

МОРСЬКИЙ ТА ВНУТРІШНІЙ ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.4

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2025.1-24.02>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ У СКЛАДІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУДЕН РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Г.В. Кузнецов¹, Ю.М. Харитонов²

¹аспірант, Навчально-науковий центр Морської Інфраструктури,
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова,
Миколаїв, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0827-7480

²д.т.н., професор, керівник Навчально-наукового центру Морської Інфраструктури,
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова,
Миколаїв, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-2425-1758

Анотація

Одним з актуальних напрямків зменшення витрати палива та шкідливих речовин у навколишнє середовище є додаткове використання в складі суднових енергетичних установок теплоакumuлюючих систем на базі теплових акумуляторів з фазовим переходом, що дозволяють забезпечити передпускову підготовку двигунів та загальносуднові потреби. Метою дослідження є визначення показників ефективного використання теплоакumuлюючих систем для передпускової підготовки двигунів та санітарно-побутових потреб персоналу на борту судна в умовах різних експлуатаційних циклів суднових енергетичних установок. Для трьох типів суден, а саме круїзного лайнера, балкеру і танкеру відповідно розглянуто використання теплоакumuлюючих систем у складі дизель-електричної та дизельних установок. Утилізація теплоти відпрацьованих газів дизельних двигунів здійснювалася в глушниках-теплоакumuляторах з фазовим переходом. Енергоефективність використання досліджених теплоакumuлюючих систем визначалася показниками використання теплоти та відносної економії палива з урахуванням вибраних теплоакumuлюючих матеріалів та експлуатаційних циклів суднових енергетичних установок. Використання в суднових дизель-електричних та дизельних установках теплоакumuлюючих систем за рахунок скидної теплоти відпрацьованих газів дозволило розширити функціональні можливості забезпечення потреб енергетичних установок та персоналу. В результаті математичного моделювання отримано базу даних для рекомендації оптимального вибору проектних рішень та експлуатаційних характеристик суднових енергетичних установок з теплоакumuлюючими системами. Використання в теплоакumuлюючих

системах вибраних матеріалів дозволяє отримати відносну економію палива за рейс на рівні 0,3...0,6% для круїзного лайнера. При використанні теплоакмулюючих систем в складі суднових енергетичних установок балкеру та танкеру з вибраними теплоакмулюючими матеріалами для передпускової підготовки головного двигуна та санітарно-побутових потреб відносна економія палива нижче ніж для круїзного лайнеру. Тому більш ефективне використання теплоакмулюючих систем у даних суднах потребує узгодження з додатковими потребами при здійсненні рейсу.

Ключові слова: дизель-електрична, дизельна, утилізація теплоти, економія палива, круїзний лайнер, балкер, танкер.

EFFICIENCY OF USING THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS AS PART OF MARINE POWER PLANTS FOR VESSELS OF VARIOUS PURPOSES

H.V. Kuznetsov¹, Yu.M. Kharytonov²

¹Phd student, Educational and scientific center of marine infrastructure,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-0827-7480

²Doctor of Technical Sciences, professor,
Head of Educational and scientific center of marine infrastructure,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-2425-1758

Summary

One of the topical areas of reducing fuel consumption and harmful substances into the environment is the additional use of thermal energy storage systems based on phase-change thermal energy storages as part of marine power plants, which allow pre-start up engine preparation and general vessel needs. The aim of the research is to determine the thermal energy storage systems efficient use indicators for pre-start up engine preparation and sanitary needs of personnel onboard under conditions of different marine power plants operational cycles. For three types of vessels, namely a cruise ship, a bulk carrier and a tanker, respectively, the use of thermal energy storage systems as part of diesel-electric and diesel plants is considered. The heat of exhaust gases from diesel engines was utilized in silencers-thermal energy storages with a phase change. The energy efficiency of the studied thermal energy storage systems was determined by the heat utilization and relative fuel economy, taking into account the selected materials and operating cycles of marine power plants. The use of thermal energy storage systems in marine diesel-electric and diesel plants at the expense of waste heat from exhaust gases has made it possible to expand the functionality of meeting the needs of power plants and personnel. As a result of mathematical modelling, a database was obtained to recommend the optimal choice of design solutions and operational characteristics of marine power plants with thermal energy storage systems. The use of the selected thermal energy storage materials in the thermal energy storage systems allows to obtain relative fuel savings per voyage on the level from 0.3 to 0.6% for the cruise ship, respectively. When using thermal energy storage system as part of the bulk

carrier and tanker marine power plants with selected thermal energy storage materials for pre-start up preparation of the main engine and sanitary needs, the relative fuel savings per voyage is lower than for the cruise ship. So the possibility of more efficient use of thermal energy storage systems in these vessels requires coordination, which is associated with additional needs during the voyage.

Key words: diesel-electric, diesel, heat recovery, fuel economy, cruise ship, bulk carrier, tanker.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Більш ефективне використання енергетичних ресурсів є глобальним завданням для усього морського та внутрішнього транспорту. Вимоги ІМО щодо суднових енергетичних установок (СЕУ) визначаються завданнями зменшення їх витрати палива та шкідливих речовин у навколишнє середовище. У даний час науковими та практичними завданнями, що пов'язані з пріоритетними тематичними напрямками наукових досліджень і науково-технічних розробок щодо енергетики та енергоефективності, є підвищення ефективності способів утилізації теплоти відпрацьованих газів, які використовуються у СЕУ. Одним з актуальних напрямків утилізації є додаткове використання в складі СЕУ теплоакumuлюючих систем (ТАС) на базі теплових акумуляторів з фазовим переходом, що дозволяють забезпечити передпускову підготовку двигунів СЕУ та загальносуднові потреби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми, і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Питанню використання теплових акумуляторів з фазовим переходом на судах присвячена певна кількість публікацій в яких отримані наступні результати: обґрунтовано спосіб утилізації теплоти відпрацьованих газів при застосуванні системи теплової підготовки, яка призначена для прогріву охолоджуючої рідини, блоку циліндрів та головки блоку циліндрів для суден портофлоту [1]; тепловий акумулятор за рахунок температурного потенціалу відпрацьованих газів дозволяє виконати попередній прогрів дизельного двигуна СЕУ від температури оточуючого середовища $+5^{\circ}\text{C}$ до температури 50°C [2, 3], запуск дизеля при температурі системи охолодження у межах від $+40$ до 50°C дозволяє забезпечити подальшу роботу, що сприяє швидкому та ефективному прогріву двигуна до оптимальної температури системи охолодження $+85^{\circ}\text{C}$ та її підтримці в межах $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ за рахунок використання накопиченої теплоти в акумуляторі [2–4].

Визначені перспективні схеми для передпускового прогріву дизельного двигуна портового буксиру, які задовольняють прийнятим нормативним вимогам, а також собівартості системи, її надійності та безпеки під час експлуатації [5].

Проведений аналіз літературних джерел показує, що при дослідженнях використання ТАС у складі СЕУ не враховувалися комплексне забезпечення енергоефективності з урахуванням експлуатаційних циклів суден, властивостей теплоакumuлюючих матеріалів, циклів зарядка – розрядка акумуляторів та напрямків використання акумуляованої теплоти, тому дане завдання є актуальним і потребує подальшого дослідження.

Формулювання мети статті, постановка завдання. Метою дослідження є визначення показників ефективного використання ТАС для передпускової

підготовки двигунів та санітарно-побутових потреб персоналу на борту судна в умовах різних експлуатаційних циклів СЕУ. Для досягнення цієї мети визначені наступні завдання:

1. Визначити функціональні можливості ТАС для забезпечення потреб енергетичних установок та загальносуднових потреб;
2. Оцінити показники ефективності використання ТАС для двигунів у складі СЕУ;
3. Визначити показники теплової ефективності використання ТАС в залежності від характеристик джерела акумульованої теплоти та використання теплоакumuлюючих матеріалів.

Об'єктом дослідження є процеси утилізації, акумулювання і використання теплоти з визначенням енергоефективності ТАС в СЕУ.

Предметом дослідження є показники ефективності використання ТАС у складі дизель-електричної і дизельних установок та їх залежності від структури елементів системи, теплофізичних властивостей теплоакumuлюючих матеріалів та експлуатаційних характеристик СЕУ.

Методи дослідження – математичне моделювання процесів, аналіз показників використання теплоти та синтез щодо рекомендацій оптимального вибору проектних рішень та експлуатаційних характеристик різного типу СЕУ з ТАС.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Дослідження виконані для дизель-електричної та дизельних установок на прикладі відповідно круїзного лайнеру «Spirit of Discovery», балкеру «Kai Oldendorff» та танкеру «Eagle Barcelona».

Енергетична установка круїзного лайнеру складається з чотирьох дизельних двигунів MAN 32/44 9L потужністю 5400 кВт кожен, чотирьох електрогенераторів Siemens з характеристиками: 720 об/хв, 5400 кВт, двох гвинто-рульових колонок Siemens SISHIP eSiPOD 10M [6]; схема установки приведена на рисунку 1 [8].

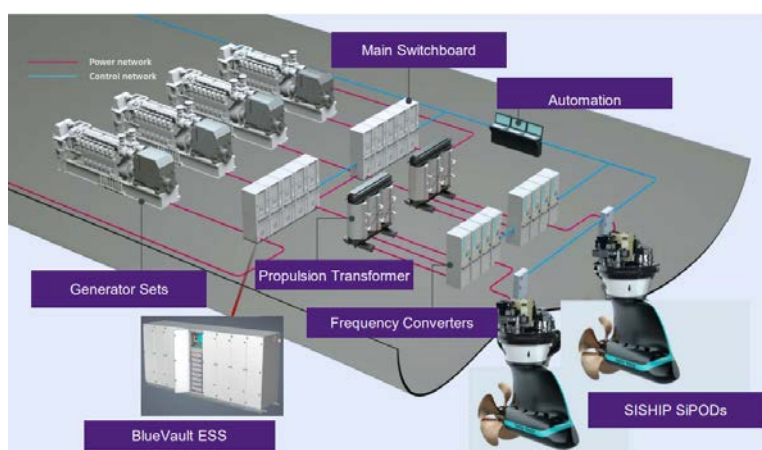


Рис. 1. Схема дизель-електричної установки круїзного лайнеру «Spirit of Discovery»

Особливістю експлуатаційного циклу СЕУ даного лайнера є використання в режимі ходу зі швидкістю 19 вузлів трьох двигунів при потужності на рівні 0,8 від номінального значення кожного двигуна, а при стоянці у порту – одного двигуна для загальносуднових потреб [6].

Дизельна установка балкеру складається з одного дизельного двигуна MANS60ME-C8.5 потужністю 14940 кВт, трьох дизель-генераторів Yanmar 6EY18ALW з характеристиками 600 кВт, 900 об/хв та гвинта фіксованого кроку [6].

Для танкеру енергетична установка складається з одного дизельного двигуна MAN 6G60ME-C9.5 потужністю 16080 кВт, трьох дизель-генераторів та гвинта фіксованого кроку [7].

Схеми дизельної установки балкеру та танкеру аналогічні, тому на рисунку 2 [6] представлена дизельна установка для балкеру.

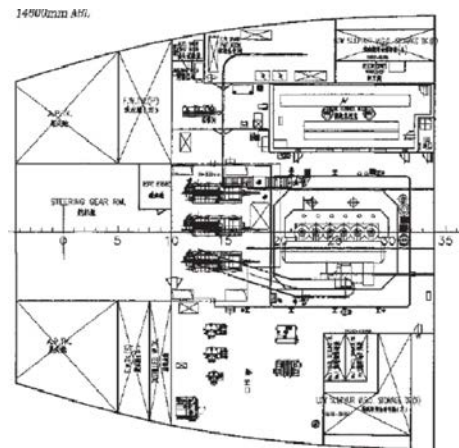


Рис. 2. Схема дизельної установки балкеру

ТАС для СЕУ розглянутих суден розроблені на базі їх систем газовихлопу. Характеристики глушників-теплоаккумуляторів з вибраними теплоакумуючими матеріалами у складі газоходів СЕУ круїзного лайнеру наведені у таблиці 1.

Для СЕУ балкеру та танкеру ТАС розроблено аналогічно круїзному лайнеру і яка для головного двигуна складається з одного газоходу та глушника-теплоаккумулятора з вибраними теплоакумуючими матеріалами, характеристики якого наведені у таблиці 2.

Таблиця 1

Характеристики глушників-теплоаккумуляторів ТАС у складі дизель-електричної установки круїзного лайнеру «Spirit of Discovery»

Двигун	Джерело теплоти	Теплоакумуючий матеріал	Потенціал акумульованої теплоти, кДж
MAN 32/44	Відпрацьовані гази	LiNO_3	$2,858 \cdot 10^6$
		NaNO_2	$2,220 \cdot 10^6$
		$\text{LiCl}(37)\text{--}63\text{LiOH}$	$4,375 \cdot 10^6$

Таблиця 2

Характеристики глушників-теплоаккумуляторів ТАС у складі дизельних установок балкеру «Kai Oldendorff» та танкеру «Eagle Barcelona»

Судно	Двигун	Джерело теплоти	Теплоакуюлюючий матеріал	Потенціал акумульованої теплоти, кДж
Балкер	MAN S60ME-C8.5	Відпрацьовані гази	Ba(OH) ₂ ·5H ₂ O Галактріол Еритритол	1,492·10 ⁶
Танкер	MAN 6G60ME-C9.5			1,213·10 ⁶ 1,144·10 ⁶

Загальна схема компоновки ТАС для СЕУ розглянутих суден представлена на рисунку 3. Глушник-теплоаккумулятор входить до системи газовихлопу. При працюючому двигуні, відпрацьовані гази проходять через глушник-теплоаккумулятор, а теплота цих газів шляхом теплопередачі передається теплоакуюлючому матеріалу. У результаті фазового переходу матеріалу в акумуляторі накопичується певний запас теплоти. Для передпускової підготовки двигунів та санітарно-побутових потреб необхідна кількість теплоти відводиться від глушника-теплоаккумулятора.

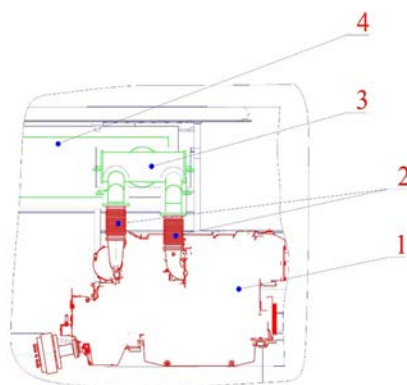


Рис. 3. Схема компоновки СЕУ з ТАС (вид збоку): 1 – дизельний двигун, 2 сифонні компенсатори, 3 – патрубок газоходу, 4 – глушник-теплоаккумулятор

Вихідні дані для математичної моделі взято наступним чином, а саме: склад енергетичної установки, тип двигунів, їх техніко-економічні показники, обладнання системи газовихлопу, кількість екіпажу та пасажирів, експлуатаційні цикли СЕУ [6–8, 9–13]; теплофізичні показники теплоакуюлюючих матеріалів [14].

Алгоритм математичної моделі, який реалізований в програмному середовищі Mathcad, наведений в [15], який складається з процедури розрахунку маси та кількості теплоти, яка необхідна для фазового переходу теплоакуюлюючого матеріалу в глушник – тепловому акумуляторі для головних та допоміжних двигунів; розрахунок циклу зарядка-розрядка під час здійснення рейсу судна з урахуванням розподілу акумульованої теплоти на передпускову підготовку двигунів та санітарно-побутові потреби персоналу.

Для розглянутих типів СЕУ енергоефективність ТАС визначена критеріями оптимальності у вигляді наступних показників: ефективності використання ТАС ($\eta_{\text{ТАС}}$), який дорівнює відношенню теплоти, що споживається від ТАС на суднові потреби до утилізуємої від джерел СЕУ; теплової ефективності ТАС (E_T), який характеризує загальну економію палива енергетичної установки з ТАС в залежності від джерел акумульованої теплоти та відносної економії палива за рейс. Сукупність представлених показників ефективності ТАС забезпечує отримання бази даних для рекомендації оптимального вибору проектних рішень та експлуатаційних характеристик суднових енергетичних установок.

Значення вищенаведених показників для розглянутих суден наведені у таблиці 3. Експлуатаційний рейс для розглянутих суден брався 7 діб з трьома зупинками для круїзного лайнера та з двома зупинками для балкера та танкера. Кількість

Таблиця 3

Показники ефективності використання ТАС суден

Судно	Теплоакumuлюючий матеріал	Кількість персоналу на судні під час зупинки, %	Показники ефективності	
			Показник ефективності використання ТАС, $\eta_{\text{ТАС}}$	Показник теплової ефективності ТАС, E_T
			Головний двигун влітку/взимку	Головний двигун влітку/взимку
Круїзний лайнер «Spirit of Discovery»	LiNO_3	10	0,195/0,210	0,093/0,101
		25	0,426/0,442	0,205/0,212
	NaNO_2	10	0,250/0,271	0,120/0,130
		25	0,549/0,569	0,263/0,273
	$\text{LiCl}(37)\text{--}63\text{LiOH}$	10	0,127/0,137	0,061/0,066
		25	0,278/0,289	0,134/0,139
Балкер «Kai Oldendorff»	$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	50	0,531/0,541	0,255/0,260
		25	0,428/0,570	0,205/0,273
		50	0,497/0,638	0,238/0,306
	Галакпірол	75	0,565/0,707	0,271/0,339
		25	0,526/0,700	0,253/0,336
		50	0,611/0,785	0,293/0,377
	Еритритол	75	0,695/0,870	0,334/0,418
		25	0,558/0,743	0,268/0,356
		50	0,648/0,832	0,311/0,400
Танкер «Eagle Barcelona»	$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	75	0,737/0,922	0,354/0,443
		25	0,346/0,447	0,166/0,214
		50	0,444/0,545	0,213/0,262
	Галакпірол	75	0,542/0,643	0,260/0,309
		25	0,425/0,549	0,204/0,264
		50	0,546/0,670	0,262/0,322
	Еритритол	75	0,667/0,791	0,320/0,380
		25	0,451/0,583	0,216/0,280
		50	0,579/0,711	0,278/0,341
		75	0,707/0,839	0,339/0,403

персоналу на судні, яка залишається під час зупинки у порту була оцінена експертним шляхом з урахуванням призначення судна.

Економія палива за рахунок використання ТАС у складі СЕУ наведена у таблиці 4, де паливо заощаджене під час рейсу розраховано на одну зупинку судна, а відносна економія наведена для усього рейсу.

Таблиця 4

Економія палива за рахунок використання ТАС

Судно	Теплоакуючий матеріал	Паливо заощаджене під час рейсу на одну зупинку, кг влітку/взимку	Відносна економія палива за рейс, % влітку/взимку
Круїзний лайнер «Spirit of Discovery»	LiNO	492/466	0,4/0,4
	NaNO ₃	367/341	0,3/0,3
	LiCl(37)–63LiOH	789/657	0,6/0,5
Балкер «Kai Oldendorff»	Ba(OH) ₂ ·5H ₂ O	72	0,03
	Галакрірол	58	0,03
	Еритритол	55	0,03
Танкер «Eagle Barcelona»	Ba(OH) ₂ ·5H ₂ O	71	0,04
	Галакрірол	58	0,04
	Еритритол	55	0,04

Використання ТАС у складі СЕУ круїзного лайнеру для семиденного рейсу при використанні теплоакуючих матеріалів LiNO₃, NaNO₃ та LiCl(37)–63LiOH у складі чотирьох глушників-теплоакуючаторів забезпечило відносну економію палива влітку відповідно 0,4%, 0,3% та 0,6% та взимку – 0,4%, 0,3% та 0,5%.

При використанні ТАС в складі СЕУ балкеру та танкеру для передпускової підготовки головного двигуна та санітарно-побутових потреб відносна економія палива при матеріалах Ba(OH)₂·5H₂O, Галакрірол, Еритритол склала відповідно 0,03% для балкеру та від 0,04% для танкеру, тому можливість більш ефективного використання ТАС у даних суднах потребує узгодження, що пов'язані з додатковими потребами при здійсненні рейсу.

Висновки. 1. Використання в суднових дизель-електричних та дизельних установках теплоакуючих систем за рахунок скидної теплоти відпрацьованих газів дозволило розширити функціональні можливості забезпечення потреб енергетичних установок та персоналу.

2. Сукупність визначених показників ефективності теплоакуючих систем забезпечує базу даних для оптимального вибору проектних рішень та експлуатаційних характеристик суднових енергетичних установок з теплоакуючими системами.

3. Використання в теплоакуючих системах вибраних теплоакуючих матеріалів дозволяє отримати відносну економію палива за рейс в межах 0,3–0,6% для круїзного лайнера.

4. При використанні теплоакуючих систем в складі суднових енергетичних установок балкеру та танкеру для загальносуднових потреб відносна економія палива склала для балкеру 0,03% та 0,04% для танкеру, тому можливість більш ефективного використання теплоакуючих систем у даних суднах потребує узгодження, що пов'язані з додатковими потребами при здійсненні рейсу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дехтяренко М. В. Покращення паливної економічності суднової енергетичної установки засобами ресурсозберігаючої теплової підготовки двигуна. *Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства*: матеріали IX Всеукр. студент. наук. конференції. Херсон, 2019. С. 30–32.
2. Погорлецький Д. С., Грицук І. В., Симоненко Р. В., Білай А. В., Котов А. І. Формування системи теплової підготовки транспортного засобу, працюючого на зрідженому газовому паливі: матеріали VI Міжн. Науково-Технічної конференції, присвяченої 150-літтю від дня народження Некрасова І. С. Миколаїв, 2020.
3. Грицук І. В., Погорлецький Д. С., Худяков І. В., Дзигар А. К., Волков В. В. Теплова підготовка двигуна енергетичної установки судна портового флоту. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту*: матеріали XI Міжн. Наук.-Практ. конф. Ізмаїл, 2020.
4. Грицук І. В., Погорлецький Д. С., Вербовський В. С., Вольська О. М., Вербовський О. В., Сімагін А. Ф. Забезпечення теплової підготовки двигуна енергетичної установки за допомогою системи прогріву з фазоперехідними тепловими акумуляторами: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції, присвяченої пам'яті професорів Фоміна Ю.Я. і Семенова В.С. Одеса (Україна) – Стамбул (Туреччина) – Одеса (Україна), 2019.
5. Варшамов А. В., Голеншин В. В., Харитонов М. Ю. Вибір перспективних схем теплоакумуючих систем передпускового прогріву двигунів внутрішнього згоряння. *Наукові праці. Техногенна безпека. Радіобіологія*. 2016. №268, т. 280. С. 22–27.
6. Significant Ships of 2019. A Publication of the Royal Institution of Naval Architects. URL: <http://www.snc.ro/upload/20200201significantships2019small-1599829039.pdf> (дата звернення: 01.02.2025).
7. Significant Ships of 2018. A Publication of the Royal Institution of Naval Architects. URL: <https://rina.org.uk/publications/significant-ships/> (дата звернення: 01.02.2025).
8. Behrens H. Hybrid Propulsion Solutions for ships. Siemens Energy. 2022. URL: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/dossiers/siemens_energy_marine.pdf (дата звернення: 01.02.2025).
9. Ocean Cruises: веб-сайт. URL: <https://travel.saga.co.uk/cruises/ocean.aspx> (дата звернення: 01.02.2025).
10. MAN L32/44 GenSet. Project Guide – Marine. Four-stroke diesel engine compliant with IMO Tier III. URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/projectguidesde_projectguidesde_files/man-l32-44-genset-imo-tier-iii-marine.pdf?sfvrsn=9e0eb17a_1 (дата звернення: 02.02.2025).
11. S60ME-C10.5-GI. Technical Documentation. Project guide. URL: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S60ME-C10_5-GI.pdf (дата звернення: 02.02.2025).

12. G60ME-C9.5-GIE. Technical Documentation. Project guide. URL: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/G60ME-C9_5-GIE.pdf (дата звернення: 02.02.2025).
13. Vessel Finder: веб-сайт. URL: <https://www.vesselfinder.com> (дата звернення: 02.02.2025).
14. Kenisarin M. M. High-temperature phase change materials for thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. №14. P. 955-970.
15. Кузнецов Г. В. Математична модель теплоакumuлюючої системи у складі енергетичної установки надводного корабля. *Збірник Наукових праць НУК*. 2023. № 1. С. 128–134.

REFERENCES

1. Dekhtyarenko, M. V. (2019). *Pokrashchennya palyvnoyi ekonomichnosti sudnovoyi enerhetychnoyi ustanovky zasobamy resursozberihayuchoyi teplovoyi pidhotovky dvyhuna* [Improving the fuel efficiency of a ship's power plant by means of resource-saving thermal preparation of the engine], Modern problems of maritime transport and maritime safety: materials of the IX All-Ukrainian student scientific conference. Kherson [in Ukrainian].
2. Pogorletsky, D. S., Hrytsuk, I. V., Symonenko, R. V., Bilay, A. V., Kotov, A. I. (2020). *Formuvannya systemy teplovoyi pidhotovky transportnoho zasobu, pratsyuyuchoho na zridzhenomu hazovomu palyvi* [Formation of a thermal preparation system for a vehicle running on liquefied gas fuel], materials of the VI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Nekrasov I. S. Mykolaiv [in Ukrainian].
3. Hrytsuk, I. V., Pogorletsky, D. S., Khudyakov I. V., Dzygar, A. K., Volkov, V. V. (2020). *Teplova pidhotovka dvyhuna enerhetychnoyi ustanovky sudna portovoho flotu* [Thermal preparation of the power plant engine of a port fleet vessel], Modern approaches to the highly efficient use of means of transport: materials of the XI International Scientific-Practical Conference. Izmail [in Ukrainian].
4. Hrytsuk, I. V., Pogorletskyi, D. S., Verbovskyi, V. S., Volska, O. M., Verbovskyi, O. V., Simagin, A. F. (2019). *Zabezpechennya teplovoyi pidhotovky dvyhuna enerhetychnoyi ustanovky za dopomohoyu systemy prohrivu z fazoperekhidnymi teplovymy akumulyatoramy* [Ensuring thermal preparation of the power plant engine using a warm-up system with phase-transition thermal energy storages], materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Professors Fomin Yu. Ya. and Semenov V. S. Odesa (Ukraine) – Istanbul (Turkey) – Odesa (Ukraine) [in Ukrainian].
5. Varshamov, A. V., Golenshin, V. V., Kharytonov, M. Y. (2016). Selection of promising schemes of heat storage systems for pre-heating of internal combustion engine. *Scientific works. Technogenic safety. Radiobiology*, № 268, t. 280, pp. 22–27 [in Ukrainian].

6. Significant Ships of 2019. A Publication of the Royal Institution of Naval Architects. Retrieved from: <http://www.snc.ro/upload/20200201significantships2019small-1599829039.pdf>.
7. Significant Ships of 2018. A Publication of the Royal Institution of Naval Architects. Retrieved from: <https://rina.org.uk/publications/significant-ships/>.
8. Behrens, H. (2022). Hybrid Propulsion Solutions for ships. Siemens Energy. Retrieved from: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/dossiers/siemens_energy_marine.pdf.
9. Ocean Cruises. Retrieved from: <https://travel.saga.co.uk/cruises/ocean.aspx>.
10. MAN L32/44 GenSet. Project Guide – Marine. Four-stroke diesel engine compliant with IMO Tier III. Retrieved from: https://www.man-es.com/docs/default-source/projectguidesde_projectguidesde_files/man-l32-44-genset-imo-tier-iii-marine.pdf?sfvrsn=9e0eb17a_1.
11. S60ME-C10.5-GI. Technical Documentation. Project guide. Retrieved from: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S60ME-C10_5-GI.pdf.
12. G60ME-C9.5-GIE. Technical Documentation. Project guide. Retrieved from: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/G60ME-C9_5-GIE.pdf.
13. Vessel Finder: веб-сайт. Retrieved from: <https://www.vesselfinder.com>.
14. Kenisarin, M. M. (2010). High-temperature phase change materials for thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, № 14, pp. 955–970.
15. Kuznetsov, H. V. (2023). Mathematical model of the heat storage system as part of a surface ship power plant. *Collection of Scientific Papers of Admiral Makarov National University of Shipbuilding*, № 1, pp. 128–134 [in Ukrainian].