

УДК 629.5

DOI: 10.31653/1819-3293-2024-1-29-54-65

ARTICLE HISTORY

Received 05.09.2024

Accepted 18.09.2024

Заблоцький Юрій Вікторович¹, Будашко Віталій Віталійович²,
Сагін Арсеній Сергійович³,
НУ "Одеська морська академія", Одеса, Україна
yurzpost1966@gmail.com¹, bvv@te.net.ua², saginarseniy@gmail.com³

Забезпечення технологічних операцій зі зрідженим природним газом під час його видобутку в морських прибережних акваторіях

Zablotskyi Yurii¹, Budashko Vitalii², Sagin Arsenii³
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
yurzpost1966@gmail.com¹, bvv@te.net.ua², saginarseniy@gmail.com³

Ensuring technological operations with liquefied natural gas during its production in coastal sea water areas

Резюме. Визначено, що розробка великих газових родовищ на морському шельфі стикається з високими витратами та технічними викликами. Як варіант розв'язання цих проблем впроваджують автономні плавучі заводи зрідженого природного газу. Спорудження подібних заводів найбільш доцільно виконувати за модульною стратегією побудови, відповідно до якої більша частина робіт виконується на заводі, а подальша збірка готових модулів відбувається безпосередньо на морських платформах, що забезпечують видобуток газу в морських прибережних акваторіях та його подальше транспортування суднами-газовозами.

Summary. It was determined that the development of large gas fields on the sea shelf faces high costs and technical challenges. Autonomous floating liquefied natural gas plants are being implemented as a solution to these problems. The construction of such plants is most expedient to be carried out according to the modular construction strategy, according to which most of the work is carried out at the plant, and the subsequent assembly of ready-

made modules takes place directly on marine platforms that ensure gas production in coastal sea areas.

Сьогодні газовидобувна промисловість активно почала освоювати морський шельф. Наразі розробка великих морських родовищ газу ведеться в таких регіонах, як Північне море, Мексиканська затока, Австралія, Малайзія та Індонезія. Однак будівництво заводів, що забезпечують зрідження газу безпосередньо в містах його видобутку, вимагає значних капіталовкладень, зокрема в морські трубопроводи якими зріджений природний газ (ЗПГ) постачатимуся на берегові розподільні станції [1 - 3]. Віддаленість багатьох родовищ від берегової інфраструктури, складність будівництва морських платформ зі зрідження газу, необхідність прокладення підводних трубопроводів і сховищ знижують рентабельність подібних проєктів [4 - 6].

Як розв'язання цієї проблеми найбільші компанії-розробники пропонують використовувати автономні морські заводи ЗПГ (LNG Floating Production Storage and Offloading – LNG FPSO). Ці плавучі комплекси є суднами або баржами, оснащеними системами для видобутку, очищення, осушення та зрідження газу, а також вантажними приміщеннями для зберігання ЗПГ. Вони також обладнані системами для відвантаження зрідженого газу на судна-газовози. Плавучі комплекси можуть розташовуватись безпосередньо над родовищем, що дозволяє уникнути необхідності прокладання довгих підводних трубопроводів і мінімізувати витрати на інфраструктуру.

Такий підхід є особливо актуальним в умовах сучасних кліматичних та економічних викликів. Плавучі заводи проєктуються з урахуванням стійкості до екстремальних погодних умов, включаючи шторми та урагани, що важливо для їхньої експлуатації в різних регіонах світу [7 - 9].

На сьогодні існує більш ста перспективних проєктів плавучих заводів із продуктивністю від 1 млн. т ЗПГ на рік і більше. Крім газових родовищ, розглядаються проєкти зі зрідження попутного нафтового газу на нафтових родовищах із високим газовим фактором. Великі компанії, такі як Shell, Air Products, FLEX LNG, SBM Offshore-Linde, активно пропонують свої рішення для будівництва плавучих заводів.

Технологічні лінії цих проєктів варіюються за продуктивністю від 1,0 ... 4,5 млн. т ЗПГ на рік. Незважаючи на успішну експлуатацію на протязі понад 40 років подібних за технологією наземних заводів, плавучі комплекси стикаються з рядом унікальних технічних та технологічних викликів, пов'язаних із забезпеченням надійності та безпеки в морських умовах. Плавучі заводи зі зрідження природного

газу висувають жорсткіші вимоги до безпеки через щільне розташування виробничої зони, вантажних приміщень та зони для персоналу. Простір для розміщення обладнання на плавучому заводі значно менший в порівнянні з наземними об'єктами. Оптимальні конструкційні рішення мають бути зосереджені на мінімізації розмірів та ваги обладнання. Воно повинно бути стійким до руху судна і відповідати нормативно-технічній документації, яка регламентує об'єкти, що розміщені на суші [10, 11]. Одним із важливих завдань у проектуванні та будівництві плавучих заводів ЗПГ є успішна інтеграція надпалубних споруд (переробних установок та основних виробничих систем) із корпусом судна та його загальносудновими системами [12 - 14].

Будівництво плавучих заводів має здійснюватися за модульним принципом, із мінімальною кількістю одиниць обладнання. Модульний підхід сприяє зменшенню капітальних витрат та забезпечує високу якість виробництва. Саме судно і комплекс надпалубних споруд можуть будуватися паралельно, що скорочує загальний час створення плавучого заводу на місяці.

Процеси виробництва, зберігання та відвантаження ЗПГ та іншої продукції мають відповідати суворим нормам безпеки. Технологічні установки повинні бути максимально безпечними та експлуатуватися з мінімальною кількістю обслуговуючого персоналу.

Одним із головних завдань під час експлуатації плавучих об'єктів, що забезпечують видобуток, зберігання та транспортування ЗПГ, є боротьба з ефектом "слошингу" (розплескання) рідини. Плавучі судна повинні бути спроектовані таким чином, щоб вільні коливання рідини під час виробництва та поступового заповнення вантажних приміщень не пошкоджували їх. При цьому мають бути передбачені вантажні приміщення для зберігання зріджених вуглеводневих газів і можливості їх відвантаження на судна [15, 16]. Таки приміщення повинні бути різних типів і об'ємів, оскільки склад газу може змінюватися залежно від родовища.

Для завантаження ЗПГ на судна-газовози за схемою «борт-о-борт» розроблені системи, що використовують шарнірний завантажувальний рукав і гнучкий криогенний трубопровід. Відвантаження "борт-о-борт" можливе лише за умовою спокійного моря. Розробники подібних технологій також пропонують жорсткі системи відвантаження, що дозволяє здійснювати перекачування ЗПГ в складніших погодних умовах.

Під час детального опрацювання проектів стикаються зі складними технічними проблемами. Одна з них полягає в поєднанні на

обмеженому просторі технології видобутку, підготовки, зрідження, зберігання та морського транспортування ЗПГ, одночасно узгоджуючи всі нормативні документи та технічні регламенти, а також дотримуватись вимог безпеки. Умови експлуатації судна передбачають його рухливість, що виникає під час хвилювання моря. Рух судна може призвести до слошингу ЗПГ або нерівномірного його розподілу в елементах вантажної системи, що знижує надійність роботи установок [17, 18]. Ефект слошингу ЗПГ у мембранних танках під час хитамиці може бути зменшений за допомогою посилення стінок, зміни геометрії танків та встановлення центральної поздовжньої перегородки, яка також виконує роль додаткової опори для надпалубних споруд [1, 19].

З останнього десятиліття компанії-розробники проводили порівняльний аналіз технологічних процесів зрідження, придатних для плавучих заводів ЗПГ. Відбувалися спроби адаптувати відомі великотоннажні технологічні процеси до умов роботи на морі, а також досліджувалися існуючі процеси, пов'язані з малотоннажним виробництвом ЗПГ. У процесі систематизації знань та досвіду експлуатації різних технологій виробництва ЗПГ було визначено основні критерії вибору технології зрідження газу: простота в експлуатації, мінімальна залежність від погодних умов, можливість швидкого запуску та зупинки, збереження ефективності процесу в широкому діапазоні температур довкілля, висока енергоефективність, адаптивність до зміни продуктивності, гарна пристосованість до зміни складу сировинного газу піл час переведення виробництва з одного родовища до іншого, мінімальна необхідність роботи з потенційно небезпечними холодоагентами [3, 20].

Якщо розглянути проекти плавучих заводів, які вже прийняті до виробництва, або такі, що перебувають на стадії впровадження, можливо визначити, що лідируючу позицію серед технологічних процесів зрідження займає азотно-детандерний цикл – азотний холодильний цикл із двома детандерами, де застосування другого детандера на нижчому температурному рівні підвищує термодинамічну ефективність процесу завдяки зменшенню різниці температур у процесі переохолодження ЗПГ.

Азотний холодильний цикл має переваги в морських умовах – перш за все – швидкий запуск і зупинка, мала кількість обладнання, простота схеми та забезпечення безпеки за відсутності вуглеводневих холодоагентів. Азотний цикл дешевший порівняно з циклом на змішаному холодоагенті, а його декілька нижча ефективність компенсується простішою технологією. Крім того, технологічне обладнання азотно-детандерного процесу зрідження піддається

модульному конструюванню та виготовленню завдяки компактним розмірам і відносно невеликій кількості елементів.

За останні роки в індустрії ЗПГ з'явилися нові плавучі регазифікаційні установки – Floating Storage and Regasification Unit (FSRU). Це пов'язано з високою вартістю берегових територій та посиленими екологічними вимогами в прибережній зоні. Розміщення приймальних терміналів на морі дозволяє віддалити об'єкти ЗПГ від населених пунктів і скоротити терміни будівництва терміналів.

Переваги плавучих приймальних терміналів включають: мінімальний вплив на прибережну екологію, високий рівень безпеки, можливість будівництва судна та монтажу надпалубних установок на одній верфі, зниження капітальних витрат у порівнянні з береговими терміналами, можливість переміщення терміналу, вибір оптимального місця для прокладання трубопроводів з урахуванням існуючої берегової інфраструктури [21, 22].

Плавучий приймальний термінал завантажує ЗПГ з танкерів у свої резервуари, а бортова регазифікаційна установка випарює зріджений газ і подає його в підводний газопровід через систему гнучких колекторів.

Сфера застосування FSRU розширюється. На сьогодні чотири сферичних танкера компанії Golar LNG були переобладнані в плавучі приймальні термінали, які базуються біля берегів Бразилії, Арабських Еміратів, Італії та США. Проте у плавучих терміналів залишаються проблеми, схожі з проблемами плавучих заводів ЗПГ, такі як коливання рідини в частково заповнених танках. Найкращим рішенням для цих умов залишаються сферичні та призматичні вантажні танки.

Судна-газовози також стикаються з підвищеною рухливістю під впливом погодних умов на морі, що збільшує навантаження на якірні системи та створює небезпеку під час швартування «борт-о-борт». Одним із рішень є заміна жорстких завантажувальних рукавів на амплітудні системи Amplitude-LNG Loading System (ALLS), які є гнучкими кріогенними шлангами та дозволяють проводити розвантаження в більш складних погодних умовах. Ще одним рішенням є збільшення ваги кілю плавучого терміналу, що зменшує його рухливість.

За даними Baird Maritime, компанія Hyundai Heavy Industries у 2023 р. уклала контракт на будівництво нових плавучих терміналів для Норвегії, довжиною 294 м і шириною 46 м, з резервуарами ємністю 170000 м³ ЗПГ.

Протягом останніх двадцяти років у світі спостерігається зростання видобутку природного газу з нетрадиційних джерел. Це газ, що

добувається з щільного пісковика, сланців і вугільних пластів. Розташування родовищ нетрадиційного газу сильно відрізняється від розташування традиційних родовищ вуглеводнів, що може суттєво змінити напрямки світового експорту та імпорту природного газу.

Більш життєздатними з розглядуваних проєктів на даному етапі є проєкти зрідження вугільного газу. На даний момент в Австралії на різних стадіях готовності існує п'ять проєктів зрідження газу з вугільних пластів – чотири великотоннажних і один малотоннажний. Всі вони побудовані за однією моделлю: вугільний метан добувається на континентальному шельфі, зріджується та по газопроводу направляється на берегові термінали ЗПГ. За прогнозами, сумарна продуктивність чотирьох основних заводів ЗПГ з вугільного метану з сьогоденних 16 млн. тонн/рік зросте до 57 ... 58 млн. т/рік.

Серед Європейських країн польська компанія LNG-Silesia спільно з американськими партнерами в даний час приступила до реалізації проєкту малотоннажного виробництва ЗПГ з вмістом метану 97 % з вугільного газу продуктивністю 3 тис. т/рік.

Незважаючи на безліч нетрадиційних копалин у світі, існує ряд проблем, окрім економічних, з якими стикаються розробники технологій зрідження сланцевого або вугільного газу видобуток якого здійснюється на шельфових родовищах.

Однією з основних труднощів реалізації проєкту ЗПГ з вугільного газу є забезпечення достатньої кількості сировини. Для підтримання однакової продуктивності заводу ЗПГ необхідно в сто разів більше продуктивних свердловин на метан-вугільному родовищі, ніж на традиційному. За попередніми оцінками, для забезпечення заводу ЗПГ з продуктивністю 1,5 ... 4,0 млн. т/рік. протягом 20 років може знадобитися близько 3000 свердловин.

Вугільний метан добувається з свердловин за умовою низького тиску та потребує додаткової компресії для подачі по трубопроводу на завод ЗПГ. Вугільний газ відноситься до сильно збіднених газів, він відрізняється повною відсутністю інших вуглеводнів нормального ряду, які часто суттєво підвищують економіку ЗПГ-проєкту. Відсутність легких вуглеводневих газів C_{2+} у товарному ЗПГ знижує його теплотворну здатність. Склад домішок у природному газі вугільних пластів може варіюватися в широкому діапазоні, що вимагає різнопланових інвестицій в установки очистки та осушки газу. Комерційно привабливим вважається газ з вмістом метану не менше 90 %. Наприклад, вугільний природний газ з Австралії містить 98 % метану і зовсім не містить вуглекислого газу, що здешевлює його підготовку до зрідження. Деякі види вугільних газів мають у складі

домішки азоту, кисню, води та вуглекислого газу. Видалення цих домішок з газу вимагає додаткових інвестицій в установки очистки. Типові склади газу з традиційних та метан-вугільних родовищ наведені в табл.

Таблиця
Типовий склад вуглеводневого та вугільного газу

Компоненті газу	Вуглеводневий, %	Вугільний, %
Метан	83,0	95,0
Вуглекислий газ	2,5	3,0
Азот	1,5	2,0
Етан	6,5	Відсутній
Пропан	3,0	Відсутній
Бутан	1,5	Відсутній
Пентани і вище	0,5	Відсутній
Сірководень	1,5	Відсутній

Типова технологічна схема виробництва ЗПГ з газу з вугільних пластів повинна включати наступні процеси: видалення твердих часток з газу, видалення кислотних компонентів, осушування, видалення слідів сірки та сполук ртуті, охолодження та зрідження газу, виділення азоту з зрідженого газу.

У порівнянні з традиційною технологічною схемою заводу ЗПГ, в цьому випадку відсутня установка для видалення важких компонентів та фракціонування. За умовою використання технологічних процесів зі змішаними холодоагентами, компоненти холодоагентів повинні бути імпортовані на плавучий завод. Практично повна відсутність сірководню у вугільному газі значно полегшує процес видалення кислотних компонентів, який, врешті-решт, зводиться до очищення від вуглекислого газу [23, 24].

Видобуток природного газу з вугільних пластів неминуче призведе до зменшення викидів метану в атмосферу, і що набагато важливіше, сприятиме підвищенню безпеки праці на захисті довкілля.

Модульна стратегія спорудження великих виробничих об'єктів, характерна для нафтової промисловості, знаходить застосування в індустрії ЗПГ. Модульність була розроблена під час будівництва шельфових нафтових споруд. Стратегія полягає в тому, що більша частина будівельних робіт виконується на заводі, а подальша збірка готових модулів відбувається безпосередньо на морських платформах.

Завдяки розвитку з середини 10-х років XXI століття будівельної індустрії, зокрема, зростанню продуктивності вантажопідйомних

механізмів та обладнання для транспортування великогабаритних вантажів, модульна стратегія стала можливою також для морських газових об'єктів. Модульна стратегія вже застосовувалася на об'єктах ЗПГ-індустрії під час будівництва в 2022 р. норвезького заводу Snohvit LNG, п'ятої лінії австралійського заводу ЗПГ North West Shelf в 2023 р. та 1-ї лінії австралійського Pluto LNG в 2024 р.

Існує дві основні категорії об'єктів, які використовують модульну стратегію. По-перше, це проекти з сезонними або погодними проблемами, які викликають тривалі періоди простою в будівництві. До погодних проблем належать, наприклад, низькі температури, значний бруд під час сезонної активності підводних течій або збільшення льодового шару в акваторії морських видобувних платформ. По-друге, це проекти з обмеженою площею будівництва, підвищеною вартістю будівельних робіт і необхідністю періодичної ротації персоналу.

Конструкція модулів повинна бути розрахована на транспортування та установку, що рівносильне зміцненню конструкції для експлуатації в сейсмо-небезпечній зоні. Як правило, модулі містять близько 60 % конструкційної сталі, на відміну від 25 %, що використовуються під час будівництва традиційними методами. Це призводить до зростання загальних капітальних витрат. Крім того, через розробку модулів збільшується загальний час проектування. Модульне виконання також суттєво впливає на виконання закупівель, логістику та планування всього ходу робіт. Усі ці фактори повинні враховуватися під час вибору стратегії будівництва плавучих заводів ЗПГ. Тим не менш, модульний принцип може виявитися єдиним правильним рішенням в екстремальних погодних умовах. Зокрема, він повинен стати визначальним при розміщенні об'єктів малотоннажного виробництва ЗПГ.

Як висновки визначимо наступне:

1. Прагнення до зниження негативного впливу на довкілля, що здійснюється з боку морських суден та їх енергетичних установок, є однією з підстав, які сприяють розвитку автономних плавучих заводів зрідженого природного газу.

2. Розміщення подібних заводів доцільно поза дванадцятимильною прибережною зоною, що разом з вантажними операціями дає змогу виконувати технологічні операції з баластними водами та водами, що містять нафту, відповідно до вимог МАРПОЛ.

3. Найбільш ефективною схемою комплектування автономних плавучих заводів зрідженого природного газу є модульна, яка, в

залежності від виробничого завдання, дозволяє виконувати різні операції з видобутку, переробки та перевантаження скрапленого газу.

4. Використання автономних плаваючих заводів зрідженого природного газу також сприяє підвищенню енергетичної безпеки, забезпечуючи більш стійке та безперервне постачання зрідженого природного газу як джерела енергії. Це особливо актуально для віддалених регіонів та районів з обмеженими можливостями зберігання та транспортування.

5. Використання автономних плаваючих заводів в енергетичному комплексі будь-якої країни знижує залежність від традиційної наземної інфраструктури, мінімізуючи витрати на будівництво стаціонарних об'єктів і спрощуючи процес транспортування зрідженого природного газу до кінцевих споживачів. Це сприяє розвитку світової мережі постачання енергоресурсів, підвищуючи гнучкість та оперативність у відповідь на змінні потреби ринку.

6. Модульна структура таких заводів дозволяє гнучко адаптувати обладнання для різних виробничих потреб, що може зменшити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність видобутку та обробки ресурсів. Це сприяє загальній екологічній безпеці та економічній доцільності у морському транспорті та енергетики.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Kolegaev M. O., Brazhnik I. D. Main ways of tanker inert gas system modernization // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 200 - 216.

2. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120.

3. Сагін, С. В., Матейко, О. В. Аналіз способів інертизації вантажних танків суден-газовозів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 148 -156.

4. Сагін, С. В., Матейко, О. В. Особливості інертизації вантажних танків під час перевезення вогнебезпечних речовин // Водний транспорт: збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 36 - 49.

5. Petrychenko O., Levynskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96 - 106.

6. Sagin A. S., Zablotskiy Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal*. – 2021. – № 7 - 8. – P. 14 - 17.

7. Sagin S. V., Kuropyatnyk O. A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2021. – № 7 - 8. – P. 36 - 43.

8. Petrychenko O., Levynskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // *Transport Systems and Technologies*. – 2024. – № 43. – P. 21 - 36.

9. Заблоцький, Ю. В. Підвищення економічності роботи суднових дизелів // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 12 - 16.

10. Горб, С. И., Горб, А. С. Программное обеспечение для управления активами на судах // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2018. – Вып. 24. – Одесса: ОНМА. – С. 34 - 48.

11. Горб, С. И., Поповський, О. Ю., Будуров, М. І. Оптимізація налаштування регулятора частоти обертання дизель-генератора // *Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ"ОМА". – С. 3 - 16.

12. Sagin S. V., Stoliaryk T. O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal*. – 2021. – № 7 - 8. – P. 29 - 35.

13. Gorb S. I., Budurov M. I. Increasing the accuracy of a marine diesel engine operation limit by thermal factor // *International Review of Mechanical Engineering*. – 2021. – Vol. 15(3). – P. 115 - 121.

14. Sagin S. V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // *Materials of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: Series Synergy and Integration*. – 2019. – P. 139 - 145.

15. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(10). – P. 1373.

16. Sagin S. V., Kuropyatnik A. A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric

oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67 - 71.

17. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2021 – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5 - 17.

18. Горб, С. И. Оптимизация главного двигателя на режиме экономического хода судна // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 17 - 34.

19. Побережний, Р. В., Сагін, С. В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 5 - 9.

20. Руснак, Д. Ю., Сагін, С. В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 49 - 54.

21. Сагін, С. В., Куропятник, А. А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 79 - 89.

22. Сагін, С. В., Мадей, В. В., Сагін, А. С. Робота суднового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація суднових технічних засобів: наук. - техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 93 - 107.

23. Куропятник, А. А., Сагін, С. В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 72 - 80.

24. Сагін, С. В., Побережний, Р. В. Аналіз основних способів зниження емісії оксидів азоту дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки: наук. –техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 132 - 141.

***Abstract.** Currently, the gas production industry has actively begun to develop the sea shelf. Currently, large offshore gas fields are being developed in regions such as the North Sea, the Gulf of Mexico, Australia, Malaysia and Indonesia. However, the construction of plants that provide liquefaction of gas directly in the cities of its production requires significant capital investments, in particular, in marine pipelines through which liquefied natural gas will be delivered to coastal distribution stations. The*

remoteness of many fields from the coastal infrastructure, the difficulty of building offshore gas liquefaction platforms, the need to lay underwater pipelines and storage facilities reduce the profitability of such projects. As a solution to this problem, the largest development companies propose to use autonomous marine liquefied natural gas plants. These floating complexes are vessels or barges equipped with systems for extraction, purification, drying and liquefaction of gas, as well as cargo spaces for storage of liquefied natural gas. Floating complexes can be located directly above the deposit, which avoids the need to lay long underwater pipelines and minimize infrastructure costs. The construction of such plants is most expedient to be carried out according to the modular construction strategy, according to which most of the work is carried out at the plant, and the subsequent assembly of ready-made modules takes place directly on marine platforms that ensure gas production in coastal sea areas. The design of the modules must be designed for transportation and installation, which is equivalent to strengthening the structure for operation in a seismically dangerous zone. Modular execution also significantly affects the execution of procurement, logistics and planning of the entire course of work. All these factors should be taken into account when choosing a strategy for the construction of floating LNG plants. The modular principle may prove to be the only correct solution in extreme weather conditions. In particular, it should become decisive when placing objects of low-tonnage production of liquefied natural gas.