects, Vol. 6, Gdańsk, pp. 133–140. 6. Fernández, I.A., Gómez, M.R., Gómez, J.R. (2017), Insua, A.B. Review of propulsion systems on LNG carriers.

Renewable and Sustainable Energy Reviews. 67, pp. 1395–1411. doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.095. 7. Gaspar, H.M., Ross, D., Rhodes, H.D., Erikstad, S. (2012), Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design. Int'l Maritime Design Conference. Glasgow, UK, pp. 150–160. doi: 10.3940/rina.ijme.2012.a3.230. 8. Erikstad, S.O., Solem, S.O., Fagerholt, S.K., A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels. Ship Technology Research. 2011, Vol. 58, No 3, pp. 132–141. 9. Cherednichenko, A.K. (2016), Modeling of efficiency of ship power plants with thermochemical heat recovery for liquefied natural gas carriers [Modelirovaniye energokompleksov s termokhimicheskoi regeneratsiei tepla dlya sudov-gazovozov], Herald of Aeroenginebuilding [Vestnik dvigatelestroenija], No. 2, pp. 36-41. 10. Cherednichenko, A.K., (2017), Influence of Climatic Factors on the Efficiency of Disposal Metal-Hydride Unit for the Double-Fuel Low-Speed Internal Combustion Engine of Gas Tankers [Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na effektivnost' utilizatsionnoi metallogidridnoi ustanovki dvukhtoplivnogo malooborotnogo DVS gazovoza], Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment, no. 10(1232), pp. 85–91. doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.12. 11. Nosach, V.G. Jenergija topliva [Energy of fuel]. 1989, Naukova dumka, Kiev, p. 148. 12. Tkach, M.R., Timoshevskij, B.G., Docenko, S.M., Halynkin, Y.N. (2014), Utilization of low-grade heat ICE 9G80 ME metal hydride installing continuous [Utilizacija nizkopotencial'nogo tepla DVS 9G80 ME metalogidridnoj ustanovkoj nepreryvnogo dejstvija]. Dvigateli vnutrennego sgoraniya, No. 1, pp. 35-41. 13. Dimopoulos, G. G., Christos, A. and Frangopoulos, A. (2008), Thermoeconomic Simulation of Marine Energy Systems for a Liquefied Natural Gas Carrier, Int. J. of Thermodynamics, Vol. 11, No. 4, pp. 195–201. doi: 10.5541/ijot.228. 14. Dimopoulos, G. G., Christos, A. and Frangopoulos, A. A (2008), Dynamic Model for Liquefied Natural Gas Evaporation During Marine Transportation", Int. J. of Thermodynamics, Vol. 11 No. 3, pp. 123–131. doi:10.5541/ijot.220. 15. LNG Carriers with ME-GI Engine and – High Pressure Gas Supply System. MAN Diesel & Turbo. 5510-0026-04ppr Sep 2014. Available at: <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technicalpapers/lng-carriers-with-high-pressure-gas-supplysystem.pdf?sfvrsn=16> (accessed 22.06.2017).

Поступила в редакцию 28.06.2017 г.

**Чердиченко Александр Константинович** – канд. техн. наук, доцент кафедры судовых и стационарных энергетических установок Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua.

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУДЕН-ГАЗОВОЗІВ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРМОХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*О.К. Чердиченко*

В даній статті обговорюється ефективність застосування термохімічних технологій регенерації скидного тепла в енергетичних комплексах сучасних суден газозовів. Наведено результати моделювання процесів в комбінованій дизель-газотурбінній установці з термохімічною регенерацією тепла відхідних газів шляхом конверсії частини грузу, що випаровується та енергокомплексу з малооборотним дизельним двигуном і утилізаційною металогідридною установкою. Показано, що застосування термохімічних технологій регенерації скидного тепла дозволяє підвищити ККД установки на 3% та забезпечує перспективні вимоги ІМО з енергоефективності. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні енергетичних установок сучасних суден газозовів.

### **INCREASE OF EFFICIENCY OF SHIP POWER PLANTS OF GAS CARRIERS WITH APPLICATION OF THERMOCHEMICAL TECHNOLOGIES**

*O.K. Cherednichenko*

The efficiency of thermochemical technologies of heat recovery of waste heat for liquefied natural gas carriers has been analyzed. Some results of research have been shown. The power plant consist of gas turbine engine with the thermochemical heat recovery and internal-combustion engine, which operates on the conversion of Boil Of Gas. The prospects of utilization of the secondary energy resources of marine double-fuel low-speed diesel engines were defined. The metal hydride units of a continuous action were offered for this purpose. The results of research may be used in the development of ship power plants of liquefied natural gas carriers.