

## РОЗДІЛ 3

ХОЛОДИЛЬНІ  
ТА СУПУТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.642.8; 546/21(038)

**Т. В. Дьяченко, О. О. Колесник**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна  
 e-mail: <sup>1</sup>victory04@yandex.ru, <sup>2</sup>kolesnik-sasha12@ukr.net  
 ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0001-9275-187X>; <sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0002-4407-359X>

**АЕРОГЕЛЬ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЄМНОСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

*Робота присвячена дослідженню різних типів ізоляції, які використовують в процесі виготовлення танків для метановозів. Розроблена методика розрахунків та проведені розрахункові дослідження добової випаровуваності та металоемності для п'яти типів ізоляції: порошково-вакуумної, екрано-вакуумної, пінополіуретану, піноскла та аерогелю. Аналіз результатів показав, що аергель є перспективним видом теплової ізоляції для використання в криогенних ємностях для транспортування зрідженого природного газу.*

**Ключові слова:** Зріджений природний газ – Теплова ізоляція – Танкер – Метановоз – Добова випаровуваність – Металоемність

**Т. В. Дьяченко, А. О. Колесник**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одеса, 65039, Україна

**АЭРОГЕЛЬ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЕМКОВЫХ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

*Робота посвящена исследованию различных типов изоляции, которые используют в процессе изготовления танков для метановозов. Разработана методика расчетов и проведены расчетные исследования суточной испаряемости и металлоемкости для пяти типов изоляции: порошково-вакуумной, экрано-вакуумной, пенополиуретана, пеностекла и аэрогеля. Анализ результатов показал, что аэрогель является перспективным видом тепловой изоляции для использования в криогенных емкостях для транспортировки сжиженного природного газа.*

**Ключевые слова:** Сжиженный природный газ – Тепловая изоляция – Танкер – Метановоз – м – Суточная испаряемость – Металлоемкость

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.5/2015.44796>

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**I. ВСТУП**

Зріджений природний газ (ЗПГ) є перспективним для використання в якості альтернативного палива у важкодоступних регіонах, де будівництво трубопроводів неможливе чи не рентабельне. Використання ЗПГ дуже ефективно для вирішення проблем постачання газу при нерівномірному газозоспоживанні, для зняття пікових навантажень.

Перспективність зрідженого природного газу базується на можливості його трансконтинентальних перевезень за допомогою крупнотонажних криогенних танкерів, а також по суші в залізничних та автомобільних цистернах. За прогнозами провідних організацій [1–4] попит на природний газ (ПГ) буде стабільно зростати до 2030 р.

(рис. 1). Наприклад, Японія за останні 30 років задовольняє 100 % своїх потреб в газі за рахунок зрідженого природного газу [5]. Сьогодні біля 23 % природного газу транспортується морським шляхом в якості ЗПГ [6].

В останні десятиліття технологічний розвиток промисловості орієнтовано на реалізацію заходів, спрямованих на економію енергетичних ресурсів і зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Надійність теплової ізоляції є однією з проблем при транспортуванні на далекі відстані. Якісна ізоляція значно зменшує втрати від випаровування цінних продуктів та за рахунок цього рівень забруднення навколишнього середовища. Крім того, неконтрольоване випаровування газу під час перевезення неприпустимо за прави

лами техніки безпеки.

Робота присвячена дослідженню різних видів теплової ізоляції та пошуку її нових видів, які дозволять значно зменшити об'єми викидів природного газу в атмосферу Землі при його транспортуванні.

## II. ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Природний газ відноситься до корисних копалин та утворюється в надрах землі при повільному анаеробному (без доступу повітря) розкладанні органічних речовин – у вигляді окремих скупчень (газові поклади) або в вигляді газової шапки нафтогазових родовищ, або в розчиненому стані в нафті або воді; часто є попутним газом при видобутку нафти; у пластових умовах (умовах залягання в земних надрах) знаходиться в газоподібному стані; існує також у вигляді природних газогідратів в океанах і зонах вічної мерзлоти материків.

Природний газ являє собою природну суміш газоподібних вуглеводнів, у складі якої переважає метан (80...98%), але в них зустрічаються також сірководень, азот, вуглекислота, водяні пари. ПГ не отруйний, проте при концентрації метану в повітрі більше 10% можлива ядуха внаслідок зменшення кількості кисню в повітрі та він становить значну пожежну небезпеку.

Природний газ є перспективним в якості пального, яке згодом замінить інші види палив. Він має найменший рівень шкідливих викидів (рисунк 2) [3] та створює низьке шумове забруднення двигунів [8]. Стиснутий метан (20...25 МПа) коштує в два рази дешевше бензину, подовжує ресурс двигуна. При спалюванні ПГ утворюється тільки вода і вуглекислий газ, у той час як при спалюванні нафтопродуктів і вугілля утворюються ще кіптява і зола. Крім того, емісія парникового вуглекислого газу при спалюванні природного газу найнижча, за що він отримав назву «зелене паливо» (рисунк 3).

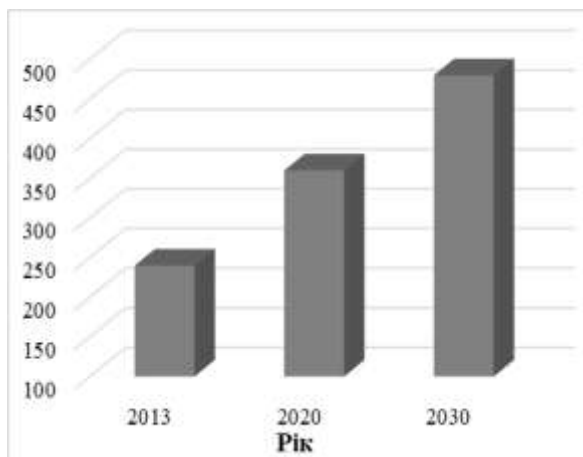


Рисунок 1 – Прогнози для споживання ЗПГ у світі [7], млн. тон на рік

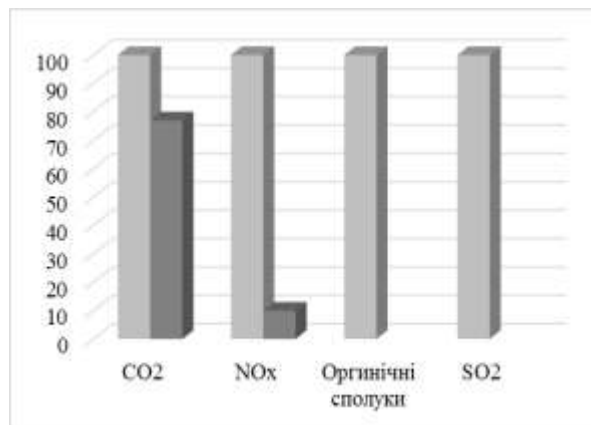


Рисунок 2 – Відсоткове співвідношення викидів при використанні дизельного палива та ЗПГ [9]

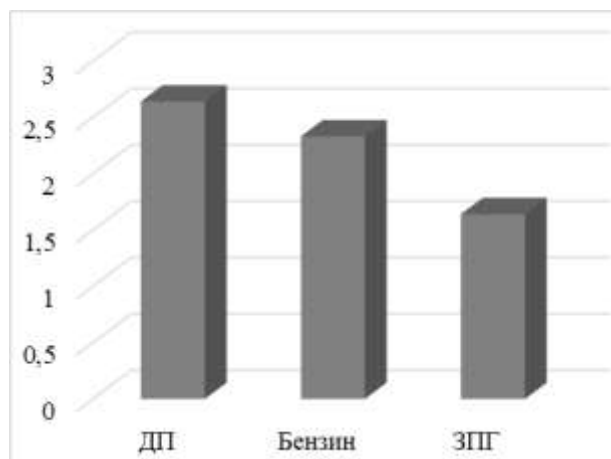


Рисунок 3 – Середня кількість викидів CO<sub>2</sub>, кг CO<sub>2</sub>/кг палива [11]

У світі близько половини поставок газу припадає на енергетичні компанії і комунальне господарство. Навіть якщо в будинку немає газової плити або газового водонагрівача, все одно світло і гаряча вода, швидше за все, отримані з використанням ПГ.

З природного газу можливо виробляти рідкі моторні палива за технологією gas-to-liquid (GTL). Вперше рідкі вуглеводні з синтез-газу отримали німецькі хіміки Франц Фішер і Ганс Тропш ще в 1923 році.

Для хімічної промисловості за схемою, схожою на процес Фішера-Тропша, з природного газу отримують метанол (CH<sub>3</sub>OH). Він використовується як реагент для боротьби з гідратними пробками, які утворюються в трубопроводах при низьких температурах. Метанол в свою чергу є сировиною для виробництва більш складних хімічних речовин: формальдегіду, ізоляційних матеріалів, лаків, фарб, клеїв, присадок для палива, оцтової кислоти та пластмас.

Шляхом декількох хімічних перетворень з природного газу отримують також мінеральні добрива. На першій стадії це аміак, який сам по собі є добривом.

Аміак – гарний холодоагент. Він використовується в промислових установках, а також в якості сировини для виробництва азотовмісних сполук: азотної кислоти, аміачної селітри, карбаміду. Ціаністий водень, що також отримується з аміаку, разом з ацетиленом служить вихідною сировиною для виробництва синтетичних волокон.

### III. ВИДИ ТАНКЕРІВ ТА ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗПГ

Усі судна-газовози можна розділити на три основні групи (рисунок 4) в залежності від тиску і температури вантажів, які суднові системи можуть підтримувати у вантажних танках в процесі перевезення:

- напірного типу (без охолодження вантажу);
- напірного типу (з частковим охолодженням вантажу);
- рефрижераторного типу (з повним охолодженням вантажу, коли тиск насичених парів близький до атмосферного).

За останні 50 років було випущено більш ніж 170 видів танкерів. Вкладні танки мають різноманітну форму, включаючи сферичну, циліндричну та призматичну [5, 12]. На рис. 5 зображений розподіл світового флоту танкерів ЗПГ за даними 2011 року [6]. Теплова ізоляція є запорукою економічно оптимальних умов транспортування криогенних рідин та має забезпечувати втрати ЗПГ не більше 0,1 %/доба [3].

В суднобудуванні в якості ізоляції використовується ряд матеріалів [13]:

- тверді, які можуть витримувати значні навантаження і грають роль підтримки танків в корпусі судна. Це деякі породи дерева (бальса, азоб) або ж пластики з високою щільністю. Всі ці матеріали повинні витримувати навантаження, які знає танк при термальних впливах;
- еластичні, такі як мінеральна вата або пористі пластики низької щільності. Еластичні матеріали наносяться на поверхню танка за допомогою способів, які забезпечують надійне кріплення ізоляції до поверхні танка або ж до вторинного бар'єра;
- у вигляді порошку (наприклад, перліт). При використанні порошкових матеріалів весь простір навколо танка має бути заповнено ізоляційним матеріалом. Матеріали такого типу дуже часто використовуються для ізоляції танків на суднах, що перевозять криогенну рідину (зріджений природний газ) під атмосферним тиском.

В результаті розвитку технологій з'являються нові та вдосконалені типи ізоляційних матеріалів. Одним з таких є аерогелі – це гелі, в яких рідка фаза повністю заміщена газоподібною. Такі матеріали мають рекордно низьку щільність і демонструють ряд унікальних властивостей: твердість, прозорість, жароміцність, надзвичайно низьку теплопровідність і т.п. Поширені аерогелі на основі аморфного діоксиду кремнія, глинозему, а також

оксидів хрому та олова. На початку 1990-х отримані перші зразки аерогелю на основі вуглецю.



Рисунок 4 – Типи газовозів [13]

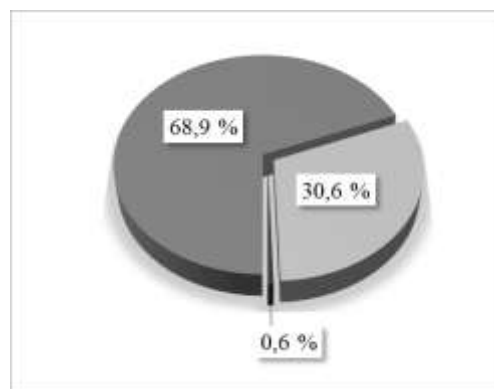


Рисунок 5 – Розподіл світового флоту танкерів ЗПГ за типами вантажних систем [6]  
 ■ – мембранні; ■ – сферичні; ■ – інші



Рисунок 6 – Аерогель: а – структура; б – зовнішній вигляд; в – основна властивість аерогелю – висока ізоляційна якість при малій товщині

Аерогель – ізоляційний матеріал майбутнього. Сьогодні його випробовують в якості матеріалу для космічних костюмів для позбавлення болю у спині космонавтів, які з'являються в наслідок дов-

гострокувого перебування у невагомості [14–16].

Аерогелі відносяться до класу мезопористих матеріалів, у яких порожнини займають не менше 50 %, а як правило, 90-99 % обсягу, а щільність становить до 150 кг/м<sup>3</sup>. За структурою аерогелі являють собою деревоподібну мережу з об'єднаних в кластери наночастинок розміром 2-5 нм і пор розмірами до 15 нм (рисунок 6).

В промисловості використовують три типи аерогелів: на базі силікагелів, вуглеводнів і оксидів металів. Найчастіше в експериментах використовують перший тип [17].

#### IV. ВИПАРОВУВАНІСТЬ І МЕТАЛОЄМНІСТЬ ТАНКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПУ ІЗОЛЯЦІЇ

В процесі досліджень були розглянуті три типи рефрижераторних танкерів: сферичні, циліндричні та призматичні [5, 12] для загального об'єму рідкого метану у ємностях  $V = 130\,000\text{ м}^3$  (табли-

ця 1). Розроблена методика розрахунку відсотка випаровування метану на добу та металоємність танків для п'яти типів ізоляцій: розрахунку відсотка випаровування метану на добу та металоємність танків для п'яти типів ізоляцій: порошково-вакуумна; екрано-вакуумна; пінополеуретан; піноскло та аерогель (таблиця 2).

Попередні розрахунки показали, що завдяки особливості конструкції циліндричних ємностей коефіцієнт випаровування у них найменший серед інших типів танків, але металоємність значно вища. Тому циліндричні ємності далі не розглядали.

Аналіз результатів для трьох видів танків та товщини ізоляції 200 мм (рисунок 7 і 8) дозволив визначити, що для екрано-вакуумної ізоляції добо-ві втрати цінного метану найменші, але аерогелі-ва ізоляція має найнижчу вагу за рахунок невеликої густини (у розрахунку було прийнято 40 кг/м<sup>3</sup>, таблиця 2). Однак, у екрано-вакуумної ізоляції є один вагомий недолік – складність якісної конструкції при створенні танків великих розмірів.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку

| Назва параметру              | Сферичний | Призматичний  | Циліндричний               |
|------------------------------|-----------|---|----------------------------|
| габаритні розміри ємності, м | $d = 44$  | $b \times c \times h = 40,2 \times 30 \times 22$                  | $d \times h = 3 \times 22$ |
| для трапеції, м              | –         | $a \times b \times d \times h = 26 \times 30 \times 25 \times 17$ | –                          |
| кількість ємностей, шт.      | 4         | 6   | 150                        |

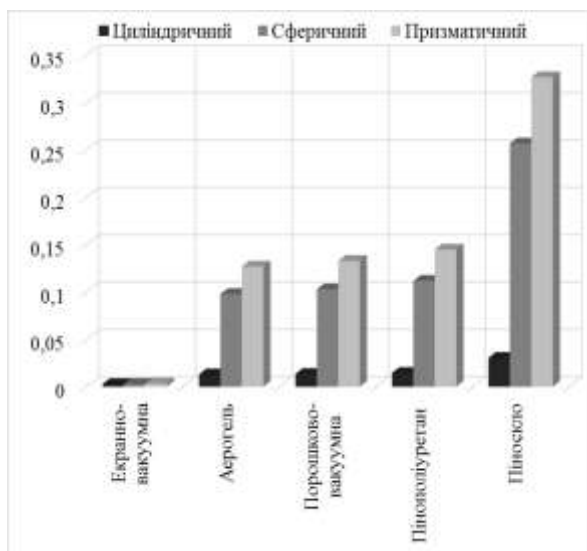
Таблиця 2 – Характеристики ізоляційних матеріалів [20–25]

| Назва параметру                             | Екрано-вакуумна | Аерогель      | Порошково-вакуумна (перлітно-вакуумна) | Пінополіуретан | Піноскло    |
|---|-----------------|---------------|--|----------------|-------------|
| Щільність, кг/м <sup>3</sup>                | 300...700       | 30...150      | 75...150                               | 26...300       | 110...200   |
| Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)       | –               | 0,017...0,019 | 0,0177                                 | 0,019...0,035  | 0,04...0,08 |
| Коефіцієнт теплового випромінювання екранів | 0,04            | –             | –                                      | –              | –           |

Третє місце за обома показниками посідає класична порошково-вакуумна ізоляція. Порівняння її з аерогелем показує деякі переваги аерогелю: відсутня необхідність створювати вакуум у ізоляційному просторі; при порушенні цілісності оболонки ємності до 90 % пор аерогелю залишаються закритими. При цьому ефективний коефіцієнт теп-

лопровідності аерогелю збільшується незначно, тоді як для порошково-вакуумної ізоляції коефіцієнт теплопровідності збільшується у ~4 рази.

Пінополіуретан дещо гірший, ніж порошково-вакуумна ізоляція. Піноскло є найгіршою ізоляцією за всіма показниками.



**Рисунок 7** – Добове випаровуваність метану в % (товщина ізоляції 200 мм)

Дослідження вартості різних типів ізоляції показують, що вартість порошкової ізоляції найнижча. Тому перлітовий пісок – один з найбільш затребуваних матеріалів, які використовуються в криогенній техніці. Інші види значно дорожчі. Наприклад, піноскло дорожче в 5...8 разів. Вартість аерогелю в даний час близька до вартості екранно-вакуумної ізоляції. Однак нові розробки, які були проведені в Китаї, показали, що масове виробництво цієї ізоляції дозволить значно знизити його ціну [24]. В перспективі аерогель зможе повністю замінити перліт в виробництві криогенних ємностей.

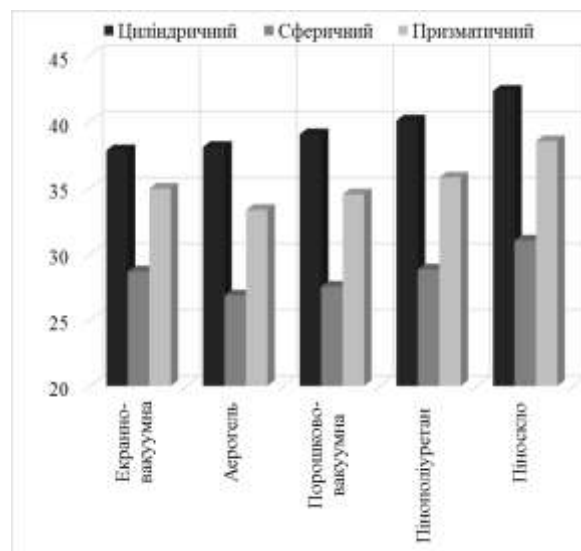
## ВИСНОВКИ

Використання зрідженого природного газу базується на можливості його перевезень на значні відстані. Для цього використовують крупнотонажні криогенні танкери, які обладнані низькотемпературною теплоізоляцією. Дослідження різних видів ізоляції та пошук нових її видів показали, що аерогель є перспективним типом ізоляції ємностей для перевезення ЗПГ.

Масове виробництво аерогелю значно знизить його ціну, та в перспективі повністю замінить перліт в виробництві криогенних ємностей. Це дозволить до 2 % зменшити об'єми викидів природного газу в атмосферу Землі при його транспортуванні та на 2,5...3,5 % зменшити масу танків, що в цілому знизить витрати на транспортування корисного вантажу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. – М.: Изд-во «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009. – 640 с.
2. Ананенков А.Г. Сжиженный природный газ: некоторые оценки и перспективы // Газовая промышленность. Спецвыпуск «Производство, транспорт...



**Рисунок 8** – Матеріаломісткість в кг / м<sup>3</sup> рідкого метану (товщина ізоляції 200 мм)

портировка, хранение и использование сжиженного природного газа». – 2011. – № 668. – С. 2-3.

3. Басарыгин М.Ю., Грешняков М.И. Организация работ в области производства и морской транспортировки сжиженного природного газа в ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. Спецвыпуск «Производство, транспортировка, хранение и использование сжиженного природного газа». – 2011. – № 668. – С. 28-40.

4. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://yearbook.enerdata.ru/natural-gas-consumption-in-the-world.html>.

5. Лавренченко Г.К., Копытин А.В. Криогенные комплексы производства и отгрузки СПГ, его приема, хранения и регазификации в системе международной торговли // Технические газы. – 2010. – № 3. – С. 2-19.

6. Воробьев А.М. Мировой флот танкеров СПГ в условиях современного рынка природного газа // Газовая промышленность. Спецвыпуск «Производство, транспортировка, хранение и использование сжиженного природного газа». – 2011. – № 668. – С. 41-43.

7. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.vestifinance.ru/infographics/3400>.

8. Толочкин О.Ю. Использование СПГ в качестве моторного топлива // Газовая промышленность. Спецвыпуск «Производство, транспортировка, хранение и использование сжиженного природного газа». – 2011. – № 668. – С. 77-78.

9. Николаева М.В. СПГ как судовое топливо // Газовая промышленность. Спецвыпуск «Производство, транспортировка, хранение и использование сжиженного природного газа». – 2011. – № 668. – С. 64-65.

10. МакИнтош С. Эндрю, Ноубл Г. Питер, Роквелл Джим, Рамлахан Д. Карл. Морской транспорт природного газа // Нефтегазовое обозрение. – 2008. – С. 58-66.

11. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.krone->

trailer.com/русский/kompanija/filosofija-i-ehkologichnost/racionalnoe-ispolzovanie-ehnergii/raspredelenie-ehmissii-co2.

12. **Усюкин И.П.** Техника низких температур. Атлас. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 244 с.

13. **Баскаков С.П.** Перевозка сжиженных газов морем. – СПб.: Судостроение, 2001. – 272 с.

14. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hi-news.ru/space/kosmonavtov-odenut-v-oblegayushhie-kostyumu.html>.

15. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hi-news.ru/space/predstavlen-legkij-i-udobnyj-skafandri-kosmicheskogo-turista.html>.

16. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tauga.info/news/2015/07/23/~122440>.

17. **Скоренко Т.** Когда воздух кажется тяжелым // Популярная механика. – 2013. – № 6. – С. 20-26.

18. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

19. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.unitednuclear.com>.

20. **Шумилин Н.** Экранно-вакуумная изоляция – настоящее и будущее криогенной техники // Gasworld. – 2015. – Вып. 43. – С. 38-40.

21. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/474028>.

22. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C>

23. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. **М.П. Малкова**. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 431 с.

24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://srbu.ru/stroitelnye-materialy/81-penopoliuretana-harakteristiki.html#p3>.

25. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE>.

Отримана в редакції 24.07.2015, прийнята до друку 03.09.2015

**T. V. Diachenko<sup>1</sup>, A. O. Kolesnik<sup>2</sup>**

Odessa National Academy of Food Technologies, 112, Kanatna Str., Odessa, 65039, Ukraine

e-mail: <sup>1</sup>victory04@yandex.ru, <sup>2</sup>kolesnik-sasha12@ukr.net

ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0001-9275-187X>; <sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0002-4407-359X>

## AEROGEL AS A PERSPECTIVE MATERIAL FOR ISOLATION PRODUCTION OF LIQUEFIED NATURAL GAS TRANSPORT CAPACITIES

*The paper is devoted to research of different types of isolation which is applied in the production process of tanks for methane carriers. The calculations technique is developed and settlement processes of a daily evaporability and metal consumption for five types of isolation are conducted: the powder and vacuum; the screen and vacuum; the polyurethane foam; the glass foam and the aerogel. The analysis of results has shown that the aerogel is a perspective view of thermal isolation for use in cryogenic capacities for liquefied natural gas transportation.*

**Key words:** Liquefied natural gas – Thermal insulation – Tanker – Methane Carrier – Daily evaporation – Metall Consumption

### REFERENCES

1. **Rogachevsky B.V.** 2009. The Liquefied Hydrocarbonic Gases // Moscow: Izd-vo "Neft' i Gaz". – 640 p. (in Russian)

2. **Ananikov A.G.** 2011. The Liquefied Natural Gas: Some Estimates and Prospects // Gazovaya Promishlennost'. Spetsialny Vipusk "Proizvodstvo, transportirovka, khranenie I ispolzovanie sgizennogo prirodnogo gaza", No. 668, 2-3. (in Russian)

3. **Basargin M. Yu., Greshnyakov M.I.** 2011. The Works Organization in the Field of Production and Sea Transportation of the Liquefied Natural Gas in Gazprom JSC // Gazovaya Promishlennost'. Spetsialny Vipusk "Proizvodstvo, transportirovka, khranenie I ispolzovanie sgizennogo prirodnogo gaza", No. 668, 28-40. (in Russian)

4. [Electronic source]. Access: <https://yearbook.enerdata.ru/natural-gas-consumption-in-the-world.html>.

5. **Lavrenchenko G.K., Kopytin A.V.** 2010. Cryogenic Complex of LNG Production and Uploading, its Acceptance, Storage and Regasification in the International Trade System // Tekhnicheskie Gazy [Industrial Gases], No. 3, 2-19. (in Russian)

6. **Vorobyev A.M.** 2011. World Fleet of the LNG Tankers in the Conditions of the Modern Market of Natural Gas // Gazovaya Promishlennost'. Spetsialny Vipusk "Proizvodstvo, transportirovka, khranenie I ispolzovanie sgizennogo prirodnogo gaza", No. 668, 41-43. (in Russian)

7. [Electronic source]. Access: <http://www.vestifinance.ru/infographics/3400>.

8. **Tolochkin O.Yu.** 2011. Use of LNG as Motor Fuel // Gazovaya Promishlennost'. Spetsialny Vipusk "Proizvodstvo, transportirovka, khranenie I ispolzovanie sgizennogo prirodnogo gaza", No. 668, 77-78. (in Russian)

9. **Nikolaeva M.V.** 2011. LNG as Ship Fuel. *Gazovaya Promishlennost'*. Spetsialny Vipusk "Proizvodstvo, transportirovka, khranenie i ispolzovanie sgizennogo prirodnogo gaza", No. 668, 64-65 (in Russian)
10. **MacIntosh S. Anrue, Nouble G. Piter, Rokvell Jim, Ramlahan D. Karl.** 2008. Sea Transport of Natural Gas. *Neftegazovoe obozrenie*, 58-66. (in Russian)
11. [Electronic source]. Access: <http://www.krone-trailer.com/русский/компания/философия-и-экологичность/рациональное-использование-энергии/распределение-емиссии-co2>.
12. **Usukin I.P.** 1977. Equipment of Low Temperatures. Atlas. Moscow: Pischevaya promishlennost', 244 p. (in Russian)
13. **Baskakov S.P.** 2001. Transportation of the Liquefied Gases by the Sea. Sant-Peterburg.: Sudistroenie, 272 p. (in Russian)
14. [Electronic source]. Access: <http://hi-news.ru/space/kosmonavtov-odenut-v-oblegayushhie-kostyumi.html>.
15. [Electronic source]. Access: <http://hi-news.ru/space/predstavlen-legkij-i-udobnyj-skafandr-kosmicheskogo-turista.html>.
16. [Electronic source]. Access: <http://tayga.info/news/2015/07/23/~122440>.
17. **Skorenko T.** 2013. When Air Seems Heavy. *Populyarnaya mekhanika*, No 6, 20-26. (in Russian)
18. [Electronic source]. Access: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
19. [Electronic source]. Access: <https://www.unitednuclear.com>.
20. **Shumilin N.** 2015. Screen and Vacuum Isolation – the Present and the Future of Cryogenic Equipment. *Gasworld*, Vol. 43, 38-40. (in Russian)
21. [Electronic source]. Access: <http://bankpatentov.ru/node/474028>.
22. [Electronic source]. Access: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C>.
23. Handbook of Physical and Technical Fundamentals of Cryogenics. 1985. Ed. **M.P. Malkov**. – Moscow: Energoatomizdat. – 431 p. (in Russian)
24. [Electronic source]. Access: <http://srbu.ru/stroitelnye-materialy/81-penopoliuretana-harakteristiki.html#p3>.
25. [Electronic source]. Access: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE>.

Received 24 July 2015

Approved 03 September 2015

Available in Internet 26.10.2015