

**ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ
НА LNG-ТЕРМІНАЛАХ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ**

Є.Л. Шкурко

старший викладач кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій,
Інститут управління, технологій та права Державного університету інфраструктури
та технологій, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5676-4566

Анотація

У статті представлено дослідження, яке включає аналіз технологічних рішень, переваги та обмеження їх впровадження на терміналах, а також розробку алгоритму підвищення продуктивності вантажних операцій зі зрідженим газом. Автором було проведено дослідження різноманітних технологій, що можуть бути впроваджені на LNG-терміналах для оптимізації вантажних операцій, зокрема сучасних автоматизованих систем, робототехніки, інноваційних методів розвантаження та організаційних підходів. Також було проаналізовано фактори, які впливають на успішність їх імплементації. Автором було виділено передбачені технічні та фінансові складнощі, що можуть виникнути під час впровадження нових технологій на LNG-терміналах. З метою досягнення встановленої мети автором було розроблено алгоритм впровадження технологічних рішень для підвищення продуктивності вантажних операцій з зрідженим газом на морському порту. Алгоритм включає послідовні кроки та етапи, які допоможуть забезпечити ефективну реалізацію нових технологій на терміналі. Проведене дослідження дало змогу виділити ключові показники, що впливають на продуктивність вантажних операцій на LNG-терміналах у морських портах. Автор аналізує вплив технологічних рішень на різні аспекти роботи терміналу, такі як швидкість розвантаження, безпека, витрати тощо. Для підтвердження встановленої гіпотези щодо ефективності впровадження технологічних рішень для підвищення продуктивності вантажно-розвантажувальних операцій на LNG-терміналі морського порту було проведено порівняння традиційного та інноваційного сценаріїв розвантаження контейнерів з використанням автоматизованих систем. На основі результатів дослідження було встановлено ефективність впровадження технологічних інновацій, що дозволило значно підвищити продуктивність вантажно-розвантажувальних операцій контейнерів із зрідженим газом. Узагальнюючи, дане дослідження надає важливу інформацію про технологічні рішення для підвищення продуктивності вантажних операцій на LNG-терміналах у морських портах. Впровадження автоматизованих систем та інноваційних методів розвантаження дозволяє досягти ефективного та безпечного перевантаження зрідженого газу, що є критичним у забезпеченні ефективної роботи морських портів та забезпеченні стабільного постачання LNG.

Ключові слова: технологічні рішення, підвищення продуктивності, вантажно-розвантажувальні роботи, LNG-термінали, морські порти, автоматизовані системи, зріджений газ, інноваційні методи, оптимізація процесів, контейнери зі зрідженим газом.

**TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENHANCING PRODUCTIVITY
OF CARGO HANDLING OPERATIONS AT LNG TERMINALS
IN MARITIME PORTS**

Ye.L. Shkurko

Senior Lecturer at the Department of Business Logistics and Transport Technologies,
Institute of Management, Technologies and Law of State University of Infrastructure
and Technologies, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5676-4566

Summary

The article presents a study that includes an analysis of technological solutions, their advantages, and limitations in their implementation at terminals, as well as the development of an algorithm to enhance the productivity of cargo operations involving liquefied natural gas (LNG). The author conducted research on various technologies that can be implemented at LNG terminals to optimize cargo operations, including modern automated systems, robotics, innovative unloading methods, and organizational approaches. Factors influencing the success of their implementation were also analyzed. The author identified anticipated technical and financial challenges that may arise during the adoption of new technologies at LNG terminals. With the aim of achieving the set goal, the author devised an algorithm for implementing technological solutions to increase productivity in cargo operations involving liquefied gas at a maritime port. The algorithm comprises sequential steps and stages that will help ensure the efficient implementation of new technologies at the terminal. The conducted research identified key indicators affecting the productivity of cargo operations at LNG terminals in maritime ports. The author examines the impact of technological solutions on various aspects of terminal operations, such as unloading speed, safety, and costs, among others. To confirm the hypothesis regarding the effectiveness of implementing technological solutions to enhance the productivity of cargo handling operations at an LNG terminal in a maritime port, a comparison was made between traditional and innovative scenarios for unloading containers using automated systems. Based on the research results, the efficiency of implementing technological innovations was established, leading to a significant increase in the productivity of container unloading operations involving liquefied gas. In summary, this study provides crucial information about technological solutions to enhance the productivity of cargo operations at LNG terminals in maritime ports. The implementation of automated systems and innovative unloading methods enables efficient and safe handling of liquefied gas, which is critical to ensuring the effective operation of maritime ports and maintaining a stable supply of LNG.

Key words: technological solutions, productivity enhancement, cargo handling operations, LNG terminals, maritime ports, automated systems, liquefied gas, innovative methods, process optimization, containers with liquefied gas.

Постановка проблеми. Зі зростанням популярності природного газу як більш екологічного джерела енергії збільшується попит на зріджений природний газ (LNG) і, відповідно, збільшується кількість LNG-терміналів по усьому світу. При цьому вантажно-розвантажувальні роботи на таких терміналах стикаються з проблемою забезпечення високої продуктивності та ефективності операцій. Зростаючий обсяг транспортованого LNG ставить перед терміналами необхідність удосконалення робочих процесів та використання новітніх технологічних рішень для оптимізації діяльності. Відмінність фізичних властивостей рідкого газу порівняно з іншими вантажами створює додаткові виклики для забезпечення безпеки та надійності процесів розвантаження та завантаження. Таким чином, необхідні новітні наукові дослідження і розробки технологічних інновацій, які сприятимуть підвищенню ефективності та продуктивності вантажно-розвантажувальних робіт на LNG-терміналах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки спостерігається збільшений інтерес до досліджень і розробок у сфері технологічних рішень для підвищення продуктивності на LNG-терміналах. Дослідники і інженери [1–10] постійно шукають нові підходи та інноваційні технології для оптимізації процесів вантажно-розвантажувальних робіт з метою забезпечення ефективності, безпеки та зниження витрат, зокрема автоматизацію процесів, використання даних для прогнозування, застосування робототехніки та використання екологічно чистих джерел енергії тощо.

Дослідження з цієї теми охоплюють різноманітні аспекти, включаючи використання автоматизованих систем, робототехніки, вдосконалення систем управління, аналіз даних та штучний інтелект, впровадження нових матеріалів у конструкції обладнання та багато іншого.

Незважаючи на значний прогрес у цій області, ще існує низка невирішених питань, що потребують додаткового дослідження та обговорення. Однією з таких невирішених частин є вплив технологічних рішень інноваційного та організаційного характеру на продуктивність вантажних операцій на LNG-терміналах у морському порту. До цього моменту обмежений час та наявні ресурси унеможливають повний огляд та ретельний аналіз цього питання. Тому у даній науковій статті ми прагнемо проаналізувати останні дослідження та публікації з підвищення продуктивності вантажно-розвантажувальних робіт на LNG-терміналах з акцентом на важливість процесу підвищення продуктивності вантажних операцій у морських портах та можливих шляхах подальших досліджень.

Мета статті – проаналізувати технологічні рішення, спрямовані на підвищення продуктивності вантажно-розвантажувальних робіт на LNG-терміналах, визначити переваги і обмеження використання автоматизованих систем управління та робототехніки на LNG-терміналах і їх вплив на ефективність робочих процесів, виявлення можливостей використання штучного інтелекту для аналізу даних та прогнозування навантаження, що допоможе планувати роботу терміналу більш ефективно, розглянути новітні розробки матеріалів та технологій для збільшення продуктивності вантажно-розвантажувальних механізмів, що дозволить знизити час робочих циклів і збільшити завантаження.

Виклад основного матеріалу. У сучасному світі, де розвиток технологій стає визначальним фактором економічного зростання та конкурентоспроможності,

вантажно-розвантажувальні роботи на LNG-терміналах стають однією з ключових складових ефективного та безперебійного забезпечення енергетичних потреб суспільства.

Зростаюча глобальна залежність від зрідженого природного газу (LNG) як одного з найбільш чистих видів палива призводить до збільшення обсягів його транспортування та зберігання. Завдяки своїм характеристикам LNG знаходить все більше застосувань, і термінали для його розвантаження стають стратегічно важливими об'єктами [8]. Проте зростання обсягів робіт на таких терміналах ставить перед виробниками техніки та фахівцями завдання постійного вдосконалення і оптимізації процесів, що дозволить досягти максимальної продуктивності та безпеки роботи.

Підвищення продуктивності на LNG-терміналах має прямий позитивний вплив на економіку країни, забезпечуючи надійне забезпечення енергетичних потреб, розвиток галузей, пов'язаних із зрідженим газом, а також зменшення залежності від інших джерел енергії [3].

Аналіз технологічних рішень, спрямованих на підвищення продуктивності вантажно-розвантажувальних робіт на LNG-терміналах, включає в себе використання різноманітних інновацій, автоматизації процесів та впровадження передових технологій (табл. 1).

Застосування технологічних рішень на LNG-терміналах має як переваги, так і обмеження, які можуть впливати на ефективність робочих процесів.

Переваги застосування технологічних рішень на LNG-терміналах [5]:

1. Підвищення продуктивності. Автоматизація та оптимізація робочих процесів за допомогою штучного інтелекту та робототехніки дозволяють збільшити швидкість та ефективність навантаження та розвантаження LNG, що зменшує час робочих циклів.

2. Зниження ризиків. Використання автоматизованих систем і дронів допомагає знизити ризики для робітників під час вантажно-розвантажувальних операцій та моніторити стан обладнання для попередження можливих аварій.

3. Оптимізація логістики. Аналітика даних, включаючи дані від дронів та сенсорів, допомагає оптимізувати логістичні ланцюги, планувати маршрути та забезпечувати своєчасну доставку газу.

4. Підвищення точності прогнозів. Використання штучного інтелекту для аналізу великого обсягу даних дозволяє покращити прогнозування попиту на газ та навантаження, що допомагає планувати робочі процеси з урахуванням реальних потреб.

Обмеження застосування технологічних рішень на LNG-терміналах [2]:

1. Висока вартість впровадження. Впровадження технологічних рішень, таких як автоматизація та робототехніка, може знадобитися значних інвестицій, що може бути обмеженням для деяких LNG-терміналів.

2. Складність інтеграції. Інтеграція нових технологій з вже існуючими системами може бути складною і вимагати додаткових зусиль для забезпечення сумісності та ефективності.

3. Потреба у підготовці персоналу. Впровадження автоматизованих систем може вимагати підготовки персоналу для коректного використання та обслуговування нових технологій.

Таблиця 1

**Технологічні рішення щодо підвищення рівня продуктивності
вантажно-розвантажувальних робіт на LNG-терміналах**

| № | Технологічні рішення | Переваги | Застосування | |
|---|---------------------------------------|--|--|---|
| 1 | Автоматизація | Автоматизовані системи управління | Керування технічними процесами вантажних операцій | |
| | | Робототехніка | Автоматизована розвантажувальна техніка | |
| | | Автономні транспортні засоби | Вантажні маніпулятори та транспортні засоби для переміщення контейнерів та вантажу | |
| 2 | Контроль і аналіз даних | Сенсорні системи | Системи моніторингу рівня, тиску, температури тощо | |
| | | Інтернет речей | Збір та обробка даних про робочі процеси | |
| | | Аналітика даних та прогнозування | Оптимізація розкладу робіт та ресурсного планування | |
| 3 | Використання штучного інтелекту (ШІ) | Прогнозування попиту | Прогнозування навантаження і попиту | |
| | | Автоматизація процесів розвантаження | Ефективне планування ресурсів | на газ для оптимізації запасів та складських просторів |
| | | | Зниження ризику надлишку/недостачі | Розробка стратегій розвитку та логістичних рішень на основі аналізу прогнозованих даних |
| | | Аналітика даних та планування | Швидкість та ефективність операцій | Автоматизоване розвантаження і завантаження LNG-суден та контроль за процесами |
| | | | Зниження ризику для робітників | Використання автономних роботів для безпечного та швидкого розвантаження |
| | | Виявлення тенденцій споживання | Обґрунтоване прийняття рішень | Аналіз даних з дронів для оптимізації логістичних ланцюгів та транспортування газу |
| 4 | Інновації в навантажувальних системах | Супершвидке навантаження (Top Loading) | Ефективне розвантаження LNG з танкерів | |
| | | Навантаження замкненим циклом | Мінімізація випаровування під час розвантаження | |
| | | Автоматизовані системи | Оптимізація процесів навантаження та розвантаження | |

Джерело: розроблено автором на основі [1; 7; 10]

4. Вразливість до кібератак. Використання штучного інтелекту та інших автоматизованих систем може зробити термінали більш вразливими до кібератак та несанкціонованого доступу, що потребує додаткових заходів забезпечення кібербезпеки.

При впровадженні технологічних рішень на LNG-терміналах слід урахувувати ці переваги та обмеження, а також забезпечувати належну підготовку та інтеграцію систем, щоб досягти оптимальної ефективності робочих процесів та підвищити безпеку операцій.

У сучасному глобальному енергетичному ландшафті LNG-термінали у морських портах займають ключову роль у забезпеченні безпечного, ефективного та швидкого обслуговування різноманітних LNG-суден і навантаження/розвантаження зрідженого природного газу (LNG). З підвищенням світового попиту на газ тиск на термінали збільшується, що вимагає розробки інноваційних технологічних рішень для підвищення продуктивності та забезпечення ефективності вантажно-розвантажувальних робіт.

Продуктивність вантажних операцій на LNG-терміналах у морських портах може підвищуватись за рахунок впровадження різноманітних технологічних та організаційних рішень. Ось декілька з них [9]:

1. Автоматизовані системи розвантаження та підйому. Впровадження автоматизованих систем розвантаження (наприклад, кранові системи або рухомі конвеєри) дозволяє знизити час вантажних операцій, уникнути затримок і забезпечити більш ефективний рух вантажу.

2. Електричні приводи. Застосування електричних приводів на кранах та іншому обладнанні допомагає знизити шум, забруднення та викиди, а також покращити точність та реакцію обладнання.

3. Робототехніка. Використання роботів для вантажних операцій може допомогти підвищити продуктивність, особливо в умовах, коли потрібна повторювана та точна робота, наприклад, упакування або маніпулювання контейнерами.

4. Аналітика даних та ШІ. Збір та аналіз даних про продуктивність, час виконання операцій, навантаження та інші параметри дозволяє ідентифікувати потенційні затримки, оптимізувати розклади робіт, планувати затримки та знизити час робочих циклів.

5. Застосування новітніх матеріалів. Використання новітніх матеріалів, таких як композити або алюмінієві сплави, може знизити вагу обладнання, що сприяє підвищенню продуктивності руху вантажів та зниженню витрат палива.

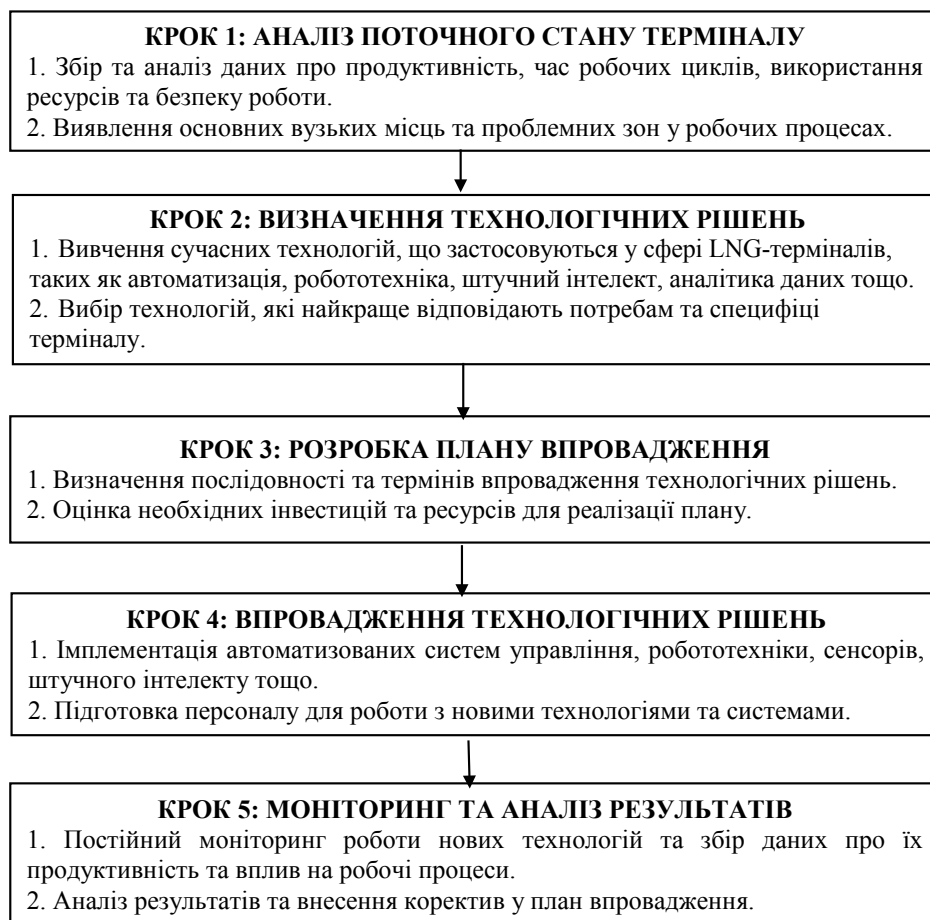
6. Підвищення кваліфікації персоналу. Навчання та підвищення кваліфікації персоналу допомагають забезпечити більш ефективне та безпечне виконання вантажних операцій, а також більш ефективне використання обладнання.

7. Оптимізація логістичних процесів. Оптимізація логістичних процесів та координація між різними етапами вантажних операцій дозволяють уникати зайвих затримок та оптимізувати роботу терміналу.

Ці рішення можуть спільно або окремо сприяти підвищенню продуктивності вантажних операцій на LNG-терміналах у морських портах, забезпечуючи більш ефективний та безпечний рух вантажів та зниження часу робочих циклів.

Процес впровадження технологічних рішень для підвищення продуктивності вантажних операцій на LNG-терміналі у морському порту може бути

візуалізований через алгоритм, який наведено на рис. 1. Цей алгоритм дозволяє систематично і поетапно впроваджувати нові технології на терміналі, забезпечуючи ефективно та безперебійне функціонування LNG-терміналу та збільшуючи його продуктивність. Кожен крок алгоритму покладається на науковий аналіз та практичний досвід для досягнення максимальних переваг та оптимального результату на користь енергетичного ринку та загальної економіки.



*Рис. 1. Алгоритм впровадження технологічних рішень для підвищення продуктивності вантажних операцій на LNG-терміналі у морському порту
Джерело: розроблено автором на основі [6; 10]*

Впровадження технологічних рішень у робочі процеси LNG-терміналу в морському порту сприятиме підвищенню продуктивності у таких аспектах [4]:

1. Зниження часу робочих циклів завдяки автоматизації та робототехніці, що допоможе збільшити кількість навантажувальних/розвантажувальних операцій за один період.

2. Оптимізація використання ресурсів, наприклад, ефективного використання палива та електроенергії, що знижує витрати та покращує енергоефективність.

3. Вдосконалення безпеки роботи завдяки використанню сенсорів, штучного інтелекту та аналізу даних для виявлення потенційних небезпек та аварійних ситуацій.

4. Оптимізація логістичних процесів та планування робочих операцій з використанням аналітики даних, що сприятиме точнішому прогнозуванню попиту та підвищить ефективність роботи терміналу.

У таблиці 2 приведені ключові показники, які впливають на продуктивність вантажних операцій на LNG-терміналах у морських портах. Кожен показник супроводжується описом, який висвітлює його значення та взаємозв'язок з продуктивністю робочих процесів.

Таблиця 2

**Показники підвищення продуктивності вантажних операцій
на LNG-терміналах у морських портах**

| Показник підвищення продуктивності | Опис показника | Вплив на продуктивність |
|---|--|---|
| Зниження часу розвантаження | Скорочення часу вивантаження з судна | Збільшення обсягу вивантаження за одиницю часу |
| Підвищення швидкості роботи | Збільшення швидкості переміщення контейнерів або розвантажувального обладнання | Зниження часу на завершення вантажних операцій |
| Збільшення кількості операцій за одиницю часу | Збільшення обсягу операцій, що виконуються одночасно | Підвищення загального вантажного обігу |
| Оптимізація транспортування | Оптимальне планування маршрутів і навантаження транспортних засобів | Зменшення витрат на транспортування та час доставки |
| Ефективне використання ресурсів | Оптимізація використання робочої сили, обладнання та матеріалів | Зниження витрат і максимальне використання ресурсів |

Джерело: розроблено автором на основі [5]

На основі проведених досліджень, розглянемо приклад щодо впровадження автоматизованих систем розвантаження та оптимізації транспортування і яким чином цей процес впливає на підвищення продуктивності вантажних операцій на терміналі. Припустимо, що у нас є термінал, який здійснює розвантаження суден і перевалку контейнерів з LNG. Порівняємо продуктивність двох сценаріїв: традиційний та інноваційний з впровадженням автоматизованих систем розвантаження та оптимізацією транспортування (табл. 3).

Результати порівняльного аналізу продуктивності традиційного та інноваційного сценаріїв розвантаження контейнерів на LNG-терміналах в морських портах свідчать про значний прогрес у використанні автоматизованих систем та технологій. Впровадження інноваційного сценарію, який включає автоматизовані системи управління та збільшення автоматизації, призвело до зниження часу розвантаження одного судна на 50%, підвищення кількості розвантажених контейнерів на одне судно на 50%, а також скорочення часу транспортування одного контейнера

Таблиця 3

**Порівняння продуктивності традиційного і інноваційного сценаріїв
розвантаження контейнерів**

| Показник | Традиційний сценарій (без інновацій) | Інноваційний сценарій (з автоматизованими системами) |
|---|---|--|
| Час розвантаження одного судна, год. | 48 | 24 |
| Кількість розвантажених контейнерів, од. | 200 | 300 |
| Час транспортування одного контейнера до складу, год. | 1 | 0,5 |
| Кількість робітників для виконання розвантаження | 20 | 10 |

Джерело: розроблено автором

до складу вдвічі. Зменшення кількості працівників для виконання розвантаження також є значущим, оскільки кількість працівників знижується на половину. Ці результати підтверджують перспективність технологічних рішень та автоматизації для оптимізації та підвищення ефективності вантажних операцій на LNG-терміналах у морських портах, що може вплинути на стійкий розвиток енергетичного сектору та підвищити конкурентоспроможність в міжнародному контексті.

Отже, впровадження технологічних рішень на LNG-терміналах у морських портах виявилось ефективним заходом для підвищення продуктивності та оптимізації робочих процесів. Автоматизація та використання інноваційних технологій сприяють зменшенню часу розвантаження, підвищенню обсягів перевантаження, зниженню витрат та підвищенню загальної ефективності діяльності терміналів.

Висновки. Дослідження з технологічних рішень для підвищення продуктивності вантажно-розвантажувальних робіт на LNG-терміналах у морських портах засвідчили значний науковий і практичний інтерес у цій області. Впровадження автоматизованих систем, робототехніки та штучного інтелекту на терміналах робить робочі процеси більш ефективними, прогресивними та сучасними.

Застосування автоматизованих систем управління дозволяє впровадити координацію та синхронізацію діяльності різних робочих елементів терміналу, що знижує час розвантаження та підвищує його продуктивність. Зменшення залежності від ручного керування та оптимізація ресурсів забезпечують кращий контроль над робочими процесами та сприяють зниженню витрат. Робототехніка впроваджує автоматизовані робочі механізми, що допомагають уникнути рутинної та тяжкої праці, забезпечуючи одночасно підвищення безпеки та точності операцій.

Застосування штучного інтелекту дозволяє аналізувати та прогнозувати дані з великих обсягів інформації, що допомагає управляти терміналом з більшою ефективністю. Використання штучного інтелекту для прогнозування навантаження та планування робочих операцій дозволяє забезпечити більш гнучке та оптимальне використання ресурсів.

Однак впровадження технологічних рішень на LNG-терміналах також зустрічає певні виклики. Прийняття нових технологій вимагає значних інвестицій, перепідготовки персоналу та інтеграції нових систем з існуючими. До того ж, наявність

автоматизованих систем може залежати від технічних обмежень та складності впровадження на старих терміналах.

Загалом, впровадження технологічних рішень на LNG-терміналах у морських портах є перспективним напрямком для підвищення продуктивності та оптимізації робочих процесів. Вирішення проблем впровадження та подальший розвиток цих технологій стане важливим завданням для забезпечення стійкого розвитку енергетичного сектору та підвищення конкурентоспроможності морських портів на світовому ринку. Досягнення цих цілей потребує подальших досліджень та співпраці між науковцями, інженерами та промисловими гравцями для забезпечення ефективного та стійкого розвитку LNG-терміналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chiu, C.H., Huang, H.C. Sustainable design and operation of LNG terminals for future energy demands. *Energy Policy*, 118, 2018, 404–412.
2. Chong, W.K., Tan, W.S. Novel approaches to enhance the efficiency of LNG regasification process. *Energy Conversion and Management*, 115, 2016, 291–299.
3. Genc, T.S., Aydin, H. Innovative safety measures for LNG terminals: A case study. *Journal of Energy Engineering*, 142(3), 2016.
4. Gomes, J.F., Nascimento, A.S. Innovative financing models for LNG terminal projects: A comparative analysis. *Energy Policy*, 129, 2019, 290–298.
5. Kim, C.N., Lee, S.H. Integration of renewable energy sources with LNG terminals: A feasibility study. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 50, 2018, 321–328.
6. La Viña, T., Lopez, M. Environmental impact assessment of LNG terminal projects. *Energy Policy*, 126, 2019, 431–440.
7. Miyamoto, A., Yamamoto, K. Technological advancements in LNG terminals for small-scale applications. *Energy Conversion and Management*, 153, 2017, 92–101.
8. Ng, K.C., Liu, F. Emerging technology trends in LNG terminals. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 37, 2017, 96–104.
9. Ross, P.E., Smith, J.W. Innovations in floating LNG terminals: Challenges and opportunities. *Energy Conversion and Management*, 198, 2019.
10. Sullivan, P., Thompson, G. LNG terminal developments: A global perspective. *LNG Journal*, 25(2), 2020, 34–39.