

Л.П. Клименко, В.І. Андреев, О.Ф. Прищепов, О.І. Случак, В.В. Шугай

МОДИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА СКЛАДУ КОМПОЗИТИВ В КРИШКАХ КОКІЛІВ ДЛЯ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВЗ

В статті наведено результати досліджень впливу матеріалів та конструкції елементів кокілів відцентрового лиття, зокрема кришок, на протікання процесу структуроутворення поверхні виливку та відповідно, якість отриманої заготовки. Продемонстровано основні етапи розробки в даному напрямку в межах теми № 0115U000317 «Фундаментальні дослідження поверхневих високоміцних структур із змінною зносостійкістю». Вдосконалено конструкцію та композитний склад основних елементів конструкції для передньої кришки кокілю відцентрового лиття. Оптимальною визначено роз'ємну конструкцію без монометалічних елементів, що містить передній шар у вигляді тонкої керамічної вкладки, теплоізоляційний шар з металокерамічного композиту з закритою по всьому об'єму пористістю на основі титанової губки та наповнювача в силікат-спиртовій матриці та механічну основу у вигляді брикету з титанової губки та чавунної стружки.

Вступ

Актуальність. Проблема керування структуроутворенням поверхні металічних відливок є однією з базових для сучасної трибології в рамках ряду розробок для машинобудівної галузі. Існуючі технології створюють оптимальні умови для підвищення якості металу заготовки при литті в піщано-глинисті форми (ПГФ) або для економії металу для відцентрового лиття в кокілі (КВЛ), проте надання відливкам параметрів близьких до лиття в ПГФ в процесі лиття в КВЛ є мало вивченим питанням.

Методична база. В ЧНУ імені Петра Могили в межах теми №0115U000317 «Фундаментальні дослідження поверхневих високоміцних структур із змінною зносостійкістю» в 2015-16 роках було розроблено та апробовано модель структуроутворення поверхні чавунного виливка при контрольованій швидкості застигання. Для підтвердження вказаної гіпотези було створено експериментальні ливарні форми на основі пористого губчастого титану, що після модифікації стали основою для одного з двох основних напрямків даного дослідження:

- Технологія управління структуроутворенням при литті чавунних виробів з метою забезпечення заданих фізико-механічних властивостей.

- Композиційні матеріали постійних ливарних форм для лиття чавунних деталей.

Основою розробок стали основні прикладні розробки 2015/16 років в рамках прикладної теми «Композиційний матеріал постійних ливарних форм для лиття чавунних деталей»:

- 2015 р. (Патент на корисну модель № 96455 Матеріал кокілю і виливниці для відливання поршневих кілець, гільз циліндрів двигунів, насосів та компресорів [4] та Патент № u 2007 03091 Виливниці для відцентрового лиття);

- 2016 р. (Патент на корисну модель (№UA115138) Спосіб виготовлення композитних

матеріалів на основі порошку губчастого титану в силікатній матриці [5]; Патент на корисну модель №113463 Спосіб виготовлення композитних фільтрів на основі суміші порошку губчастого титану з кремнієвим наповнювачем [6] та Патент на корисну модель (№UA113463) Кришка для кокілю відцентрового лиття[7]).

Як результат було послідовно проведено ряд досліджень з розробки та модифікації конструкцій та композитного складу елементів конструкцій кришок КВЛ та теоретично обґрунтовано доцільність застосування саме таких параметрів для оптимізації відливки.

Наведені розробки є результатом послідовних теоретичних та практичних досліджень процесу відливки та впливу на нього властивостей саме ріалів кокілів та параметрів самого процесу.

Формування задачі

Мета дослідження: модифікація удосконаленої роз'ємної конструкції кришки для кокілю відцентрованого лиття за рахунок заміни монометалічних фланців на багатшарову композитну структуру з керамічною змінною вкладкою в зоні контакту розплаву з кришкою та металокерамічним тепло ізолятором з закритою об'ємною пористістю.

Об'єкт дослідження: конструктивні особливості та композитний склад елементів роз'ємної конструкції кришок для кокілів відцентрового лиття.

Предмет дослідження: модифікована конструкція передньої кришки КВЛ.

Завдання:

1. Проаналізувати основні результати розробки конструкції кришок КВЛ на попередніх етапах дослідження.

2. Визначити основні недоліки розроблених конструкцій та перспективні шляхи їх вдосконалення.

3. Розробити модифіковану конструкцію передньої кришки КВЛ, що містить виключно створені в процесі попередніх досліджень композитні

метеріали та оптимізує процес структуроутворення виливку.

Огляд основних розробок

Металева кришка відцентрового кокілю підлягає інтенсивному, переважно конвективному, нагріванню й пасивному природному охолодженню. Періодичність термічних циклів – 9...11 хвилин. Температура металу, що заливається, становить 1320...1350 °С, заготовка, що витягається – 520...620 °С [8]. В ході даного процесу особливо інтенсивно відбувається процес поверхневого відбілу чавуну в зонах контакту з розплавом, що викликає необхідність відрізання відбіленого чавуну від готової відливки та в цілому погіршує якість заготовки в порівнянні з аналогічною для лиття в ПГФ, хоча і знижує витрату металу і підвищує точність геометрії в параметрах готової відливки.

Перший етап. Безпосереднім об'єктом першого етапу досліджень були задні торцеві кришки горизонтальних відцентрових виливниць, які використовувалися для лиття гільз циліндрів двигунів ІЖЮ, К-125.

Найбільшу стійкість мала двошарова кришка з робочою поверхнею із щільного титану (рис. 1).

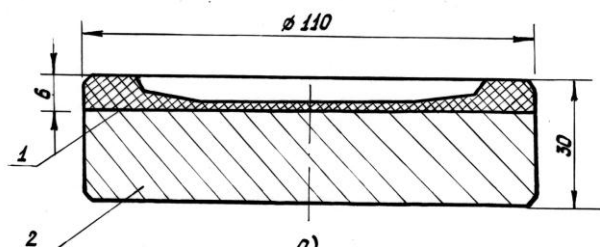


Рис. 1. Задня кришка КВЛ

У кокіль із цієї кришкою було залито близько 500 заготовок при звичайній циклічності установки й товщині присипки 0,5 мм. Слід зазначити, що на зламі виливка в районі торця, що контактує з титановою пористою кришкою, відбілювання не спостерігалось, на відміну від гільз, що відливають із литими титановими кришками, де глибина відбілення досягала 2...4 мм.

Підвищена хімічна активність титану при високих температурах вимагає введення добавок, що перешкоджають інтенсивному окислюванню матеріалу [2]. Для вирішення даної проблеми на попередньому етапі було застосовано наповнювачі у вигляді дрібнодисперсного порошку оксиду кремнію (аеросил та аналоги) та корунду, що перетворювало готовий композитний матеріал на металокерамічний теплоізолятор, проте це не вирішувало проблеми руйнування пористого титану внаслідок капілярного ефекту. Для вирішення даної проблеми

було проведено ряд досліджень з закриття пористості з застосуванням фарб, напилювання, монометалічних фланців як елементів конструкції кришки та об'ємного закриття пористості.

Другий етап. Створена на другому етапі досліджень «Кришка для кокілю відцентрового лиття» (Патент на корисну модель №UA113463) містила в якості лицевого шару монометалічні фланці з того ж матеріалу, що і звичайна титанова кришка, але за рахунок наявності тепло ізолюючого шару з розробленого в процесі досліджень композитного матеріалу виготовленого запатентованим нами методом: «Спосіб виготовлення композитних матеріалів на основі порошку губчастого титану в силікатній матриці» (Патент на корисну модель №UA115138). Використання матриці [5] дозволило вирішити питання капілярного ефекту за рахунок закриття пористості по всьому об'єму матеріалу. Отримана схема (рис. 2) дозволить знизити теплопровідність [7] кришки в 1,5–3 раз в залежності від матеріалу ізолятора та зменшити її ціну на порядок, за рахунок зниження кількості металу титану в конструкції в той час як зношування переважно відбуватиметься лише в лицевому шарі, що дозволить отримати більшу кількість відливок ніж в попередній конструкції та продовжити термін експлуатації через заміну лицевої вкладки.

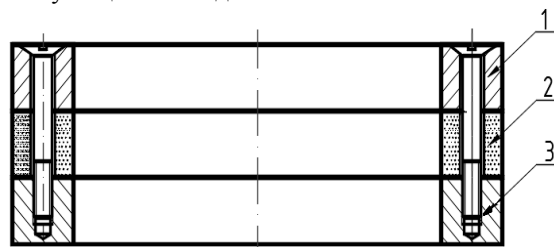


Рис. 2. Схема конструкції передньої кришки кокілю:
1 – Монометалічні фланці із сплаву титана;
2 – пористий ізолятор; 3 – штифтовий з'єднувальний вузол

Дана схема може бути використана, для виробництва кришок кокілів для лиття поршневих кілець у кокіль, або відцентрового лиття гільз циліндрів двигунів, насосів або компресорів. Роз'ємна конструкція сприяє покращенню механічних властивостей кришки та знижує теплопровідність в 1,5-3 і ціну конструкції в 1,5-2 рази, вставки титану виключають руйнування матеріалу ізолятора через капілярний ефект.

Результати досліджень

Роз'ємна конструкція визнана оптимальною в плані економії ресурсів за рахунок заміни зношеної лицевої частини. Дослідження з використання в якості матеріалу лицевих фланців розроблених

композитів в силікатній матриці продемонстрували високий рівень шлакоутворення в зонах контакту з розплавом. Для вирішення даної проблеми було проведено ряд дослідів з вдосконалення як самої матриці так і складу композитних матеріалів загалом. Так було визначено три основні перспективні напрямки отримання матеріалів з закритою об'ємною пористістю:

1) металокерамічні матеріали з етильованою силікатною матрицею та теплоізолюючими наповнювачами.

2) керамічні та полімер-керамічні футерувальні вкладки з етильованою силікатною матрицею та органічним пластифікатором (торф або вермикуліт) для підвищення ударостійкості.

3) металічні та металокерамічні брикети з крупної фракції титанової губки та чавунної стружки отриманих з відходів після подрібнення зношених лицевих вставок.

Формування жаростійкої кераміки для змінних вкладок з використанням вторинної сировини відбувалося шляхом застосування відходів шліфування металів корундом, що на 80–90 % становить шліфувальний крупнозернистий Al_2O_3 корунд. Використання в даній суміші добавки у вигляді рідкого скла оптимізувало процес формування жаростійкої кераміки за рахунок утворення аморфної сполуки $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ що при подальшому нагріванні до 800°C утворювало міцні кристалосилікати і в суміші з базальтовою смолою за наявності органічного пластифікатора в вигляді торфу перетворювалась на каменеподібний черепок підвищеної міцності та жаростійкості з водопоглиненням менше 5%. Кріплення на керамічних вкладках було спресовано з чавунної стружки з подальшим нарізанням різьби.

Виготовлення композитних матеріалів відбувається способом рівномірного розподілу наповнювачів SiO_2 (пил оксиду кремнію), Al_2O_3 (корунд), базальтова смола, по об'єму кожної з заготовок на кожний з шарів композиту за рахунок силікатної матриці рідкого скла, піддані етилюванню 1:10 етилового спирту, пресуванням з навантаженням 8 тонн та спіканням готового матеріалу у вакуумі при температурі 1100 °C.

Брикети для механічної основи кришки виготовлялися з додаванням домішок складу: ферохромістний шлак марки СФШ – 90 %, щільність 900...1140 кг/м³; чавунна стружка – 10 %, насипна щільність 3400...3600 кг/м³ [3].

Результатом застосування розроблених матеріалів стало удосконалення конструкції кришки для кокілю відцентрованого лиття за рахунок об'єднання пористого теплоізолюючого шару з

змінними керамічними вкладками в місцях контакту кришки з виливком.

Суть удосконалення полягає в тому, що структура кришки кокілю (рис. 3) змінюється, за рахунок розміщення елементів (1), подібних до футерування піщано-глинистих форм безпосередньо в місцях контакту з розплавом, та використання спеціально розробленого багатшарового пористого матеріалу на основі титанової губки як основного матеріалу кришки (4) з виключенням необхідності використання в конструкції монометалічних елементів.

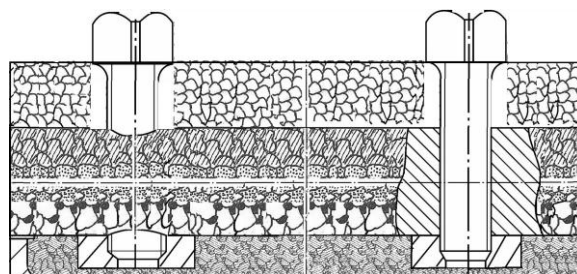
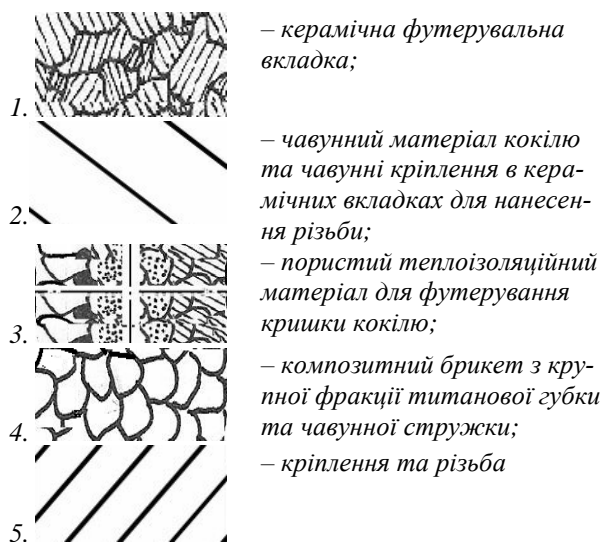


Рис. 3. Модифікована кришка для кокілю відцентрованого лиття:



Введення подібної схеми дозволить знизити теплопровідність кришки на 10–15 % та зменшити її ціну на порядок за рахунок виключення монометалічного титану в конструкції і використання змінних елементів футерувальних вкладок і лицевого шару кришки.

Зниження ціни виробництва та експлуатації готового виробу відбувається за рахунок застосування розбірної конструкції з змінними частинами (1) в зоні контакту з розплавом, ізолюючому шарі (3) та металічній основі кришки (4), що можуть бути легко замінені при зношуванні, що значно дешевше заміни всієї конструкції.

Висновки

Створюючи різну пористість виливниці й регулюючи її теплопровідність, можна управляти усередненою швидкістю затвердіння розплаву при формуванні вилівка та, відповідно, процесами структуроутворення. Основною проблемою такого методу є руйнування пористих фланців через капілярний ефект. Вирішення даної проблеми оптимально реалізується двома шляхами: використання роз'ємної конструкції кришки з непористими лицевими елементами, що піддаються заміні при зношуванні та використання різних методів закриття пористості.

Було апробовано роз'ємну конструкцію передньої кришки КВЛ з використанням керамічних лицевих фланців з органічним пластифікатором для підвищення ударостійкості та металокерамічним композитом з закритою об'ємною пористістю в якості ізолятора. Отримана конструкція дозволяє значно здешевити виробництво та експлуатацію кришок за рахунок використання розроблених композитів. Перспективним шляхом розвитку розроблених матеріалів виглядає розробка методу спікання в муфельній печі з ізоляцією металічного компоненту керамічною замазкою на основі червоного шламу для зниження інтенсивності окислення титанової губки. Це дозволить знизити необхідні для отримання композитів енерговитрати та здешевити сам процес виготовлення без суттєвої втрати якості.

Список літератури:

1. Андреев В. И. Проблемы кристаллизации при литье в кокиль / В. И. Андреев // Матеріали Міжнародного науково-практичного симпозиуму «Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення». – Миколаїв: УДМТУ, 1997. – С. 169–171. 2. Термическая обработка титановых и алюминиевых сплавов в вакууме и инертных газах / АН УССР. – К.: Наукова думка, 1987. – 184 с. 3. Пат. 25102 Україна, МКІ В22Д 13/00. Виливниця для відцентрового лиття / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. І. Андреев (Україна). – № U 2007 03091; Заявл. 23.03.2007; Опубл. 25.07.2007, Бюл. №11. 4. Патент на корисну модель № 96455 Матеріал кокилю і виливниці для відливання поршневих кілець, гільз циліндрів двигунів, насосів та компресорів 10.02.2015 /

Л. П. Клименко, В. І. Андреев, О. Ф. Прищепов, А. Є. Головка. – ЧДУ імені Петра Могили. 5. Патент на корисну модель (№ UA115138) Спосіб виготовлення композитних матеріалів на основі порошку зубчатого титану в силікатній матриці МПК (2016.01) B22F1/00 / Л. П. Клименко, В. І. Андреев, О. І. Случак, В. В. Шугай. – чинний з 10.04.17. 6. Патент на корисну модель № 113463 Спосіб виготовлення композитних фільтрів на основі суміші порошку зубчатого титану з кремнієвим наповнювачем МПК (2006.01) B22F3/11 / О. Ф. Прищепов, Н. Ю. Андреева, О. І. Случак, В. В. Шугай. – подано 27.07.2016. 7. Патент на корисну модель (№ UA113463) Кришка для кокилю відцентрового лиття МПК (2016.01) B22F1/00 / Л. П. Клименко, В. І. Андреев, О. І. Случак, В. В. Шугай. – чинний з 25.01.17. 8. Клименко Л. П. Управління процесами формування пористих поверхневих структур на стадії отримання заготовок / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. І. Андреев, О. І. Случак, В. В. Шугай. Миколаїв: Вид-во ЧНУ імені Петра Могили, 2017. – 145 с.

Bibliography (transliterated):

1. Andriev, V. (1997), 'Problems of crystallization during casting in kokil' ['Problemy krystalizatsii pry lityi v kokil'], Problems of Shipbuilding: State, Ideas, Solutions, Mykolaiv, p. 169–171. 2. (1987), 'Thermal treatment of titanium and aluminum alloys in vacuum and inert gases' ['Termicheskaya obrabotka titanovyih i aluminievyyih splavov v vakuume i inertnykh gazah'] / Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 184 p. 3. Klymenko, L., Pryshchepov, O., Andriev, V. (2007), 'Forging for centrifugal casting' ['Vilivnitsia dlia vidtsentrovogo littia'], Patent for utility model № 25102 Ukraine, MKI B22D 13/00, No. 2007 03091; Bull. No. 11. 4. Klymenko, L., Andriev, V., Pryshchepov, O., Holovko, A. (2015), 'Material of quilts and molds for casting piston rings, cylinders for engines, pumps and compressors' ['Material kokiliu i vilivnitsi dlia vidlivannia porshnevyyh kilets, gilz tsilindriv dviguniv, nasosiv ta kompresoriv'], Patent for utility model № 96455 02/10/2015. 5. Klymenko, L., Andriev, V., Sluchak, O., Shuhai, V. (2016), 'Method of manufacturing composite materials on the basis of sponge titanium powder in the silicate matrix of IPC' ['Sposib виготовлення композитних матеріалів на основі порошку зубчатого титану в силікатній матриці'] Patent for utility model № UA115138, MPK (2016.01) B22F1/00. 6. Pryshchepov, O., Andrieva, N., Sluchak, O., Shuhai, V. (2016), 'Method for manufacturing composite filters based on a mixture of sponge titanium powder with silicon filler of IPC' ['Sposib виготовлення композитних фільтрів на основі суміші порошку зубчатого титану з кремнієвим наповнювачем'] Patent for utility model №113463, (2006.01) B22F3/11. 7. Klymenko, L., Andriev, V., Sluchak, O., Shuhai, V. (2017), 'Cover for coconut of centrifugal casting' ['Kryshka dlia kokiliu vidtsentrovogo littia'], Patent for utility model №UA113463, МПК (2016.01) B22F1/00/. 8. Klymenko, L. (2017), 'Management of the processes of formation of porous surface structures at the stage of obtaining billets' ['Upravlinnia protsesami formuvannia poristih poverhnevih struktur na stadii otrimannia zagotovok'], Nikolaev, 145 p.

Надійшла до редакції 29.06.2017 р.

Клименко Леонід Павлович – доктор техн. наук, професор, ректор Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: rector@chdu.edu.ua.

Андреев Вячеслав Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедри екології та природокористування Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: avi@chdu.edu.ua

Прищепов Олег Федорович – канд. техн. наук, доцент в.о. завідувача кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: priof@mail.ru.

Шугай Віктор Васильович – аспірант Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: drhouse36@mail.ru.

Случак Александр Игоревич – аспірант Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: slu4ok@gmail.com.

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 CASTING 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 утилизирующей 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 CO₂, и дальнейшее повышение энергетической эффективности тепловых двигателей.

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