

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 620.3.51

Світовий ринок СПГ. Вимоги до якості поставляемого газу в різних регіонах світу

Т. В. Дьяченко ✉

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082, Україна

✉ e-mail: diachenko.tetiana.v@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9275-187X>

Скrapлений природний газ (СПГ) – компактна форма транспортування природного газу (ПГ). Основною задачею впровадження технології виробництва та поставок скrapленого природного газу є забезпечення стабільного розвитку енергетики. Найбільш актуально це для європейських країн. По мірі розширення ринку скrapленого природного газу розвивається інфраструктура його поставок. Будуються нові термінали по зрідженню та регазифікації СПГ. Однак на Чорному морі немає терміналів СПГ. Поставки ПГ здійснюються з Росії. Для диверсифікації поставок Румунія в Констанці та Україна в Одесі планували будівництво СПГ-терміналів. На практиці прогрес в цьому напрямку практично відсутній. В даний час на планеті в 42 країнах є біля 120 терміналів по прийому СПГ (не враховуючи декількох десятків запланованих або тих, що будуються). Сумарна потужність діючих терміналів перевищує 850 мільйонів тон, що в два с гаком рази більше глобальних потужностей по скrapленню газу. Скrapлений природний газ, що поставляється, як правило, використовується в якості палива. У Європі якість споживаного газу регулюється на федеральному рівні, в той час як в США вона визначається на місцевому рівні. Виникає необхідність стандартизувати вимоги до якості СПГ, що виробляється на заводах та поступає до споживача. Ця задача не менш актуальна для України. Основною характеристикою якості газу є його теплотворна здатність. В континентальній Європі прийнята інша класифікація природних газів: низькокалорійний газ (L-газ), висококалорійний (H-газ) та E (проміжний сорт), встановлені європейським стандартом EN437. Достатньо розповсюдженою характеристикою якості СПГ є число Воббе. Фізичний зміст цього індексу полягає в тому, що при однаковому тиску газу з однаковим числом Воббе дадуть однаковий приплив енергії. Для того, щоб продавцеві можливо було вигідно продати свій товар, вироблений з урахування всіх умов та існуючих норм, а споживачу – одержати товар відповідної якості або довести його якість до необхідних характеристик, необхідно розробити загальні вимоги до СПГ, що будуть визнаватися у всьому світі.

Ключові слова: Скrapлений природний газ; СПГ-термінали; Вимоги до якості; Теплотворна здатність газу; Енергоефективність

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v57i2.2025>

© The Author(s) 2021. This article is an open access publication
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Вступ

З середини ХХ століття природний газ (ПГ) є важливою корисною копалиною [1, 2]. Він широко використовується в енергетиці в якості енергоно-

сія та в крупнотонажній хімії як джерело вуглецевої сировини для синтезу полімерів та азотних добрив.

Скrapлений природний газ (СПГ) одержують з природного газу шляхом стиснення з наступним

охлажденням. При скрапленні він зменшується в об'ємі більш ніж у 600 разів. Не дивлячись на значні витрати на скраплення, СПГ є економічною формою зберігання та транспортування природного газу.

На відміну від трубопровідних поставок через низку переваг світовий ринок СПГ володіє більшим потенціалом до росту [3]:

- низькі питомі транспортні витрати (морський транспорт найдешевший у світі), що окупають витрати технологічної стадії скраплення;
- можливість оперативної зміни об'ємів поставок при несприятливій кон'юнктурі ринку;
- зниження політичних ризиків в силу незалежності поставок СПГ від третіх країн;
- зниження витрат газу на власні потреби до 7...8 %. В трубопровідних проектах це 12...14 %;
- до 40 % енергії, витраченій на скраплення газу, можливо повернути в процесі регазифікації;
- технологія СПГ добре поєднується з технологіями органічного синтезу, так як дозволяє утилізувати хвостові гази, що утворюються в хімічних реакторах, в якості палива для компресорів зріджувачів;
- менший стартовий капітал проекту, ніж для трубопровідного транспорту. Потужності по виробництву СПГ можливо вводити в дію поступово, починаючи поставки вже після вкладення 50 % коштів;
- менші строки будівництва. За рахунок того, що термінал, сховище та інша допоміжна інфраструктура створюються на початковому етапі, питомі витрати на виробництво СПГ при спорудженні додаткових технологічних ліній тільки

знижуються;

- СПГ має найкращі серед усіх вуглеців екологічні показники за рахунок його очистки перед зрідженням.

2. Світовий ринок СПГ (рис. 1)

Основною задачею впровадження технології виробництва та поставок скрапленого природного газу є забезпечення стабільного розвитку енергетики. Цілями реструктуризації (лібералізації) газової та електроенергетичної індустрії є:

- домогтися зниження цін на енергоносії та електроенергію шляхом посилення конкуренції постачальників та транспортних компаній;
- зменшити залежність ринку газу від ринку сирої нафти. Створення незалежного ринку газу дозволить формуватися цінам на газ в короткостроковій перспективі на основі тільки співвідношення запит-пропозиція;
- уберегти економіку країн від диктатури та тиску виробників та транспортних компаній-монополістів.

Це визиває стабільне збільшення запиту на СПГ (рис. 1, б). У 2017 році у порівнянні з 2016 роком імпорт СПГ за 2017 рік виріс на 11 % [3]. Споживання за той же період збільшилось в основному за рахунок азіатських країн на 29 млн. т та складало 293 млн. тон.

По мірі розширення ринку скрапленого природного газу розвивається інфраструктура його поставок. Будуються нові термінали по прийому СПГ (рис. 2, табл. 1, 2).

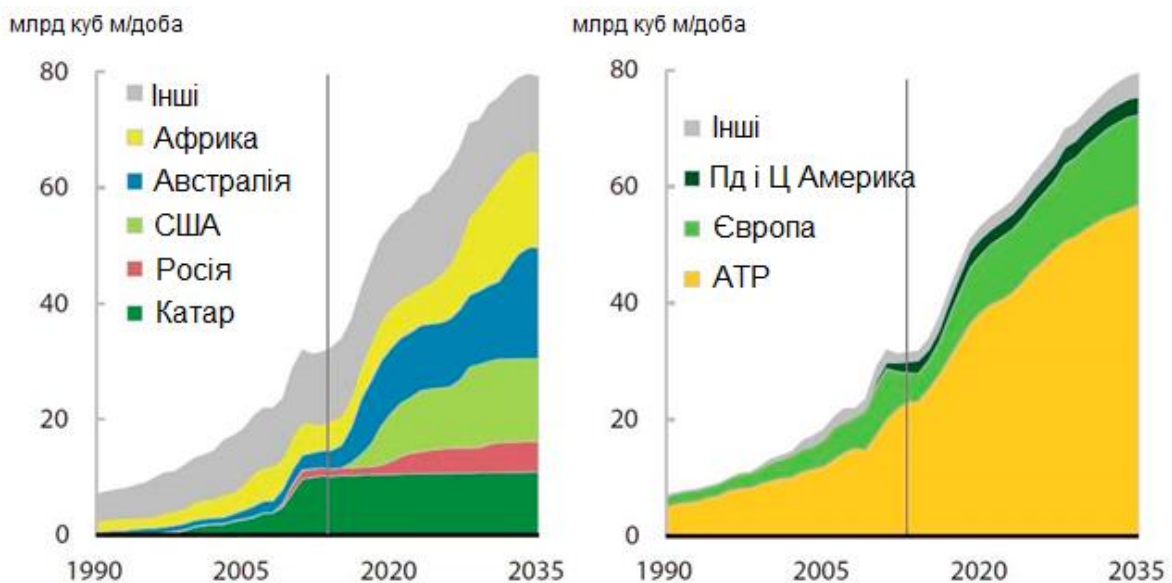


Рисунок 1 – Прогноз розвитку світового ринку СПГ [4]: а) – поставки; б) – запит на СПГ

Таблиця 1 – Найбільші нові СПГ-проекти в Сполучених штатах Америки [2]

Назва проекту	Потужність, Мт/рік	Розташування (штат)
Cameron LNG	38,4	Луїзіана
Lake Charles LNG	24,1	Луїзіана
Freeport LNG	23,4	Техас
Corpus Christi LNG	23,4	Техас
Golden Pass	23,0	Техас
Sabine Pass Liquifaction	15,3	Луїзіана
Magnolia LNG	11,8	Луїзіана
Cove Point LNG	9,0	Меріленд
Sabine Pass LNG	7,7	Луїзіана
Southern LNG	3,8	Джорджія

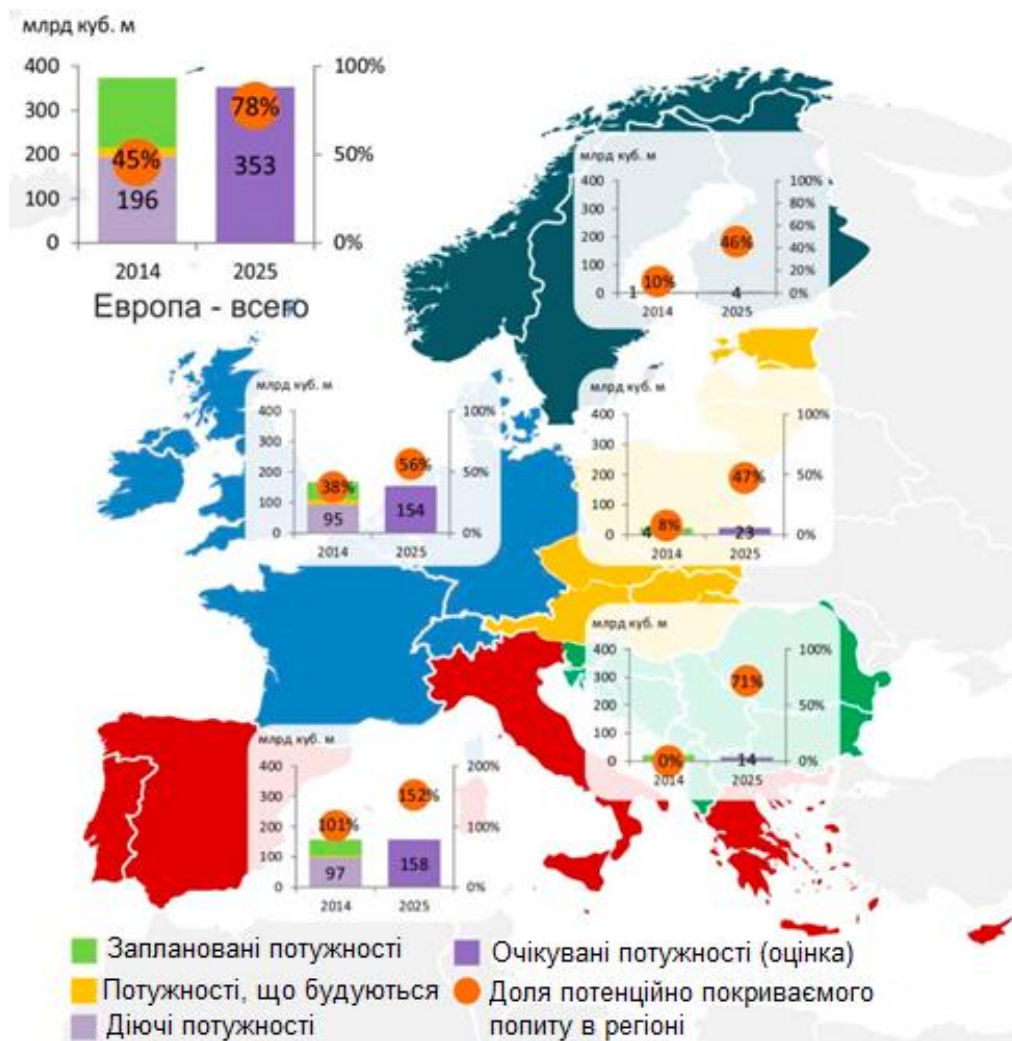


Рисунок 2 – Регазифікаційні термінали СПГ у Європі [10]

Таблиця 2 – Найбільші СПГ-термінали Європи [2]

Назва терміналу	Країна	Потужність, Мт/рік		Рік запуску
		2016 рік	2025 рік	
1	2	3	4	5
Zeebrugge	Бельгія	9,0	12,0	1987
Los Cavaou	Франція	8,25	16,5	2010
Dunkerque	Франція	13,0	13,0	2016

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
Fos-Tonkin	Франція	3,4	3,4	1972
Motoir-De-Bretagne	Франція	10,0	10,0	1980
Revithoussa	Греція	5,2	7,0	2000
Panigaglia	Італія	3,5	8,0	1971
Porto Levante	Італія	8,0	8,0	2009
OLT Oshore LNG Toscana S.p.A	Італія	3,75	3,75	2013
Gioia Tauro	Італія	0	12,0	2019
Porto Empedocle	Італія	0	8,0	2019
Trieste	Італія	0	8,0	2020
Falconara Marittima	Італія	0	4,0	2018
Klaipeda LNG FSRU	Литва	4,0	4,0	2014
Gate Terminal	Нідерланди	12,0	16,0	2011
Swonoujscie LNG	Польща	5,0	7,5	2016
Sines	Португалія	7,6	7,6	2003
Barcelona	Іспанія	17,1	17,1	1969
Cartagena	Іспанія	11,8	11,8	1989
Huelva	Іспанія	11,8	11,8	1988
Bibao Bahia de Bizkaia	Іспанія	8,8	8,8	2003
Sagunto	Іспанія	8,8	8,8	2006
Murgados	Іспанія	3,6	7,2	2007
El Misel	Іспанія (законсервовано)	0	7,0	2012
Las Palmas de Gran Canaria	Іспанія	0	1,3	2018
Santa Cruz de Tenerife	Іспанія	0	1,3	2017
Marmara Ereğlisi	Туреччина	6,2	6,2	1994
Aliaga	Туреччина	6,0	6,0	2006
Grain LNG	Великобританія	19,5	27,5	2005
Dragon LNG	Великобританія	7,6	7,6	2009
South Hook LNG	Великобританія	21,0	21,0	2010
Teesside	Великобританія	4,0	4,0	2007

Запит на скраплений природний газ в Піднебесній досяг 57 млн. т, завдяки тривалому економічному росту країни, а також державній політиці зменшення викидів за рахунок переводу китайських тепло- та електростанцій з вугілля на природний газ.

З 2000-го року число держав, що займаються імпортом СПГ, зросло в четверо разів [3], а кількість країн-виробників збільшилось в два рази. При цьому об'єм світової торгівлі скрапленим природним газом виріс втричі, до 300 млн. т у 2017 році у порівнянні з 100 млн. т у 2000 році.

Сьогодні СПГ виробляють та експортують 18 країн. У 2018 році об'єми його поставок склали 323 млрд кубометрів або 230 млн тон (рис. 3, а).

Безспірним світовим лідером на ринку СПГ є Катар. Його швидко доганяє Австралія, до недав-

нього часу не граюча скільки-небудь помітної ролі на глобальному газовому ринку. Великі потужності для скраплення мають також Малайзія, Індонезія, Алжир, Нігерія, США, Тринідад і Тобаго.

У 2018 році основними постачальниками для Європи були Катар, Алжир і Нігерія. Катар та США наполегливо агітують Німеччину обзавестися власним приймальним терміналом. Доля американського скрапленого газу в імпорті Євросоюзу зростає [11]. У 2019 р. США стали третіми за величиною постачання СПГ в ЄС.

Європейці активно будують термінали для прийому скрапленого газу (табл. 2, рис. 2). По даним [12, 13] у 2016 р. на території Європи знаходилось 26 терміналів по прийому СПГ. Заплановано будівництво 22 нових терміналів, що доведе їх загальне число до 50 [11].

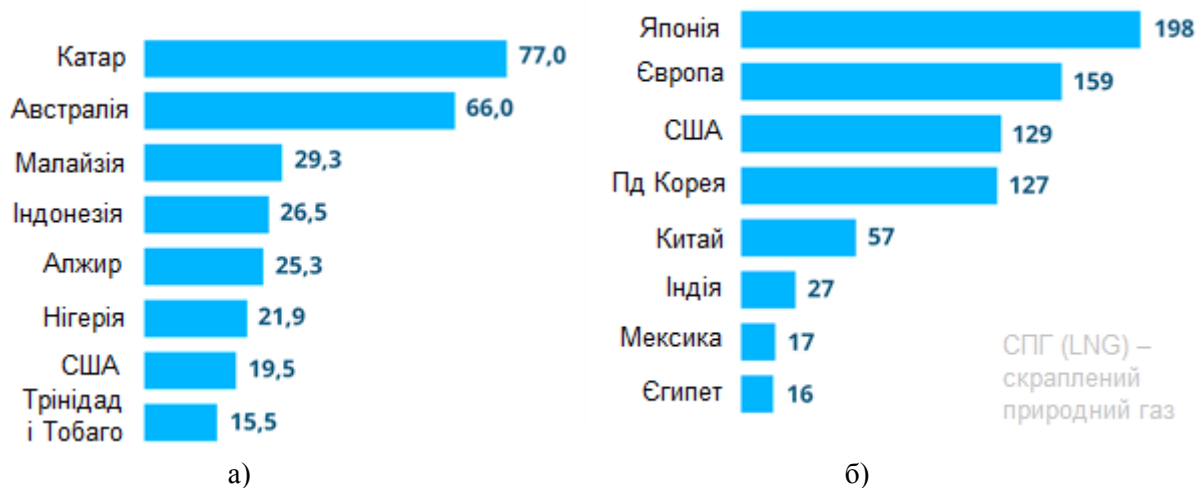


Рисунок 3 – Потужності по виробництву (а) та регазифікації (б) СПГ по даним на кінець 2018 р. [4]

Ще одним трендом на європейському ринку СПГ окрім укрупнення регазифікаційних потужностей є переорієнтація з крупних партій на більш дрібні закупки. Споживачі ЄС стали відкриті для середніх та дрібних трейдерів, а їх регазифікаційні термінали змінили конфігурацію й пристосувались до самих різних варіантів подальших поставок. Так, на семи європейських терміналах по прийому СПГ можливо його перевантаження на інші судногазовози. На 14 діючих у Європі терміналах СПГ можливо загрузити в цистерни та відправити газ споживачам вантажним транспортом. До кінця 2019 року цю опцію отримали ще два порти. Багато терміналів планують в перспективі поставки по залізничній дорозі. Все це відкриває нові можливості для торгівлі малими партіями газу.

Найбільшим покупцем скрапленого газу та володарем найбільшого числа приймальних терміналів у Європі є Іспанія, географічно розташована далі інших від традиційних постачальників трубопровідного газу. На Атлантичному океані та Середземному морі діє в загальній складності 9 іспанських терміналів (табл. 2).

У Великобританії терміналів 4, та вони більш

потужні, ніж 4 французьких. В Італії 7 терміналів, по одному в Нідерландах, Бельгії, Португалії, Польщі, Греції, Фінляндії, Литві та на Мальті. Туреччина має 4 термінали СПГ (2 на суші, 2 FSRU). Найближчий – Marmara Ereğlisi знаходиться у Мармуровому морі.

В даний час на планеті в 42 країнах існує біля 120 терміналів по прийому СПГ (не враховуючи декількох десятків запланованих або тих, що будуються) [4]. Сумарна потужність діючих терміналів перевищує 850 мільйонів тон, що в два з гаком рази більше глобальних потужностей по скрапленню газу. Це означає, що виробники можуть сміливо нарощувати виробництво СПГ.

3. Нафтогазова промисловість України

Нафтогазова промисловість України представлена підприємствами по видобутку та переробці нафти й газу [14, 15]. Головними нафтогазовими областями країни є Дніпровсько-Донецька, Карпатська та Причорноморсько-Кримська (табл. 3), а різні по запасам родовища нафти й газу виявлені у більшості регіонів країни.

Таблиця 3 – Родовища газу України

Регіон	Кількість родовищ		Запаси, млрд. м ³
	Відкрито	Розробляються	
Полтавська	62	32	634,4
Харківська	41	21	402,5
АР Крим	23	2	108,3
Львівська	30	20	101,2
Сумська	18	15	82,6
Івано-Франківська	20	16	31,6
Дніпропетровська	13	10	21,6

Продовження таблиці 3

Чернігівська	9	5	13,0
Луганська	11	7	11,8
Волинська	1	–	7,7
Запорізька	2		6,7
Закарпатська	4	1	3,3
Херсонська	1	1	2,3
Черновецька	5	1	1,6
Донецька	1	–	1,2
Всього:	241	131	1429,8

За думкою ряду спеціалістів, Україна має великі перспективні площини, де можливо відкриття родовищ вуглеводневої сировини (особливо газу) світового масштабу [16-18]. Однак нинішнє економічне положення нашої країни не дозволяє вкладати кошти в геологорозвідні роботи та розробку нових родовищ.

Починаючи з 2012 р. зроблено декілька спроб диверсифікації поставок природного газу для України. Крім реверсних поставок з Європи, було запропоновано побудувати приймальний термінал для газифікації СПГ. У 2012 р. голова Госінвестп-

роєкту Владислав Каськів підписав з представником іспанської компанії Gas Natural Fenosa контракт на будівництво у Одесі терміналу по прийманню скрапленого газу. На жаль виявилось, що підписант, який видавав себе за представника компанії, ніяких повноважень на укладання угод не мав.

У 2015 р. український уряд підписав меморандум про взаєморозуміння з американською компанією Frontera Resources, яка планувала побудувати LNG-термінал в районі Одеси, щоб поставляти на нього свій газ, що видобувається в Грузії (рис. 4). Однак і цей проєкт не отримав розвитку.



Рисунок 4 – Маршрут транспортування СПГ із Грузії в Україну

Третя спроба була зроблена в серпні 2019 року, коли секретар РНБО Олександр Данилюк підписав в Польщі тристоронній (Україна-США-Польща) меморандум про співпрацю в енергетичній сфері. Йшлося про створення в Україні газового хаба на базі українських підземних газових сховищ, які будуть наповнюватися газом, що поставляється з США. Уряди США і України домовилися про постачання в Україну через СПГ-термінали в Польщі 6-8 млрд куб. м газу в рік. На реалізацію цього проєкту планувалося відвести два-три роки, оскільки потрібно було розширити коридор для

поставок газу з Польщі в Україну, який на сьогодні може забезпечити перекачку не більше 2 млрд куб. м в рік. Однак компанія Louisiana Natural Gas Exports, з якою були підписані меморандуми про закупівлю СПГ зі США через термінал в Польщі, відмовилася від проєкту.

4. Вимоги до якості СПГ в різних регіонах світу

Скраплений природний газ, що поставляється, як правило, використовується як паливо. Вимоги

до якості природного газу переслідують декілька цілей: запобігання корозії і випадання рідини в трубопроводах, а також стабільні показники роботи пальника споживача [19, 20].

Природний газ є сумішшю горючих і негорючих газів з переважанням горючих компонентів: вуглеводнів, водню і в меншій мірі – монооксиду вуглецю. Невуглеводневі домішки (в основному азот і вуглекислий газ) знижують питому теплоту згоряння газу, тому в газовій індустрії є таке поняття, як взаємозамінність газу, яка відстежується за кількома параметрами.

Основною характеристикою якості газу є його теплотворна здатність. Її кількісною мірою є вища теплотворна здатність (ВТС, рис. 5 [19-22]).

Ще однією розповсюдженою характеристикою якості СПГ є число Воббе [21] – кількість тепла, яке виробляється при спалюванні 1 м³ палива при атмосферному тиску і температурі 15 °С.

$$W = \frac{ВТС}{\rho^{1/2}}, \text{ МДж/м}^3,$$

де ρ – питома густина.

Фізичний зміст цього індексу полягає в тому, що при однаковому тиску газу з однаковим числом Воббе дадуть однаковий приплив енергії.

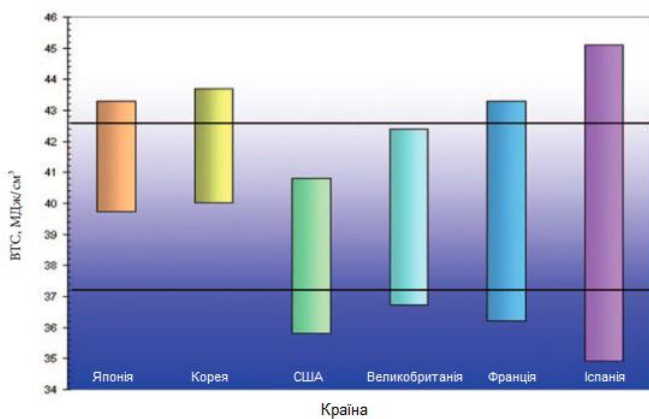


Рисунок 5 – Допустимі діапазони теплотворної здатності скрапленого природного газу, що поставляється в різні країни [9, 10]

Країни Атлантичного басейну використовують регазифікований СПГ з більш низькою ВТС. Найбільшими споживачами такого СПГ є США і Великобританія. Споживачі азіатсько-тихоокеанського регіону вважають за краще купувати СПГ з підвищеною ВТС. Основними виробниками СПГ для цих країн є держави Близького Сходу.

У континентальній Європі спочатку була прийнята інша класифікація природних газів (табл. 4, рис. 5, 6). Низькокалорійний сорт газу (L-газ), надходив з родовища Оскар Грьонінг (Нідерланди), а висококалорійні сорти (H-газ), добувалися в Європі або надходили з Алжиру, Росії, Норвегії, а також імпортувалися в вигляді СПГ з різних країн.



Рисунок 6 – Склад природного газу різних постачальників [23]

Так як спектр калорійності останніх газів досить широкий, в європейських країнах для спрощення імпорту і торгівлі були прийняті відповідні специфікації на природний газ зі значними діапазонами по нижчій теплоті згоряння і числу Воббе. У табл.4 представлені нормативні вимоги до числа Воббе за теплотворною здатністю для трьох сортів газів H, L і E (проміжний сорт), встановлені європейським стандартом EN437.

Таблиця 4 – Вимоги до теплотворної здатності СПГ країнами світу [21]

Сорт природного газу	Теплотворна здатність (Число Воббе), МДж/м ³	
	Мінімум	Максимум
H	45,7	54,7
L	39,2	44,8
E	40,9	54,7

На рис. 7 показані допустимі діапазони значень чисел Воббе природного газу для розглянутих в табл. 4 сортів природних газів, встановлені національними стандартами основних європейських країн-споживачів газу [22].

У Нідерландах, Бельгії, Франції, Люксембурзі і частково на території Німеччини застосовують як H-, так і L-газ, але в кожній з цих країн дані сорти газів поставляються по розділеним мережам.

Природний газ, що поставляється по ГТС в Японії і країнах Європи, має різний діапазон значень теплотворної здатності і детонаційної стійкості (табл. 5) [21].

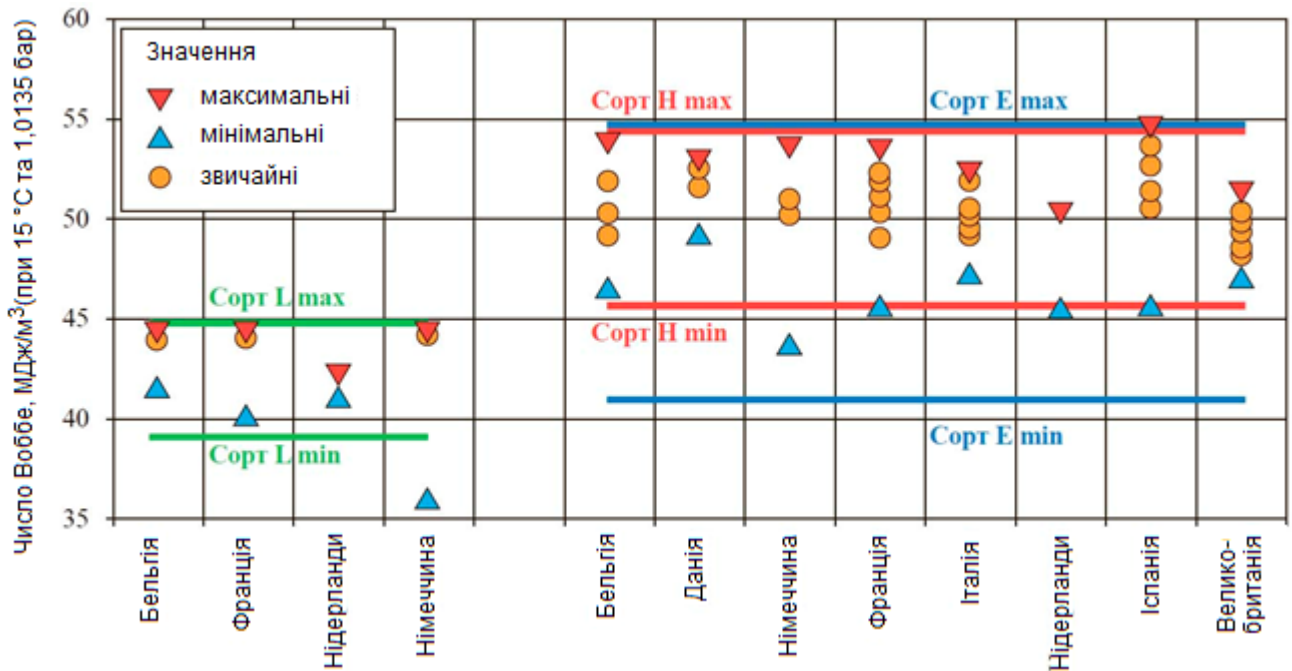


Рисунок 7 – Допустимі діапазони значень чисел Воббе природного газу, встановлені національними стандартами основних європейських країн для сортів природного газу H, L, E [21]

Таблиця 5 – Характеристика ПГ, що поставляється ГТС різних країн [21]

Країна	Теплотворна здатність, МДж/м ³		Детонаційна стійкість, МГ
	значення, допустиме стандартом на газ або контрактом на поставку газу	значення газу, що поступає	
Бельгія	H: 49,13...56,81	50,9...55,5	75,8 ± 2
	L: 42,7...46,89	43,9...46,6	85,4 ± 2
Чехія	–	52,96	98
Данія	Повний діапазон: 48,2...57,9	54,6...55,4	62,6...73,2
	Рекомендуємий діапазон: 51,9...55,4		
Фінляндія	48,2...57,7	–	98...98,6
Франція	H: 43,15...50,56	45,40...50,23	
	L: 38,0...41,86	39,93...41,86	
Німеччина	H: (43,2) ¹ 46,1...56,5	(43,2) 46,1...56,5	67,7...73,2
	L: (36,0) ¹ 37,8...46,8	(36,0) 37,8...46,8	
Японія	13A: 52,7...57,8	–	
	12A: 49,2...53,8		
Нідерланди	43,4...44,4	43,4...44,4	
	48,3...56,1 (для промислового використання)	48,3...56,1 (для промислового використання)	
Польща	GZ50: 45...54,0	52,9 ± 0,6	
	GZ35: 32,5...37,5	35,5 ± 1,2	
	GZ41,5: 37,5...45,0	У межах діапазону	
	GZ30: 27,0...32,5	У межах діапазону	
	GZ25: 23,0...27,0	У межах діапазону	
	GP ² : 23,0...27,0	–	
Іспанія	48,25...57,81	–	
Швеція	–	54...55	≈ 75
Швейцарія	47,1...52,3	–	
Україна	41,2...54,3	(41,2...54,3) ± 5	

Примітка: 1 – тільки протягом обмеженого часу в разі виникнення надзвичайної ситуації; 2 – забезпечується добавкою суміші «пропан-бутан-повітря»

Для згладжування коливань параметрів газу, що поставляється по ГТС в періоди пікового споживання, застосовують різні способи, в тому числі добавку скрапленого вуглеводневого газу. Це призводить, по-перше, до зниження детонаційної стійкості одержуваного з нього компримованого природного газу (КПГ), а по-друге – до можливого перевищення максимально допустимих значень нижчої теплотворної здатності.

Щоб імпортувати СПГ, насичений газоконденсатною рідиною, і виконувати вимоги з поставки газу в ГТС, його теплотворну здатність іноді необхідно зменшувати. Найбільш поширеним методом є закачування інертного газу (наприклад, азоту) до межі за змістом інертних елементів, встановленого для трубопровідного газу (як правило, від 2 до 3%).

При необхідності зниження теплотворної здатності на 3% і більше необхідно видаляти C_2 і більш важкі фракції. При наявності ринку збуту ГКР в районі терміналу прийому СПГ процеси видалення C_2 економічно доцільніше, ніж розведення азотом.

У Великобританії для візуалізації взаємозамінності газу прийнято використовувати наступну діаграму (рис. 8). По осі ординат розташоване число Воббе, а по осі абсцис – частка суми пропанового і азотного еквіваленту [3].

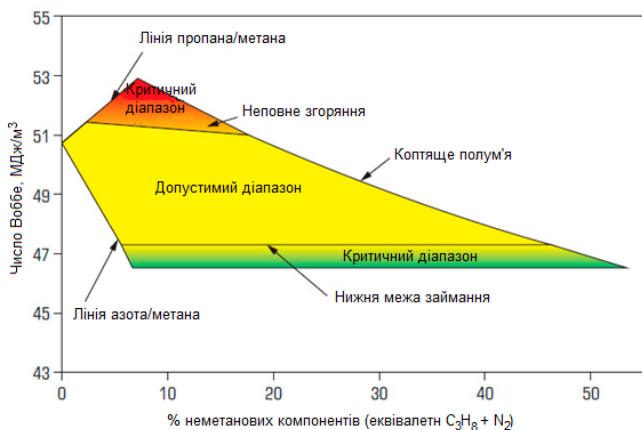


Рисунок 8 – Діаграма взаємозамінності природного газу [23]

Як видно, варіація параметрів дозволеного газу досить велика (площа «допустимий діапазон»). Енергетична ємність від 46,5 до 51 МДж/м³, а сума пропанового і азотного еквіваленту від 0% до 45%.

Залишити газ в потрібних рамках при високій частці азоту виходить за рахунок важких вуглеводнів, які мають велику теплоту згоряння. Газ,

який не відповідає цим параметрам, обробляється і очищається до необхідного рівня. Очищення газу географічно відбувається на родовищах. У магістральні газопроводи подається газ вже необхідної якості.

В реальності якість газу варіюється в більш скромних межах. На діаграмі (рис. 9) овалом позначено типову якість газу у Великобританії.

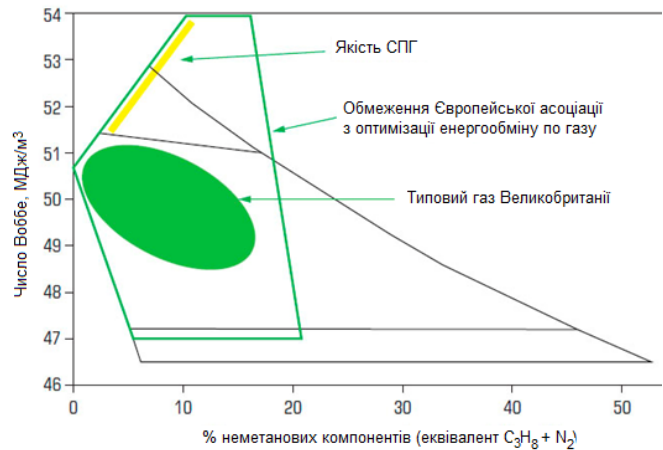


Рисунок 9 – Типова якість природного газу, споживаного в Великобританії [23]

З графіка видно, що рамки досить широкі – може бути і 15% сумарно пропанового еквівалента і азоту, з яких азоту буде близько 4%. Жовтою лінією позначений скраплений природний газ. Як видно, його енерговміст набагато вище допустимого в Великобританії. Тому, щоб природний газ знаходився в технологічному діапазоні, його, як правило, розбавляють азотом в кількості 2 ... 5% відразу на терміналі регазифікації.

Для скраплення газу, розташованого в місцях, віддалених від ринків газоконденсатних рідин (ГКР) деякі ГКР скраплюються разом з метаном, і їх вміст в СПГ досягає 14% (рис. 9).

Японія, яка є лідером із закупівель скраплених природних газів вже не одне десятиліття, вважає за краще купувати Н-газ з підвищеним вмістом C_3 і C_4 , щоб збільшити вміст ГКР і енергоємність газу, одержуваного з СПГ. Тому значна частина ринкового СПГ насичена газоконденсатними рідинами в набагато більшому ступені, ніж це допускається технічною вимогою на стиснений природний газ [23-30].

5. Висновки

За результатами аналізу вимог, що пред'являються до якості СПГ в різних країнах, можна

зробити висновок про федеральне регулювання якості газу в країнах Європи і місцевому регулюванню (на терміналах регазифікації) в США. Основною вимогою до якості газу є максимальна теплотворна здатність. Залежно від приймального терміналу її значення змінюється в досить широкому діапазоні. За думкою ряду спеціалістів, Україна має великі перспективні площини, де можливо відкриття родовищ вуглеводневої сировини (особливо газу) світового масштабу, використовуючи зарубіжний досвід та дотримуючись усіх необхідних вимог.

Література

1. **Дьяченко Т.В., Артюх В.Н., Титлов А.С.** Сжиженный газ – альтернативный источник поставок природного газа в промышленно развитые регионы мира // Холодильная техника и технология – 2017. – Т. 53. – № 2. – С. 49-58. DOI: 10.15673/ret.v53i2.595.
2. **Bondarenko V.L., D'yachenko T.V.** Utilization of LNG Exergy. Main Directions // Chemical and Petroleum Engineering. – 2020. – Vol. 56. – P. 247-254. DOI: 10.1007/s10556-020-00766-z
3. Будущее мирового рынка СПГ. URL: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/3/490/ (дата звернення 17.03.2021)
4. Мировой рынок сжиженного газа: проснувшийся гигант. URL: <https://www.dw.com/ru/мировой-рынок-сжиженного-газа-проснувшийся-гигант/a-47735120> (дата звернення 14.03.2021).
5. **Кулагин В.А., Митрова Т.А.** Газовый рынок Европы: утраченные иллюзии и робкие надежды. – Москва: Институт энергетики НИУ ВШЭ/ИНЭИ РАН, 2015. – 86 с.
6. **Полецук Г.М.** СПГ в Австралии // ЭКО-информ. – 2018. – № 4. – С.69-82. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2018-4-69-76.
7. **Вальчук М.Е.** Мировой рынок СПГ: особенности формирования и функционирования. URL: <http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2018/1/worldconomy/Valchuk.pdf> (дата звернення 14.03.2021).
8. **Фёдорова Е.Б.** Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 159 с.
9. LNG MAP 2014 – Gas Infrastructure Europe. URL: https://www.gie.eu/download/maps/2014/GLE_LNG_JUNE2014.pdf (дата звернення 16.03.2021).
10. Shell LNG. Outlook 2020. URL: https://www.shell.com/promos/overview-shell-lng-2020/_jcr_content.stream/1584588383363/7dbc91b9f9734be8019c850f005542e00cf8ae1e/shell-lng-outlook-2020-march.pdf (дата звернення 17.03.2021).
11. Gas infrastructure Europe – LNG investment database. – April 2015, INEI, RAN.
12. В Германии лоббируют строительство СПГ-терминала. Главный аргумент – политический. 16.02.2018. Новости. События. URL: <https://www.fondsk.ru/news/2018/02/16/v-germanii-lobbiryut-stroitelstvo-spg-terminala-glavnyj-argument-politicheskij-45605.html> (дата звернення 16.03.2021).
13. **Кутузова М.** Зарубежные клиенты «Газпрома» наращивают импорт СПГ // Нефть и газ. – Приложение №189 от 16.10.2019. – С. 4.
14. LNG is the crossroads identifying key drivers and questions for an industry in flux. – Deloitte Center for Energy Solutions, 2016. – 22 p.
15. **В. И. Бондаренко и др.** Энергетика: история, настоящее и будущее. Т.1: От огня и воды к электричеству: в 4 т. – Киев, 2005. – 304 с.
16. Добыча газа в Украине. URL: <https://zet.in.ua/statistika-2/energetika/dobycha-gaza-v-ukraine/> (дата звернення 18.03.2021).
17. **Марцинкевич Б.** Газотранспортная система Украины и Европы после 2019 года // Геоэнергетика. URL: <http://geoenergetics.ru/2016/11/16/gazotransportnaya-sistema-ukrainy-i-evropa-posle-2019-goda/> (дата звернення 13.03.2021).
18. **Лавренченко Г.К.** Актуальные проблемы производства и использования КПГ И СПГ // Технические газы. – 2012. – №3. – С.2-10.
19. **Волошин В.С., Мнацаканян В.Г., Рязанцев Г.Б.** Аналитический обзор различных способов добычи газовых источников энергии в Украине // Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – Вип. 27. – С. 234-240.
20. **Изотов Н.И.** Требования к качеству СПГ за рубежом // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 5 (41). – С. 20-35.
21. **Д. Вуд, С. Мохатаб.** Взаимозаменяемость сортов природного газа // Порттех. – С. 62-65. URL: <https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/112.pdf> (дата звернення 18.03.2021).
22. **Гнедова Л.А., Гриценко К.А., Лапушкин Н.А. и др.** Анализ качества исходного сырья, применяемого для получения компримированного природного газа // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2015. – № 1 (21). – С. 98-107.

23. **Козлов А.М., Карпов А.Б., Федорова Е.Б. и др.** Определение энергии – важный фактор при реализации природного газа // НефтеГазоХимия. – 2015. – №4. – С.31-34.
24. *Energiewirtschaft. Einführung in Energie und Politik.* – Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783486794069>.
25. **Д. Койл, Ф. Ф. де ла Вега, Ч. Дурр.** Проблемы качества природного газа в индустрии СПГ. URL: http://gazanaliz.ru/articles/PS4_7/PS4_7_Natural_gas_specification_challenges_RU.html (дата звернення 11.03.2021).
26. **Y. Bramoullé, P. Morin, J.-Y. Capelle.** LNG quality and market flexibility challenges and solutions qualites de gnl et flexibilitе de marche enjeux et perspectives. URL: <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4215/innhold/LNG%20Conferences/2004/Data/Papers-PDF/PS3-1-Bramoull%C3%A9.pdf> (дата звернення 14.03.2021).
27. **Д. Dobrota, В. Lalić, I. Komar.** Problem of Boil-off in LNG Supply Chain // Transactions on maritime science. – 2013. – 02: 91 – Р. 100.28. **Лесконог А.А., Чуркин Г.Ю.** Особенности и основные проблемы обеспечения промышленной безопасности терминалов сжиженного природного газа // Безопасность Труда в Промышленности. – 2016. – № 12. – С. 57-61.
29. Закон України «Про ринок природного газу» // Відомості Верховної Ради. – 2015. – № 27. – Ст.234.
30. **Самарский С.** Голубой огонек. От чего зависит качество газа, и кто его контролирует. URL:<https://oilpoint.com.ua/goluboj-ogonek-ot-chego-zavisit-kachestvo-gaza-i-kto-ego-kontroliruet/> (дата звернення 18.03.2021).

Отримана в редакції 12.04.2021, прийнята до друку 14.06.2021

World LNG market. Requirements for the quality of gas supplied in different regions of the world

Tetiana Diachenko✉

Odessa National Academy of Food Technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082

✉ e-mail: diachenko.tetiana.v@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9275-187X>

Liquefied natural gas (LNG) is a compact form of natural gas (NG) transportation. The main task of implementing the technology of production and supply of liquefied natural gas is to ensure the stable development of energy. This is most relevant for European countries. As the liquefied natural gas market expands, its supply infrastructure is evolving. New LNG liquefaction and regasification terminals are under construction. However, there are no LNG terminals in the Black Sea. NG supplies are made from Russia. To diversify supplies, Romania in Constanta and Ukraine in Odessa planned to build LNG terminals. In practice, there is little progress in this direction. Currently, there are about 120 LNG terminals on the planet in 42 countries (excluding several dozen planned or under construction). The total capacity of existing terminals exceeds 850 million tons, which is more than twice as much as global gas liquefaction capacity. The liquefied natural gas supplied is usually used as fuel. In Europe, the quality of gas consumed is regulated at the federal level, while in the United States it is determined at the local level. There is a need to standardize the quality requirements of LNG produced in factories and supplied to the consumer. This task is no less important for Ukraine. The main characteristic of gas quality is its calorific value. In continental Europe, a different classification of natural gases has been adopted: low-calorie gas (L-gas), high-calorie (H-gas) and E (intermediate grade), established by the European standard EN437. A fairly common characteristic of LNG quality is the Wobbe number. The physical meaning of this index is that at the same pressure, gases with the same Wobbe number will give the same energy flow. In order for the seller to be able to profitably sell his product, made in compliance with all conditions and existing standards, and the consumer – to get the product of appropriate quality or bring its quality to the required characteristics, it is necessary to develop general requirements for LNG, which will be recognized throughout the world.

Keywords: *Liquefied natural gas; LNG terminals; Quality requirements; Calorific value of gas; Energy efficiency*

References

1. **Dyachenko, T.V., Artyukh, V.N., Titlov, A.S.** (2017) Liquefied gas – an alternative source of natural gas supplies to the industrially developed regions of the world. *Refrigeration Engineering and Technology*, 53, 2, 49-58. DOI: 10.15673 / ret.v53i2.595.
2. **Bondarenko, V.L., D'yachenko, T.V.** (2020) Utilization of LNG Exergy. Main Directions. *Chemical and Petroleum Engineering*, 56, 247-254. DOI: 10.1007/s10556-020-00766-z.
3. Budushee mirovogo rynka SPG. Retrieved March 17, 2021, from http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/3/490/
4. Mirovoy rynek szhizhennogo gaza: prosnushiyasya gigant. Retrieved March 14, 2021, from <https://www.dw.com/ru/мировой-рынок-сжиженного-газа-проснувшийся-гигант/a-47735120>.
5. **Kulagin, V.A., Mitrova, T.A.** (2015) Gazovyi rynek Evropy: utrachennyye illuzii i robkie nadezhdy. *Moskva: Institut energetiki NIU VShE/INEI RAN*, 86.
6. **Poleschuk, G.M.** (2018) SPG v Avstralii. *EKO-inform*, 4, 69-82. DOI: 10.30680/ESO0131-7652-2018-4-69-76.
7. **Valchuk, M.E.** Mirovoy rynek SPG: osobennosti formirovaniya i funktsionirovaniya. Retrieved March 14, 2021, from <http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2018/1/worldconomy/Valchuk.pdf>.
8. **Fedorova, Ye.B.** (2011) Sovremennoe sostoyanie i razvitie mirovoy industrii szhizhennogo prirodnogo gaza: tekhnologii i oborudovanie. *M.: RGU nefiti i gaza imeni I.M. Gubkina*, 159.
9. LNG MAP 2014 – Gas Infrastructure Europe. Retrieved March 16, 2021, from https://www.gie.eu/download/maps/2014/GLE_LNG_JUNE2014.pdf.
10. Shell LNG. Outlook 2020. Retrieved March 17, 2021, from https://www.shell.com/promos/overview-shell-lng-2020/_jcr_content.stream/1584588383363/7dbc91b9f9734be8019c850f005542e00cf8ae1e/shell-lng-outlook-2020-march.pdf.
11. Gas infrastructure Europe – LNG investment database. *April 2015, INEI, RAN*.
12. V Germanii lobbiruyut stroitelstvo SPG-terminala. Glavnyiy argument – politicheskiiy. 16.02.2018. Novosti. Sobyitiya. Retrieved March 16, 2021, from <https://www.fondsk.ru/news/2018/02/16/v-germanii-lobbiruyut-stroitelstvo-spg-terminala-glavnyj-argument-politicheskij-45605.html>.
13. **Kutuzova, M.** (2019) Zarubezhnye klienty «Gazproma» naraschivayut import SPG. *Neft i gaz, Pri-lozhenie 189*, 4.
14. (2016) LNG is the crossroads identifying key drivers and questions for an industry in flux. *Deloitte Center for Energy Solutions*, 22.
15. **Bondarenko, V.I. et al.** (2005) Energetika: istoriya, nastoyashee i budushee. T.I: Ot ognya i vody k elektrichestvu: v 4 T. *Kiev*, 304.
16. Dobyicha gaza v Ukraine. Retrieved March 18, 2021, from <https://zet.in.ua/statistika-2/energetika/dobyicha-gaza-v-ukraine/>.
17. **Martsinkevich, B.** Gazotransportnaya sistema Ukrainy i Evropy posle 2019 goda. *Geoenergetika*. Retrieved March 13, 2021, from <http://geoenergetics.ru/2016/11/16/gazo-transportnaya-sistema-ukrainy-i-evropa-posle-2019-goda/>.
18. Lavrenchenko, G.K. (2012) Aktualnye problemy proizvodstva i ispolzovaniya KPG i SPG. *Tekhnicheskieskie gazy*, 3, 2-10.
19. **Voloshin, V.S., Mnatsakanyan, V.G., Ryazan-tsev, G.B.** (2013) Analiticheskiiy obzor razlichnykh sposobov dobychi gazovykh istochnikov energii v Ukraine. *Visnyk priazovskogo derzhavnogo tekhnich-nogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 27, 234-240.
20. **Izotov, N.I.** (2014) Trebovaniya k kachestvu SPG za rubezhom. *Transport na alternativnom toplive*, 5 (41), 20-35.
21. **Vud, D., Mohatab, S.** Vzaimozamenaemost sortov prirodnogo gaza. *Rogtekh*, 62-65. Retrieved March 18, 2021, from <https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/112.pdf>.
22. **Gnedova, L.A., Gritsenko, K.A., Lapushkin, N.A. et al.** (2015) Analiz kachestva iskhodnogo syrya, primenyaemogo dlya polucheniya komprimirovannogo prirodnogo gaza. *Nauchno-tekhnicheskiiy sbornik «Vesti gazovoy nauki»*, 1 (21), 98-107.
23. **Kozlov, A.M., Karpov, A.B., Fedorova, E.B. et al.** (2015) Opredelenie energii – vazhnyi faktor pri realizatsii prirodnogo gaza. *NeftGazoKhimiya*, 4, 31-34.
24. (1998) Energiewirtschaft. Einfuhrung in Energie und Politik. *Oldenbourg Wissenschaftsverlag*. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783486794069>.
25. **Koyl, D., de la Vega, F.F., Durr, Ch.** Problemy kachestva prirodnogo gaza v industrii SPG. Retrieved March 11, 2021, from http://gazanaliz.ru/articles/PS4_7/PS4_7_Natural_gas_specification_challenges_RU.html.
26. **Bramoullé, Y., Morin, P., Capelle, J.-Y.** LNG quality and market flexibility challenges and solutions qualites de gnl et flexibilité de marche enjeux et perspectives. Retrieved March 14, 2021, from <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4215/innhold/LNG%20Conferences/2004/Data/Papers-PDF/PS3-1-Bra->

moull%C3%A9.pdf.

27. **Dobrota, Đ., Lalić, B., Komar, I.** (2013) Problem of Boil-off in LNG Supply Chain. *Transactions on maritime science*, 02: 91, 100.

28. **Leskonog, A.A., Churkin, G.Yu.** (2016) Osobennosti i osnovnye problemy obespecheniya promyshlennoy bezopasnosti terminalov szhizhennogo prirodnogo gaza. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti*, 12, 57-61.

29. (2015) Zakon Ukrainy «Pro rynek prirodnogo gazu». *Vidomosti Verkhovnoii Rady*, 27, 234.

30. **Samarskiy, S.** Goluboy ogonek. Ot chego zavisit kachestvo gaza, i kto ego kontroliruet. Retrieved March 18, 2021, from <https://oilpoint.com.ua/goluboj-ogonek-ot-cheho-zavisit-kachestvo-gaza-i-kto-ego-kontroliruet/>.

Received 12 April 2021

Approved 14 June 2021

Available in Internet 30 June 2021