

Національний університет «Одеська морська академія»

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Конон Владислав Валентинович

УДК 656.614.3.073.3-049.5(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

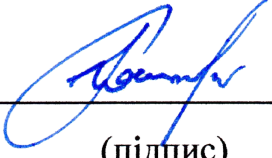
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ СТАНУ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Спеціальність 271 – «Морський та внутрішній водний транспорт»

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



(підпис) В.В. Конон

Науковий керівник:
Савчук Віктор Дмитрович
к. т. н., с. н. с., професор

Одеса – 2023

АНОТАЦІЯ

Конон В.В. Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів для забезпечення безпеки морських перевезень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – «Морський та внутрішній водний транспорт» (галузь знань 27 – Транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2023.

Тенденції розвитку світового контейнерного флоту, серед іншого, його поповнення надвеликими контейнеровозами, привносять як очевидні переваги, так і значні ризики, зокрема для питань безпеки в галузі. Проведений в даній роботі аналіз літературних джерел, присвячених проблемі забезпечення безпеки морських перевезень на контейнерному флоті, зумовив визначення основного напрямку дослідження, що полягає в удосконаленні процесу моніторингу за температурним станом контейнерних вантажів у контексті зазначеної проблеми, а також обґрунтування його актуальності.

В рамках методологічного забезпечення даного дисертаційного дослідження було сформовано його технологічну карту, у відповідності до якої визначено запит практики, що зумовлює тему роботи; мету; наукову гіпотезу й головне завдання дослідження, що представлене трьома окремими складовими. Отриманим в ході дослідження науковим результатам притаманна наукова новизна.

Об'єктом даного дослідження є процес моніторингу за температурним станом вантажів при їх перевезеннях контейнерним флотом.

Предмет дослідження представлений методами оцінки й моніторингу теплового стану контейнерних вантажів.

Метою даного дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки морських перевезень на контейнерному флоті й зменшення негативного впливу людського фактору, шляхом удосконалення процесу моніторингу стану вантажів контейнерного судна та відповідної ідентифікації джерела займання.

Головне завдання дисертаційного дослідження полягає у розробці методу оцінки фону теплового випромінювання контейнерних вантажів й ідентифікації контейнера-джерела займання із залученням деякої кількості тепловізорів та визначеної схеми їх розміщення в реальному часі, з врахуванням «сліпих зон» сумарного поля зору тепловізорів.

Для вирішення головного завдання даного дисертаційного дослідження воно було розкладено на **допоміжні задачі**, а саме:

1) розробка методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиничного тепловізору в межах вантажного простору контейнеровозу за наявності деякої кількості об'єктів спостереження;

2) визначення параметрів й залежностей для складання схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнеровозу з урахуванням суднових умов перевезення вантажів й особливостей такої схеми;

3) розробка алгоритмів обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів.

Наукова новизна отриманих результатів даного дисертаційного дослідження полягає в удосконаленні процесів моніторингу стану контейнерних вантажів і відповідного визначення контейнера-джерела займання шляхом розробки нового методу й моделі системи оцінки і автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів та відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв. В роботі досягнуті наступні результати:

- **вперше** розроблено метод визначення контейнера-джерела займання, а саме його температури й позиції, в полі зору одиничного тепловізору при спостереженні деякої кількості контейнерів у вантажному просторі контейнерного судна, *що забезпечує* визначення позиції контейнера-джерела займання та його температури в межах поля зору тепловізору, що розташовано у трюмі або на палубі контейнерного судна, за допомогою обробки зображень видимого й

інфрачервоного спектрів та залежностей між координатними системами об'єктів спостереження й їх відповідних зображень;

- **вперше** запропоновано параметри й залежності, необхідні для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна, з урахуванням суднових умов перевезення вантажів та особливостей такої схеми, *що* при розрахунку кількості тепловізорів *дозволяють* врахувати кількість контейнерів в межах «сліпої зони» сумарного поля зору тепловізорів, загальну кількість контейнерів у вантажному просторі й кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізора;

- **вперше** розроблено алгоритми обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів, *що дозволяють* визначити значення температур в межах сумарного поля зору тепловізорів з прив'язкою до ідентифікованих об'єктів спостереження (контейнерів), визначити джерело займання, зокрема у «сліпій зоні» зазначеного сумарного поля зору з використанням цифрової нейронної мережі.

Наукова гіпотеза про можливість використання термографічних пристроїв в контексті удосконалення процесів моніторингу температурного стану вантажів контейнерного судна й відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі була підтверджена теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що результати дослідження можуть бути використані при розробці й удосконаленні суднових систем пожежної безпеки, моніторингу та контролю за станом контейнерних, зокрема небезпечних, вантажів. Отримані в даному дисертаційному дослідженні наукові результати зумовлюють його наукове положення, що формулюється наступним чином: ідентифікація джерела займання у вантажному просторі контейнерного судна, а також оцінка й моніторинг температурного стану контейнерних вантажів, за допомогою

тепловізорів й відповідних методів автоматизації зазначених процесів, можуть бути застосовані з метою забезпечення безпеки морських перевезень й судноплавства.

Результати даного дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі кафедри морських перевезень при викладанні дисципліни «Технологія перевезення вантажів»; впроваджено у навчальний процес курсів підвищення кваліфікації в Інституті післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія»; впроваджено в освітню компоненту «Дослідницький практикум», відповідно до освітньо-професійної програми другого магістерського рівня підготовки «Навігація і управління морськими суднами». Також результати відображені в звіті науково-дослідницької роботи «Формування транспортно-технологічних процесів розвитку функціонування морської галузі» (№ ДР 0122U201980, Розділ 4 – Розробка методів забезпечення безпеки мореплавання судна при перевезенні небезпечних вантажів, п. 4.1 – Розробка методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиничного тепловізора в межах вантажного простору контейнеровозу).

Ключові слова: контейнерне судно, вантажний план, небезпечні вантажі, безпека перевезень вантажів, контейнерні вантажі, тепловізор, контроль температури вантажів, виявлення пожежі, обробка зображень, цифрова нейронна мережа (ЦНМ), імітаційне моделювання, людський фактор, безпека судноплавства.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. V. Konon and V. Savchuk, “Infrared thermography in the context of fire safety in container transportation by sea,” *Shipping & Navigation*, vol. 33, no. 1, pp. 43–53, Dec. 2022, doi: 10.31653/2306-5761.33.2022.43-53.
2. N. Konon and V. Konon, “Risk analysis of the container fleet in the context of the maritime operations’ safety improvement,” *Shipping & Navigation*, vol. 34, no. 1, pp. 79–92, May 2023, doi: 10.31653/2306-5761.34.2023.79-92.

3. V. Konon and N. Konon, “Application Perspective of Digital Neural Networks in the Context of Marine Technologies,” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 16, no. 4, pp. 743–747, 2022, doi: 10.12716/1001.16.04.16.

4. V. Konon, N. Konon, and V. Savchuk, “Simulation modelling of a heat exchange process between the containerized cargoes,” *Journal of Maritime Research*, vol. 20, no. 1, pp. 23–29, Apr. 2023, doi: 10.5281/ZENODO.7949965.

5. V. Konon, “Image Processing Method for Cargo Container Identification in a Stack Within the Cargo Temperature Control and Fire Safety System on Container Ships,” *Polish Maritime Research*, vol. 30, no. 2, pp. 114–120, 3923, doi: 10.2478/pomr-2023-0027.

Список публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації:

6. Суднова система пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів : пат. 153965 Україна : (2023.01) G08B 17/12, (2006.01) B63B 25/00. № у 2022 04770 ; заявл. 08.12.2022; опубл. 27.09.2023, Бюл. № 39 (кн. 1). 140 с.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Ризики при перевезенні вантажів у контейнерах,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2018 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 298–302.*

8. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Контроль за тепловим станом вантажів при перевезенні в контейнерах,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура,*

судноплавство, перевезення, автоматизація», 14-15 листопада 2019 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 169–172.

9. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Використання тепловізорів для контролю в рейсі за небезпечними вантажами в контейнері,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 12-13 листопада 2020 р.*, НУ «ОМА», Одеса, С. 115–118.

10. В. В. Конон, “Оцінка особливостей системи термографічного моніторингу стану контейнерних вантажів із залученням натурних спостережень,” *Матеріали науково-технічної конференції “Судноводіння, морські технології та технології” (NST-2022) 17-18 листопада 2022 р.*, НУ «ОМА», Одеса, С. 162–164.

11. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Огляд судових систем пожежної безпеки та контролю за контейнерними вантажами,” *Modern research in world science. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference, 25-27 грудня 2022*, Львів, С. 419–423.

12. V. V. Konon and V. D. Savchuk, “Data processing algorithm within cargo temperature control on container ships,” in *Materials of the 15th international scientific and practical conference “Modern Information and Innovation Technologies in Transport” (MINTT-2023), May 24-25, 2023, Kherson*, pp. 124–126.

ABSTRACT

Konon V.V. Improvement of the container cargo monitoring process for ensuring the safety of maritime transportations. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the Doctor of Philosophy by the specialty 271 – «Sea and inland water transport» (branch of knowledge 27 – Transport). – National University "Odesa Maritime Academy", Odesa, 2023.

Trends in the development of the global container fleet, among other things its replenishment with ultra-large container ships, bring both obvious advantages and significant risks, particularly for safety issues in the industry. The analysis of literary sources devoted to the problem of ensuring the safety of sea transportation on the container fleet, which had been carried out in this work, led to the determination of the main direction of the research, which consists in improving the methods of continuous automated monitoring of the container cargoes' temperature state in the context of the specified problem, as well as the justification of its relevance.

As the part of the methodological support of this dissertation research, its technological map was formed. The request of practice, which determines the topic of the work, was determined in accordance to the mentioned technological map, as well as the purpose, the scientific hypothesis and the main task of the research, which is represented by three separate components. Scientific novelty is inherent to the scientific results obtained during the research.

The object of the current research is the process of the cargoes' temperature condition monitoring during their transportation by the container fleet.

The subject of the current research is represented by the methods of the container cargoes thermal condition assessment and monitoring.

The purpose of this dissertation research is to ensure the safety of sea transportation on the container fleet and reduce the negative impact of the human factor, by improving the process of the cargo condition monitoring on container ships and the corresponding identification of the ignition source.

The main task of this dissertation research is to develop a method for assessing the background thermal radiation of container cargo and identification of the ignition source container using a certain number of thermal imagers in real time and a defined scheme of their placement, taking into account the "blind zones" of the thermal imagers' common field of view.

To solve the main task of this dissertation research, it was decomposed into the **auxiliary tasks**, namely:

1) development of a method for identifying the source of ignition in the field of view of a single thermal imager within the cargo space of a container ship in the presence of a certain number of observation objects;

2) determination of the necessary parameters and dependencies for drawing up a several thermal imagers' installation pattern for the cargo space of a container ship, taking into account the ship's conditions of cargo transportation and the features of such a pattern;

3) development of algorithms for the temperature data processing and assessing the state of cargo, particularly in the "blind zones" of the common field of view of a certain number of thermal imagers, in the context of the container cargo temperature monitoring system.

The scientific novelty of the results of this dissertation research consists in improvement of the processes of the container cargo monitoring and the corresponding determination of the ignition source-container by developing the new method and the model of the container cargo temperature automated monitoring system and the corresponding identification of the ignition source in real-time during sea transportation using thermographic equipment. The following results were achieved in the work:

- **for the first time**, a method was developed to determine the container-source of ignition, namely its temperature and position, in the field of view of a single thermal imager when observing a certain number of containers in the cargo space of a container ship, which ensures the determination of the ignition source-container's position and its corresponding temperature within the field of view of

the thermal imager located in the hold or on the deck of the container ship, by means of image processing in visible and infrared spectra and dependencies between the coordinate systems of observation objects and their corresponding images;

- **for the first time**, parameters and dependencies for drawing up a several thermal imagers' installation pattern for the cargo space of a container ship were proposed, taking into account the ship conditions of cargo transportation and the features of such a pattern, which give opportunity to take into account the number of containers within the "blind zone" of the common field of view of the thermal imagers, the total number of containers within the cargo space and the number of containers within the field of view of a single thermal imager when calculating the number of thermal imagers;

- **for the first time**, the algorithms were developed for the temperature data processing and assessing the state of cargo, particularly in the "blind zones" of the common field of view of a certain number of thermal imagers, in the context of the container cargo temperature monitoring system, which allow the temperature values determination within the thermal imagers' common field of view with reference to identified objects of observation (containers) and the ignition source identification, in particular in the "blind zone" of the specified common field of view using a digital neural network.

Theoretical results and simulation modeling confirmed **the scientific hypothesis** about the possibility of using thermographic devices in the context of improvement of the processes of the cargo temperature monitoring on container ship and the corresponding identification of the ignition source in real time.

The practical significance of the obtained results is that they can be used in the development and improvement of ship fire safety, monitoring and control systems for containerized, particularly dangerous, cargoes. The scientific results obtained in this dissertation research determine its scientific position, which is formulated as follows: the identification of the ignition source in the cargo space of a container ship, as well as the assessment and monitoring of the temperature state of container cargoes, with the help of thermal imagers and appropriate methods of automating the specified

processes, can be applied with in order to ensure the safety of sea transportation and shipping.

The results of the current dissertation research are used in the educational process when teaching the discipline «Cargo transportation technology»; implemented into the educational process of advanced training courses at the Institute of Postgraduate Education "Training Center for Certification of Seafarers" of the National University "Odesa Maritime Academy"; implemented into the educational component "Research practicum", in accordance with the educational and professional program of the second master's level of training "Navigation and handling of sea vessels". Also, the obtained results are reflected in the report of the scientific and research work – "Formation of transport and technological processes of the development of the maritime industry functioning" (No. DR 0122U201980, Section 4 – Development of methods for ensuring the safety of the ship's navigation during the transportation of dangerous goods, subsection 4.1 – Development of a method for the ignition source identification in the field view of a single thermal imager within the cargo area of a container ship).

Keywords: container ship, cargo plan, dangerous goods, safety of cargo transportation, containerized cargo, thermal imager, cargo temperature control, fire detection, image processing, Artificial Neural Network (ANN), simulation modelling, human factor, safety of shipping.

List of publications in which the main scientific results of the dissertation were published:

1. V. Konon and V. Savchuk, "Infrared thermography in the context of fire safety in container transportation by sea," *Shipping & Navigation*, vol. 33, no. 1, pp. 43–53, Dec. 2022, doi: 10.31653/2306-5761.33.2022.43-53.
2. N. Konon and V. Konon, "Risk analysis of the container fleet in the context of the maritime operations' safety improvement," *Shipping & Navigation*, vol. 34, no. 1, pp. 79–92, May 2023, doi: 10.31653/2306-5761.34.2023.79-92.

3. V. Konon and N. Konon, “Application Perspective of Digital Neural Networks in the Context of Marine Technologies,” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 16, no. 4, pp. 743–747, 2022, doi: 10.12716/1001.16.04.16.

4. V. Konon, N. Konon, and V. Savchuk, “Simulation modelling of a heat exchange process between the containerized cargoes,” *Journal of Maritime Research*, vol. 20, no. 1, pp. 23–29, Apr. 2023, doi: 10.5281/ZENODO.7949965.

5. V. Konon, “Image Processing Method for Cargo Container Identification in a Stack Within the Cargo Temperature Control and Fire Safety System on Container Ships,” *Polish Maritime Research*, vol. 30, no. 2, pp. 114–120, 3923, doi: 10.2478/pomr-2023-0027.

**List of publications that additionally reflect the scientific results of the
dissertation:**

6. Суднова система пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів : пат. 153965 Україна : (2023.01) G08B 17/12, (2006.01) B63B 25/00. № у 2022 04770 ; заявл. 08.12.2022; опубл. 27.09.2023, Бюл. № 39 (кн. 1). 140 с.

List of publications that witness the approbation of the dissertation materials:

7. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Ризики при перевезенні вантажів у контейнерах,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2018 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 298–302.*

8. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Контроль за тепловим станом вантажів при перевезенні в контейнерах,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура,*

судноплавство, перевезення, автоматизація», 14-15 листопада 2019 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 169–172.

9. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Використання тепловізорів для контролю в рейсі за небезпечними вантажами в контейнері,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 12-13 листопада 2020 р.*, НУ «ОМА», Одеса, С. 115–118.

10. В. В. Конон, “Оцінка особливостей системи термографічного моніторингу стану контейнерних вантажів із залученням натурних спостережень,” *Матеріали науково-технічної конференції “Судноводіння, морські технології та технології” (NST-2022) 17-18 листопада 2022 р.*, НУ «ОМА», Одеса, С. 162–164.

11. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Огляд судових систем пожежної безпеки та контролю за контейнерними вантажами,” *Modern research in world science. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference, 25-27 грудня 2022*, Львів, С. 419–423.

12. V. V. Konon and V. D. Savchuk, “Data processing algorithm within cargo temperature control on containerships,” in *Materials of the 15th international scientific and practical conference “Modern Information and Innovation Technologies in Transport” (MINTT-2023), May 24-25, 2023, Kherson*, pp. 124–126.

ЗМІСТ

ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ ПРИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ.....	30
1.1. Стислий аналіз аварійності і проблем безпеки перевезення вантажів контейнерним флотом	30
1.2. Визначення напрямків мінімізації ризиків притаманних контейнерному флоту	35
1.3. Огляд сучасних суднових систем пожежної безпеки і температурного контролю за станом вантажів.....	37
1.4. Висновки до першого розділу	51
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	54
2.1. Вибір та обґрунтування напрямку дисертаційного дослідження	54
2.2. Формування технологічної карти наукового дослідження.....	57
2.3. Методика виконання дисертаційного дослідження.....	61
2.4. Висновки за другим розділом	63
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛА ЗАЙМАННЯ В ПОЛІ ЗОРУ ОДИНИЧНОГО ТЕПЛОВІЗОРУ В МЕЖАХ ВАНТАЖНОГО ПРОСТОРУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ	64
3.1. Визначення параметрів тепловізійного обладнання в контексті суднових умов використання.....	64
3.2. Визначення поля зору одиначної теплової камери	72
3.3. Визначення залежності між координатними системами об'єкта спостереження та його зображення	77
3.4. Визначення займання вантажних контейнерів в полі зору тепловізора ...	81
3.5. Висновки до третього розділу.....	85
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ В СИСТЕМІ ІЗ ДЕКІЛЬКОМА ТЕПЛОВІЗОРАМИ	87

4.1. Визначення схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнеровозу.....	87
4.2. Визначення загальної архітектури системи із декількома тепловізорами.....	91
4.3. Побудова загального алгоритму обробки даних	96
4.4. Побудова алгоритму оцінки стану вантажів у «сліпих зонах» спільного поля зору тепловізорів з використанням методів нейронних мереж	100
4.5. Висновки до четвертого розділу	111
РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ ІЗ ДЕКІЛЬКОМА ТЕПЛОВІЗОРАМИ.....	113
5.1. Формування імітаційної моделі	113
5.2. Тривимірне моделювання середовища і системи моніторингу температурного стану контейнерних вантажів.....	121
5.3. Оцінка ефективності розроблених методу і алгоритмів моніторингу температурного стану контейнерних вантажів.....	125
5.4. Висновки до п'ятого розділу	130
ВИСНОВКИ	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138
ДОДАТОК А. Таблиця значень коефіцієнту випромінювання для різних типів поверхонь	151
ДОДАТОК Б. Звіти натурних спостережень.....	154
ДОДАТОК В. Характеристики тепловізійного модуля камери	191
ДОДАТОК Г. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження	193
ДОДАТОК Д. Фрагмент лістингу середовища для імітаційного моделювання	197
ДОДАТОК Е. Патент на корисну модель	228
ДОДАТОК Ж. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації	239

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні контейнерні перевезення є одним з найпрогресивніших видів транспортування вантажів морем. Їх переваги визначаються багатьма складовими, до яких, серед іншого, можна віднести швидкість вантажних робіт, зниження фізичної праці під час вантажних операцій, істотне зниження ризиків втрати і пошкодження вантажів, скорочення простоїв рухомого складу, загальне прискорення процесу доставки вантажів, тощо. Безумовним плюсом, в цьому контексті, є можливість перевезення практично всієї номенклатури вантажів в універсальних і спеціалізованих контейнерах. В свою чергу, зростання попиту на контейнерні перевезення зумовлює поповнення світового контейнерного флоту надвеликими контейнеровозами. Водночас, інтенсифікація морських транспортних потоків, збільшення кількості вантажів, зростання розмірів суден, постійні зміни в морській галузі, а також помилки людини є чинниками, що підвищують ризики морських аварій. Іншими словами, така тенденція привносить додаткові змінні до конструктивних й експлуатаційних факторів під час аналізу відповідних викликів безпеки.

Для морських перевезень контейнерів застосовні всі загальні ризики, властиві судноплавній галузі: від навігаційних (пр., зіткнення, посадка на мілину) і експлуатаційних (пр., пожежа, вихід з ладу обладнання та механізмів) до впливу гідрометеорологічних чинників й актів зовнішньої агресії. У той же час перевезенню контейнерів морем притаманні і свої унікальні ризики, зумовлені особливостями конструкції контейнерних суден, їх вантажів, технологіями перевезення і проведення вантажно-розвантажувальних робіт. Тобто ті положення, що на перший погляд вбачаються як очевидні переваги, з іншого боку можуть приховувати в собі й значні ризики для безпеки суден та їх екіпажів. Так, наприклад, велика кількість й щільність розміщення контейнерів на палубі й у трюмах контейнерного судна, зокрема надвеликого розміру, означає складнощі реалізації заходів пожежної безпеки. Разом з тим порушення

технології перевезення небезпечних вантажів, некоректне або відсутнє їх декларування, як наслідок, потенційно мають забруднення навколишнього середовища, включаючи радіаційне і інфекційне, вибух, пожежу, травмування й загрозу життю людей. Крім того, різноманітність вантажів, що варіюється від нешкідливих побутових товарів до небезпечних матеріалів, додає складності та непередбачуваності таким інцидентам. З іншого боку, у кожній судноплавній компанії в загальному сенсі встановлюється політика безпеки і захисту навколишнього середовища, яка проголошує ці два аспекти діяльності компанії як найбільш пріоритетні. Однак на практиці комерційні завдання нерідко переважають над завданнями безпеки.

Зі збільшенням розмірів та місткості контейнерних суден зростає й імовірність виникнення аварій. Тому необхідно розробляти і запроваджувати дієві технічні та організаційні рішення з метою зниження ризиків аварійних ситуацій на базі їх розгляду та щільного аналізу й забезпечення безпеки судноплавства. Дії в цьому напрямку, в комбінації з відповідальним підходом всіх учасників морських перевезень, що спрямований на виявлення та викорінення ключових причин аварій, з їх достатнім інформаційним супроводом, допоможе взяти під контроль аварійність в галузі і звести її до мінімуму.

Окрему увагу й занепокоєння у морській галузі, в цьому контексті, викликають тенденції виникнення на контейнерному флоті інцидентів, що пов'язані із займанням вантажів. Великі пожежі на контейнерних судах являють собою одну з найбільш серйозних небезпек, з якими стикається світова судноплавна галузь. Так, наприклад, 7 березня 2018 року на борту надвеликого контейнеровоза (ULCS – ultra-large container ship) Maersk Honam, що прямував з Сінгапуру в Суец, на південному сході від Оману, відбулася пожежа, внаслідок якої загинули п'ять осіб. Рятувальна операція зустрічала значні труднощі. Знадобилося п'ять днів, щоб приборкати вогонь, і ще сім тижнів, перш ніж судно можна було відбуксирувати до порту-притулку, Джебель-Алі, для розвантаження. На момент інциденту судно перевозило 7860 контейнерів, що еквівалентно 12 416 TEU (TEU – twenty-foot equivalent unit). Хоча причина

пожежі була невизначена, варто відзначити, що вік судна становив менше року, а його протипожежне обладнання на той час відповідало сучасному рівню. Загальна сума збитків могла перевищувати 1 мільярд доларів. У 2017 році MSC Daniela місткістю 13 800 TEU понад тиждень палало біля узбережжя Шрі-Ланки. Також у 2016 році повідомлялося про численні інциденти, включаючи пожежу на 9000 TEU CCNI Arauco в Гамбурзі. У 2012 році пожежа на борту німецького контейнеровоза MSC Flaminia тривала шість тижнів, що призвело до загибелі трьох членів екіпажу, знищення 70% вантажу та визнання повної конструктивної загибелі судна [1].

Слід відзначити, що в першому розділі даної дисертаційної роботи представлено стислий аналіз аварійності і проблем безпеки перевезення вантажів контейнерним флотом, визначено напрямки мінімізації ризиків притаманних даному типу перевезень, а також наведено аналіз досліджень в галузі щодо реалізації сучасних суднових систем пожежної безпеки і температурного контролю за станом вантажів. За результатами аналізу й огляду відповідних досліджень і статистичних даних відзначається, що гіпохлорит кальцію, як причина займання, займає близько 33.3% з усіх наведених типів вантажів, на другому місці деревне вугілля – близько 18%, та акумуляторні батареї – близько 5%.

В цьому контексті, доцільно зазначити наступні проблеми, що пов'язані із невідповідністю стандартного конвенційного протипожежного обладнання і систем виявлення пожежі до сучасних викликів безпеки на контейнерному судні:

- 1) недостатня ефективність існуючих засобів й заходів спостереження і виявлення займання на його ранній стадії;
- 2) неможливість ідентифікації джерела займання;
- 3) недоступність джерела займання;
- 4) недостатня потужність пожежогасіння;
- 5) відсутність спеціалізованого обладнання: стандартне протипожежне обладнання може бути неефективним проти певних типів пожеж, наприклад, пожеж небезпечних матеріалів;

б) залежність від ручного втручання: традиційні методи пожежогасіння й виявлення займання можуть вимагати фізичної присутності членів екіпажу на місці пожежі, що також може ставити їх під загрозу та обмежити ефективність зусиль боротьби з пожежею в екстремальних умовах.

Таким чином, виклики, пов'язані із вирішенням зазначених проблем, додатково підкреслюють потребу в удосконаленні та впровадженні передових технологій моніторингу і пожежогасіння, й стратегій, розроблених із врахуванням особливостей морських перевезень саме контейнерним флотом. Серед іншого, актуальність даних питань також була висвітлена на форумі Міжнародного Союзу Морського Страхування (International Union of Marine Insurance - IUMI) [2].

Базуючись на ідеї, що типовою проблемою суднових екіпажів у боротьбі із пожежею є питання наявності достатнього запасу часу для ідентифікації джерела займання, його місця знаходження, в роботі [3] пропонуються деякі типи сенсорів із варіантами їх розміщення. Дослідження [4] пропонує систему виявлення і гасіння пожежі для розумного вантажного контейнера. В ході зазначеної роботи було виконано серію чисельних моделей поширення диму і еволюції пожежі, проведено оцінку ефективності виявлення пожежі в контейнері при різних сценаріях пожежі з метою визначення найгіршого варіанту й оптимізації розташування та налаштування порогових значень датчиків виявлення пожежі для досягнення найкоротшого часу виявлення. Дослідженням [5] представлено диференціальний піроелектричний інфрачервоний датчик (PIR) й метод на основі глибоких нейронних мереж для виявлення пожежі в режимі реального часу. З метою покращення ефективності існуючих суднових систем пожежної сигналізації, робота [6] пропонує пристрій із подвійним датчиком (одна температурна термопара К-типу та один аналоговий фотоелектричний датчик диму) та застосуванням сіро-нечіткого алгоритму прогнозування. Для підвищення рівня безпеки під час боротьби з пожежею [7], було запропоновано водяний, само свердлувальний інструмент пожежогасіння «HydroPen».

Зазначений пристрій використовує тиск води з пожежної магістралі для свердління дверцят контейнера й тушіння вантажу всередині нього.

Водночас, згідно до [8], класифікаційне суспільство Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd (DNV GL) створило нову нотацію класу, спеціально розроблену для контейнеровозів. Ця нотація засвідчує виконання заходів протипожежного захисту на борту, які перевищують положення вимог Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (International Convention for the Safety of Life at Sea - SOLAS). У 2018 році, вводячи в експлуатацію нову серію 23-тисячних контейнеровозів, компанія “Mediterranean Shipping Company” (MSC) вирішила інвестувати додаткові ресурси в підвищення пожежної безпеки на борту своїх нових суден. DNV GL співпрацювала з MSC у цьому проекті, надаючи консультаційні послуги. Обидві компанії провели спеціалізовані семінари з визначення небезпек, щоб переконатися, що вибрані засоби виявлення пожежі та пожежогасіння для нових суден будуть адекватними та ефективними. Під час цих семінарів було зроблено висновок, що першочергове раннє виявлення пожежі має вирішальне значення для запобігання втрати контролю над протидією надзвичайній ситуації. Нові позначення класу DNV GL FCS (C, HA, FD, FF, HF) вказують на те, що такі судна забезпечують додатковий протипожежний захист контейнерного вантажного простору (C), пройшли оцінку ідентифікації небезпеки (HA) і відповідають підвищеним вимогам до систем виявлення пожежі (FD) і систем пожежогасіння (FF), а також до систем пожежогасіння через затоплення контейнерних трюмів (HF) із залученням служби реагування на надзвичайні ситуації DNV GL, ERSTTM. Нотація FCS описує функціональний набір опцій для управління інцидентами, але залишає вибір конкретного обладнання експертам, що розробляють рішення для кожного конкретного судна. Модульна концепція цієї нотації класу пропонує достатню гнучкість для вибору одного або кількох заходів для виявлення і/або боротьби з пожежами в трюмах і на палубі. Цей цілісний підхід було визнано найбільш прийнятним, враховуючи широкий спектр конструкцій суден, а також

надає можливість його застосування як до новобудов, так і до суден, що вже знаходяться в експлуатації.

Резюмуючи вищезазначене, пожежна безпека на борту контейнерних суден має першочергове значення з ряду причин:

- 1) захист життя: основною причиною заходів пожежної безпеки є захист життя членів екіпажу та будь-яких інших осіб на борту;
- 2) збереження вантажу;
- 3) запобігання шкоди навколишньому середовищу: пожежі на борту суден можуть призвести до значної шкоди навколишньому середовищу, особливо якщо судно перевозить небезпечні матеріали;
- 4) захист структурної цілісності: пожежі можуть ставити під загрозу структурну цілісність судна;
- 5) відповідність нормативній базі: відповідність конвенціям, кодексам й іншим нормативним документам й рекомендаціям є не лише вимогою законодавства, але й сприяє загальній безпеці.

Таким чином, аналізом досліджень, статистичних даних й інших матеріалів у обраному напрямку **обґрунтовується** вибір теми дослідження й зумовлюється **актуальність** проблеми удосконалення процесу моніторингу стану вантажів на борту контейнерних суден, що є вирішальною для захисту життя, збереження вантажів, запобіганню шкоди навколишньому середовищу, підтримки структурної цілісності суден та дотримання вимог відповідних нормативних документів. Недостатній рівень впровадження сучасних технологій, нових методів та систем для раннього попередження і виявлення пожежі у вантажному просторі контейнерного судна вказує на необхідність впровадження нових та удосконалення існуючих засобів в цьому контексті з метою забезпечення безпеки морських перевезень й судноплавства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дане дисертаційне дослідження виконувалось у відповідності до положень Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р із

змінами, внесеними згідно з розпорядженням КМ № 321-р від 07.04.2021), Указу Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», а також в рамках планів наукових досліджень Національного університету «Одеська морська академія» за держбюджетною темою «Формування транспортно-технологічних процесів розвитку функціонування морської галузі» (№ ДР 0122U201980), в якій здобувачем було виконано окремий підрозділ.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки морських перевезень на контейнерному флоті й зменшення негативного впливу людського фактору, шляхом удосконалення процесу моніторингу стану вантажів контейнерного судна та відповідної ідентифікації джерела займання.

У відповідності до мети представлена **наукова гіпотеза**, що сформульована як можливість використання термографічних пристроїв в контексті удосконалення процесів моніторингу температурного стану вантажів контейнерного судна й відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі.

Об'єктом даного дослідження є процес моніторингу за температурним станом вантажів при їх перевезеннях контейнерним флотом.

Предмет дослідження представлений методами оцінки й моніторингу теплового стану контейнерних вантажів.

Головне завдання дисертаційного дослідження полягає у розробці методу оцінки фону теплового випромінювання контейнерних вантажів й ідентифікації контейнера-джерела займання із залученням деякої кількості тепловізорів та визначеної схеми їх розміщення в реальному часі, з врахуванням «сліпих зон» сумарного поля зору тепловізорів.

Для вирішення головного завдання даного дисертаційного дослідження воно було розділено на **допоміжні задачі**, а саме:

- 1) розробка методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиничного тепловізору в межах вантажного простору контейнеровозу за наявності деякої кількості об'єктів спостереження;

2) визначення параметрів й залежностей для складання схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнеровозу з урахуванням суднових умов перевезення вантажів й особливостей такої схеми;

3) розробка алгоритмів обробки температурних даних та оцінки стану вантажів у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів.

Для вирішення першого допоміжного завдання необхідно обрати відповідне обладнання і провести проміжний експеримент для визначення параметрів тепловізорів й вихідних зображень в суднових умовах в рамках встановлених цілей й задач; визначити параметри поля зору для окремо обраного сенсору; встановити способи визначення залежностей між координатними системами об'єктів спостереження та їх відповідних зображень, й отримання даних від таких зображень.

Для вирішення другого допоміжного завдання необхідно встановити параметри й залежності для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна для формування їх спільного поля зору.

Для вирішення третього допоміжного завдання необхідно розробити алгоритми обробки даних зі встановлених датчиків, що будуть враховувати наявність «сліпих зон» у сумарному полі зору тепловізорів, для оцінки стану спостерігаємих вантажів й визначення джерела займання в межах такого поля зору, його температури і позиції. Для врахування «сліпих зон» також необхідно імплементувати суб-алгоритм визначення джерела займання за обмеженими вхідними даними.

Методи дослідження:

1) Здійснення інформаційного пошуку в рамках даного дослідження, встановлення його напрямку й теми було виконано методом дедукції.

2) Використовуючи методи системного підходу, було виконано декомпозицію головного завдання дослідження на окремі складові елементи й забезпечення методологічного обґрунтування дисертаційного дослідження.

3) Вирішення першого допоміжного завдання реалізується виконанням проміжного експерименту й проведенням натурних спостережень щодо визначення параметрів налаштування тепловізорів й вихідних зображень; моделюванням поля зору одиничного тепловізора; визначенням й формалізацією залежностей між координатними системами об'єктів спостереження й їх зображень в судових умовах використання; формалізацією даних таких зображень.

4) Вирішення другого допоміжного завдання досягається шляхом визначення й формалізації параметрів, необхідних для складання схеми розміщення певної кількості тепловізорів у вантажному просторі контейнерного судна.

5) Вирішення третього допоміжного завдання досягається використанням засобів теорії систем, а саме інструментів структурного аналізу, а також системного і об'єктного моделювання.

6) Верифікацію отриманих результатів виконано методом імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів даного дисертаційного дослідження полягає в удосконаленні процесів моніторингу стану контейнерних вантажів і відповідного визначення контейнера-джерела займання шляхом розробки нового методу й моделі системи оцінки і автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів та відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв. В роботі досягнуті наступні результати:

- **вперше** розроблено метод визначення контейнера-джерела займання, а саме його температури й позиції, в полі зору одиничного тепловізора при спостереженні деякої кількості контейнерів у вантажному просторі

контейнерного судна, що забезпечує визначення позиції контейнера-джерела займання та його температури в межах поля зору тепловізору, що розташовано у трюмі або на палубі контейнерного судна, за допомогою обробки зображень видимого й інфрачервоного спектрів та залежностей між координатними системами об'єктів спостереження й їх відповідних зображень;

- **вперше** запропоновано параметри й залежності, необхідні для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна, з урахуванням суднових умов перевезення вантажів та особливостей такої схеми, що при розрахунку кількості тепловізорів дозволяють врахувати кількість контейнерів в межах «сліпої зони» сумарного поля зору тепловізорів, загальну кількість контейнерів у вантажному просторі й кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізору;

- **вперше** розроблено алгоритми обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів, що дозволяють визначити значення температур в межах сумарного поля зору тепловізорів з прив'язкою до ідентифікованих об'єктів спостереження (контейнерів), визначити джерело займання, зокрема у «сліпій зоні» зазначеного сумарного поля зору з використанням цифрової нейронної мережі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що результати дослідження можуть бути використані при розробці й удосконаленні суднових систем пожежної безпеки, моніторингу та контролю за станом контейнерних, зокрема небезпечних, вантажів. Отримані в даному дисертаційному дослідженні наукові результати зумовлюють його наукове положення, що формулюється наступним чином: ідентифікація джерела займання у вантажному просторі контейнерного судна, а також оцінка й моніторинг температурного стану контейнерних вантажів, за допомогою тепловізорів й відповідних методів автоматизації зазначених процесів, можуть

бути застосовані з метою забезпечення безпеки морських перевезень й судноплавства.

Результати даного дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі кафедри морських перевезень при викладанні дисципліни «Технологія перевезення вантажів»; впроваджено у навчальний процес курсів підвищення кваліфікації в Інституті післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія»; впроваджено в освітню компоненту «Дослідницький практикум», відповідно до освітньо-професійної програми другого магістерського рівня підготовки «Навігація і управління морськими суднами». Також результати відображені в звіті науково-дослідницької роботи «Формування транспортно-технологічних процесів розвитку функціонування морської галузі» (№ ДР 0122U201980, Розділ 4 – Розробка методів забезпечення безпеки мореплавання судна при перевезенні небезпечних вантажів, п. 4.1 – Розробка методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиничного тепловізору в межах вантажного простору контейнеровозу).

Особистий внесок здобувача: дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно. Ним було проведено інформаційний пошук й аналіз літературних джерел; забезпечено методологічне обґрунтування дисертаційного дослідження; проведено натурні спостереження під час реальних рейсів; розроблено метод визначення контейнера-джерела займання, а саме його температури й позиції, в полі зору одиничного тепловізору при спостереженні деякої кількості контейнерів у вантажному просторі контейнерного судна; також запропоновано параметри й залежності, необхідні для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна, з урахуванням судових умов перевезення вантажів та особливостей такої схеми; розроблено алгоритми обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів; виконано імітаційне моделювання з метою верифікації отриманих результатів.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 12 наукових праць, зокрема: у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії – 2; у закордонних наукових фахових виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of Science – 3 (наукові видання відносяться до другого (Q2), третього (Q3) та четвертого квартилів (Q4)); у збірниках матеріалів наукових конференцій – 6; патентів – 1. Наукові праці [9], [10] опубліковані одноосібно. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, використано виключно ті положення, що належать автору особисто, зокрема: [11] – визначення напрямків мінімізації ризиків притаманних контейнерному флоту з точки зору протидії небезпекам, пов'язаним із обробкою вантажів, й забезпечення безпеки морських перевезень; [12] – концепція застосування тепловізорів у морських пожежних системах на контейнерних суднах, зокрема при перевезенні небезпечних вантажів, напрямки подальших досліджень для реалізації такої концепції, оцінка параметрів сенсорів у відповідності до суднових умов використання за результатами натурних спостережень, концепція тривимірного середовища для подальшого проведення симуляцій й імітаційного моделювання; [13] – алгоритм обробки даних в рамках моделі спостереження за температурним станом вантажів контейнерного судна; [14] – оцінка ризиків перевезення контейнерних вантажів; [15] – огляд перспектив щодо реалізації контролю й моніторингу теплового стану вантажів при їх перевезенні у контейнерах; [16] – використання багатошарового перцептрону в контексті оцінки стану вантажів в межах «сліпих зон» сумарного поля зору тепловізорів, із врахуванням особливостей схеми їх розміщення; [17] – розробка середовища, що надає можливість візуалізації процесів теплообміну між контейнерами у вантажному просторі контейнерного судна, для виконання імітаційного моделювання в рамках даного дисертаційного дослідження; [18] – оцінка результатів натурних спостережень щодо можливостей використання тепловізорів для контролю стану небезпечних вантажів у контейнерах; [19] –

огляд суднових систем пожежної безпеки та контролю за контейнерними вантажами; [20] – модель суднової системи пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та положення дисертаційного дослідження доповідались, обговорювалися, були схвалені на ряді конференцій:

- Науково-технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 15-16 листопада 2018 р.);
- Науково-технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 14-15 листопада 2019 р.);
- Науково-технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 12-13 листопада 2020 р.);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Судноводіння, морські технології та перевезення» (Одеса, 17 – 18 листопада 2022 р.);
- The 10th International Scientific and Practical Conference (Lviv, 25-27 December 2022);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)» (Херсон, 24-25 травня 2023 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 12 наукових праць (з них 2 одноосібно), зокрема: у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії – 2; у закордонних наукових фахових виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of Science – 3 (наукові видання відносяться до другого (Q2), третього (Q3)

та четвертого квартилів (Q4)); у збірниках матеріалів наукових конференцій – 6; патентів – 1.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел й додатків. Загальний обсяг роботи складає 242 сторінки, з них 122 сторінка основного тексту, 40 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел з 121 найменувань на 13 сторінках, 7 додатків на 92 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ ПРИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

1.1. Стислий аналіз аварійності і проблем безпеки перевезення вантажів контейнерним флотом

Виникнення резонансних інцидентів, таких як випадки із MSC Zoe та X-Press Pearl із втратою майже 350 контейнерів у морі чи пожежею відповідно, призвели до окремого виділення наступних двох питань у розгляді завдань безпеки на контейнерних суднах: втрата контейнерів у морі та пожежі, що пов'язані із займанням вантажів [21]. Постійне зростання розмірів суден цього типу в останнє десятиліття зумовлене ефектом масштабу на ринку світової торгівлі контейнерних вантажів. Така тенденція привносить до врахування додаткові змінні конструктивних й експлуатаційних факторів під час аналізу цих викликів безпеки. В період з 2011 по 2019 роки обсяг контейнерного флоту збільшився на близько 15%, з якого частка суден розміром понад 10 000 TEU зросла на приблизно 500%. Однак, незважаючи на зріст тоннажу, максимальна довжина контейнеровозів тримається на відмітці у 400 м і зумовлена обмеженнями конструктивних й швартовних умов, в той час як ширина збільшується від 50 м до 60 м, приводячи до збільшення поперечної остійності.

Таким чином, надмірно велика кількість і щільність контейнерів на палубі й у трюмах, обмежений простір між штабелями і конфігурацією судна, який незважаючи на значне збільшення розмірів загалом залишився без змін, означає, що будь-яку пожежу або вибух у контейнерах, розміщених, наприклад, всередині штабелю, дуже важко виявити на ранній стадії, контролювати і/або гасити. В цьому контексті, слід відмітити приділення окремої уваги питанню перевезення спеціальних, а саме небезпечних вантажів, в особливості при розгляданні причин й оцінці ризиків виникнення аварійних ситуацій, розробці відповідних превентивних і/або коригуючих мір. Небезпечні вантажі й вантажі, що потенційно схильні до спалаху, повинні розташовуватися там, де пожежу можна

легко виявити і загасити. Слід відзначити, що можливі розташування небезпечних вантажів на судні за їх класами зазначаються у відповідних суднових документах (пр., Document of Compliance for the Carriage of Dangerous Goods), а їх фактичне розміщення під час рейсу повинно відповідати вантажному плану. Однак на практиці, мають місце випадки не задекларованих або неправильно задекларованих небезпечних вантажів [22]. Таким чином, капітан і екіпаж не обізнані о пов'язаних ризиках й не можуть прийняти належні профілактичні/превентивні заходи згідно до відповідних інструкцій та документів (Cargo Securing Manual, MFAG, EmS Guide, тощо).

Відповідно до інформації наданої в [23], 58% із 36 сприяючих факторів у дванадцяти повідомленнях, пов'язаних із випадками пожежі/вибуху, стосуються аварійних дій на борту під час реагування на надзвичайні ситуації, несправності обладнання та/або його монтажу/проекту, а також неправильно задекларованої або відсутньої інформації стосовно небезпечних вантажів.

Так, наприклад, у липні 1999 року судно CMA Djakarta знаходилося біля узбережжя Кіпру, коли на палубі стався вибух, а потім і пожежа [24]. Незважаючи на значні зусилля, екіпаж не зміг приборкати вогонь й сталися нові вибухи. Судно було залишено, а згодом посаджене на мілину біля єгипетського узбережжя, де його взяли під контроль рятувальники. Пожежу вдалося загасити, судно відбуксировували на Мальту, а потім й до Хорватії для ремонту. В ході проведених розслідувань виявилось, що вибухи та пожежа на палубі були спричинені вантажем гіпохлориту кальцію внаслідок його забруднення у процесі виробництва або під час транспортування.

11 листопада 2002 року в трюмі ліберійського контейнеровозу Nanjin Pennsylvania, що прямував до Гамбурга (Німеччина), в 150 км на південь від узбережжя Шрі-Ланки почалася пожежа [25]. Зайнялися і вибухнули ємності з фосфором та піротехнікою. Велика пожежа змусила екіпаж покинути судно, двоє людей загинуло. Судно було відбуксировано до порту для розвантаження, а потім продано на розбирання. Тим не менш, корпус був куплений британською компанією, яка уклала контракт з китайською верф'ю на повну перебудову корабля.

Нова версія Hanjin Pennsylvania тепер має назву Norasia Bellatrix. Експерти припустили, що ймовірною причиною вибуху став контейнер із феєрверками. Дійсно, за даними керуючої компанії Hanjin Shipping, імовірно, пожежа виникла у трюмі, хоча феєрверки мали перевозитися на палубі. Подібність вибухів і пожежі на борту Hanjin Pennsylvania нагадує нещасні випадки при перевезенні гіпохлориту кальцію, що був визначений як головна причина займання (наприклад, як у випадку CMA Djakarta).

У 2003 році на судні Sea Elegance під прапором Сінгапуру, трапився інцидент при перевезенні гіпохлориту кальцію [3]. 11 жовтня 2003 р. під час плавання з Порт-Луї (Республіка Маврикій) до Дурбану (Південна Африка) стався вибух. Пожежа, ймовірно, виникла у контейнері із 20 т гіпохлориту кальцію, що знаходився у вантажному трюмі № 6. Також зазначено, що вантаж не був задекларований як «небезпечний».

Судно MSC Flaminia. IMO 9225615, дедвейт 85823, місткість 6750 TEU, споруди 2001 року, прапор Німеччина, компанія-оператор: MSC Mediterranean Shipping Co., Швейцарія [26]. Інцидент трапився 14 липня 2012 року. Характер: Займання в трюмі. Судноплавна компанія заперечує перевезення небезпечного вантажу (calcium hypochlorite), посилаючись на вантажні маніфести.

29 серпня 2013 пожежа виникла в двох контейнерах в носовій частині контейнеровоза Maersk Kampala. Складні погодні умови перешкоджали ефективній роботі пожежних буксирів. Повідомляється, що пожежа виникла в контейнері понизу штабеля, а потім поширилася на інший контейнер. Maersk Kampala прямував на північ у бік Суецького каналу, коли почалася пожежа [27].

M/V CCNI Arauco. Пожежа виникла на контейнеровозі в Гамбурзі через вибух контейнера [28]. Вогонь ліквідували пожежники Гамбурга, екіпаж судна евакуйований. Місткість контейнеровоза становить 9 тис. TEU, небезпечні вантажі на ньому задекларовані не були.

11 липня 2015 року в Східнокитайському морі сталася пожежа на контейнеровозі Kamala під прапором Ліберії, що виходив з порту Гресик, Індонезія, в Ульсан, Південна Корея [29]. Пожежа почалася рано вранці приблизно на відстані

400 кілометрів на захід від Кучіношіми, одного з островів Токара в японській префектурі Кагосіма. Вміст контейнерів, що стали причиною пожежі, не зазначено.

Одна з найбільших пожеж сталася на борту контейнерного судна Hanjin Green Earth, коли воно проходило Суецький канал у північному напрямку [30]. Займання сталося рано вранці 1 травня 2015 року. Пожежа була узята під контроль рятувальною службою каналу, що дозволило контейнеровозу вийти в Середземне море. Судно кілька діб дрейфувало в районі Порт-Саїда, поки рятувальні судна і кораблі військово-морського флоту Єгипту зі змінним успіхом гасили пожежу. Операція проходила під постійною загрозою забруднення акваторії шкідливими речовинами. Причини спалаху не зазначені.

Контейнеровоз X-Press Pearl, який був введений в експлуатацію в лютому 2021 року і знаходився під керуванням сінгапурської компанії X-Press Feeders [31], [32]. Судно перевозило небезпечні вантажі, зокрема такі як азотна кислота, кілька контейнерів із пластиковими гранулами й хімічні речовини. За словами судновласника, на борту судна було близько 350 тон мазуту. 20-го травня, коли судно підійшло до порту Коломбо (Шрі-Ланка), на борту спалахнула пожежа. 25-го числа екіпаж було евакуйовано. Велика кількість контейнерів опинилась за бортом, а пластикові гранули і сміття було викинуто на пляжі на південному заході Шрі-Ланки. Пожежа вирувала з 20 травня по 1 червня, знищивши весь корабель. Незважаючи на спробу відбуксирувати судно, судно затонуло 2-го червня. 6-го числа влада Шрі-Ланки надала запит про допомогу, наголошуючи на необхідності обладнання й досвіду (як на місці, так і дистанційно) від ООН.

Таким чином, із дев'яти наведених прикладів, у описах трьох фігурує гіпохлорит кальцію (приблизно 33,3% вибірки), у двох випадках причиною визначені небезпечні вантажі інших категорій. В решті випадків інформація щодо причини займання або відсутня, або наведена в якості посилання на можливий або встановлений факт незадекларованих небезпечних вантажів.

Згідно з інформацією наданій у дослідженні [3], до таблиці 1.1 зведені дані щодо причин виникнення пожеж при перевезенні контейнерних вантажів. Із наведених даних можна зробити висновок, що гіпохлорит кальцію, як причина

займання, займає близько 33.3% з усіх наведених типів вантажів, на другому місці деревне вугілля – близько 18%, та акумуляторні батареї – близько 5%. В додаток до окремих причин займання, що притаманні відповідним вантажам (наприклад, для акумуляторних батарей одним із критичних факторів було визначення виникнення реакції теплового розгону внаслідок прямого контакту катоду й аноду, тобто короткого замикання батареї), у багатьох випадках, враховуючи інші відповідні до конкретних вантажів умови, одним із ключових факторів, сприяючих займанню, було визначено підвищення температури зовнішнього середовища до критичного для відповідних обставин і умов рівня.

Таблиця 1.1 - Вантажі, що визначені як причини виникнення пожежі

<i>Тип вантажу</i>	<i>Кількість випадків</i>
Гіпохлорит кальцію	13
Деревне вугілля	7
Акумулятори	2
Текстильні вироби	1
Метил-етил кетони	1
Чистячі засоби	1
Гіпохлорит натрію	1
Добрива	1
Пентан та ізо-пентан	1
Інші	11

Джерело: дослідження [3]

Таке підвищення може бути викликано різними джерелами, такими як інфрачервона сонячна радіація, тертя через вібрацію, підвищена температура поверхні паливних танків, випромінюване тепло працюючих рефрижераторних контейнерів, тощо.

Наведені матеріали підкріплюють думку про актуальність питання підвищення безпеки при перевезенні вантажів й зниження аварійності на флоті

як в цілому, так і в окремих аспектах безпеки, наприклад, її пожежної складової, зокрема при перевезенні небезпечних вантажів й вантажів схильних до займання на контейнерному флоті. Дані питання потребують подальшого огляду сучасних систем температурного контролю та спостереження вантажів й пожежної безпеки, а також визначення напрямків для мінімізації ризиків, що притаманні контейнерному флоту загалом.

1.2. Визначення напрямків мінімізації ризиків притаманних контейнерному флоту

Згідно дослідження [11], до відмінностей, що зумовлюють специфіку експлуатації суден контейнерного флоту, серед іншого, можуть бути віднесені наступні:

1) Особливості конструкції, що характеризуються розділенням вантажного простору судна на секції (bays) і в загальному випадку дозволяють розміщувати два двадцяти-футових або один сорока-футовий контейнер в межах такої секції.

2) Особливості проведення вантажних операцій, пов'язані з тим, що завантаження й вивантаження судна може бути проведене одночасно при достатньо високих нормах вантажних робіт, а вантажні маніфести супроводжують лише спеціальні вантажі, чим підвищуються ризики виникнення ситуацій з незадекларованими вантажами, тощо. З іншого боку, високі темпи вантажних робіт займають далеко не останнє місце й серед інших чинників, що впливають на фізичний і моральний стан екіпажів, навантаження, втому, тощо. В цьому аспекті, слід також підкреслити, що дане питання невід'ємно пов'язане із питанням конструктивних особливостей судна.

3) На відміну від інших типів суден, наприклад, балкерів чи танкерів, кількість вантажоодержувачів у відповідності до контейнерного судна водночас дуже велика. Даний факт, серед іншого, якщо напряму і не впливає на якість перевезень, то може наявно відображати рівень попиту на такі перевезення, що в

свою чергу і в сукупності з іншими факторами, може нести негативні наслідки для безпеки в галузі.

4) Достатньо велика швидкість перевезень, що характерна для контейнерного флоту може негативно впливати на навігаційну безпеку. Також великі розміри суден потребують окремої уваги при маневруванні в акваторіях портів, достатньої кваліфікації екіпажів, тощо.

Базуючись на інформації щодо особливостей контейнерних перевезень, даних аварійності і аналізу ризиків, аварійні ситуації може бути згруповано до чотирьох категорій [11]:

- аварійні ситуації навігаційного характеру;
- аварійні ситуації пов'язані з перевезенням вантажів;
- аварійні ситуації пов'язані з роботою обладнання;
- аварійні ситуації пов'язані з впливом людського фактору.

Хоча таке розділення може бути виконано достатньо умовно, воно дозволяє в загальному випадку провести оцінку ризиків. За результатами такої оцінки, в роботі [11] було визначено шість незалежних чинників, сприяючих розвитку надзвичайної ситуації:

- недостатнє інформаційне забезпечення;
- застарілість систем і/або обладнання;
- недостатня підготовка плавскладу і недостатній досвід;
- помилки рівня керування;
- втома;
- необхідність поновлення/переробки відповідної нормативної бази.

З метою мінімізації ризиків було визначено наступні засоби контролю:

- 1) впровадження нових і вдосконалення існуючих методів інформаційного забезпечення;
- 2) забезпечення регулярного незалежного контролю за станом обладнання;
- 3) контроль рівня компетентності екіпажів, шляхом підвищення кваліфікації плав складу відповідно до сучасних вимог практики;

- 4) більш щільний контроль відповідності системи управління безпекою (СУБ) компанії до міжнародних вимог;
- 5) перегляд вимог до умов та часу роботи й відпочинку;
- 6) адекватність нормативної бази до реальних обставин праці.

Таким чином, рівні ризику потенційно можуть бути знижені за рахунок впровадження запропонованих засобів контролю, однак з іншого боку необхідно підкреслити, що через нестабільність і невизначеність самої системи «людина - суднові операції - зовнішні фактори» в загальному сенсі, робота такої системи, за своєю природою, не може бути зведена до конкретного алгоритму, який гарантовано буде виконуватись. Проте, з огляду на зазначене, доцільно подальше розглядати можливості удосконалення існуючих процесів й засобів, зокрема з точки зору перспективи науково-технічних розробок, що можуть бути імплементовані у галузі із метою підвищення безпеки суднових операцій і мінімізації ризиків.

В цьому контексті, впровадження, серед іншого, систем підтримки прийняття рішень і додаткових систем контролю й спостереження, в тому числі і за станом вантажів, з точки зору реалізації інструментів інформаційного забезпечення і суднового обладнання, могли б позитивно сприяти зниженню ризиків на флоті.

1.3. Огляд сучасних суднових систем пожежної безпеки і температурного контролю за станом вантажів

Комерційні проблеми, такі як зменшення кількості екіпажів на борту, часто переважають над питаннями безпеки. Такий факт підтверджується на практиці: кількості екіпажів суден при їх місткості від 3000 TEU до 20000 TEU варіюються незначно або взагалі не відрізняються. Згідно з дослідженнями, представленими в [3], які базуються на даних EMSA, та ряді інших публікацій, таких як [33]–[37], можливо надійти висновку, що з точки зору безпеки конструкція надвеликих контейнеровозів базується на тих самих принципах, що і для суден менших розмірів. Таким чином, хоч і очікувалося, що такий підхід зможе виконувати визначені для нього функції досить ефективно, сукупність зазначених й інших

факторів призводить до ряду труднощів як, наприклад, зростання навантаження на суднові екіпажі, що, в свою чергу, провокує підвищення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема, посилення шкідливого впливу людського фактору. Крім того, високий рівень навантаження поширюється на всі сфери діяльності екіпажів: від обслуговування судна, його обладнання і механізмів, до контролю за безпекою транспортного процесу, контролю стану вантажів. В цьому аспекті, слід ще раз відмітити важливість окремої уваги для спеціальних, а саме: рефрижераторних, негабаритних і небезпечних вантажів, оскільки перевезення, в особливості небезпечних вантажів, несе в собі невід’ємні ризики, які можуть призвести до надзвичайних ситуацій. Це ставить під загрозу не лише саме судно і його вантажі, а й, що більш важливо, життя людей.

Вимоги до забезпечення суден системами пожежної безпеки регламентуються Конвенцією СОЛАС [38] і Міжнародним кодексом по системам пожежної безпеки [39] відповідно до глави II-2 зазначеної Конвенції. Враховуючи те, що згідно до правила 3 глави VII Конвенції СОЛАС встановлюється, що транспортування небезпечних вантажів в тарі повинно відповідати до положень Міжнародного кодексу морського перевезення небезпечних вантажів (МКМПНВ – The International Maritime Dangerous Goods Code, IMDG Code), у конструктивному аспекті і додатково до інших вимог при перевезенні небезпечних вантажів, відповідно до правила 19 частини G глави II-2 Конвенції СОЛАС, «... із метою впровадження додаткових заходів безпеки у відношенні цілей пожежної безпеки даної глави, для суден, що транспортують небезпечні вантажі... пожежні системи повинні забезпечувати захист судна від небезпек пов’язаних із перевезенням небезпечних вантажів...».

У відповідності до Конвенції СОЛАС, не обмежуючись зазначеним, можна виділити наступні цілі пожежної безпеки:

- запобігання виникненню займання та вибуху;
- зниження ризиків загрози життям, що можуть бути спричинені пожежею;

- зниження ризиків спричинення шкоди від пожежі судну, його вантажу та зовнішньому середовищу;
- стримування, контроль та придушення вогню та вибуху у відділенні джерела займання;
- впровадження відповідних та доступних засобів евакуації для пасажирів та екіпажу.

З метою досягнення зазначених цілей, наступні функціональні вимоги втілені у главі II-2 Конвенції СОЛАС [40]:

- розділ судна на головні вертикальні та горизонтальні зони за тепловими та конструктивними границями;
- відокремлення житлових від решти суднових приміщень;
- обмеження використання легкозаймистих матеріалів;
- визначення пожежі в області джерела займання;
- забезпечення засобів евакуації та доступ до протипожежного обладнання;
- мінімізація імовірності спалаху займистих парів вантажу.

Системи виявлення пожежі розробляються для швидкого визначення займання й надання відповідного попередження судновому екіпажу, з метою надання можливостей для ефективного реагування на небезпеку, контролю та тушіння вогню, запобігання руйнуванню й нанесенню шкоди судну, вантажу і людським життям. В загальному вигляді «конвенційні» системи складаються із центрального модуля й моніторингової панелі (можливі додаткові репітерні панелі); комбінації теплових датчиків, датчиків диму й датчиків полум'я; ручних сповіщувачів про пожежу; звукових та світлових сигналізаторів про тривогу. Системи можуть бути як достатньо простими у виконанні, так і більш комплексними. Така система не може використовуватись для будь-яких інших цілей, ніж закриття протипожежних дверей й інших відповідних функцій, що дозволені на контрольній панелі [38]–[40]. Кожна пожежна система повинна мати, як найменш два окремих джерела живлення, один з котрих є аварійним й під'єднується автоматично у випадку проблеми живлення з основного джерела.

Пожежна система повинна бути працездатна в будь-який час, з постійним моніторингом за станом живлення й інших електричних ланцюгів. Контрольна панель повинна розташовуватись на містку й на головній пожежній станції. Датчики та ручні сповіщувачі повинні бути згруповані в секції, а активація будь-якого з них повинна ініціалізувати звукову і візуальну сигналізацію на контрольній панелі й інших засобах інформування про тривогу. У випадку, коли сигнал не був підтверджений протягом двох хвилин, система повинна надавати звуковий сигнал на житлові приміщення, стації керування і головні машинні відсіки.

З точки зору принципу, що використовується для визначення займання, виділяють наступні типи пожежних датчиків й систем їх комбінацій [40]: теплові датчики, іонізаційні датчики диму, оптичні датчики диму, фото-термальні датчики, датчики полум'я, датчики променів, лінійні теплові датчики, іскро-безпечні системи.

Теплові датчики надають сигнал про пожежу, коли визначена температура перевищує задане граничне значення [40]. Звичайно таке значення знаходиться у проміжку від 54°C до 78°C . Однак, в деяких випадках, як, наприклад, при розміщенні датчиків цього типу у приміщеннях із більш високою температурою середовища, можуть використовуватись сенсори із вищим значенням температури на нижній границі зазначеного проміжку.

Іонізаційні датчики диму використовують низькоактивну радіоактивну фольгу для виявлення пожежі шляхом опромінення повітря в димовій камері, що викликає потік струму [40]. Якщо дим потрапляє в камеру, потік струму зменшується, що призводить до сигналізації про пожежу.

Оптичні датчики диму [40], [41] використовують джерело світла для визначення затемнення чи розсіювання світла, що виникає в результаті надходження часток диму до димової камери. Більш сучасні прилади можуть використовувати лазери. Вони можуть визначати видимий дим, що виробляється матеріалами під час тління або повільного горіння, наприклад, м'яка фурнітура, пінопласт, або дим від перегрітого, але не палаючого ПВХ (полівінілхлорид).

Фото-термальні системи поєднують в собі оптичні датчики диму із тепловими сенсорами, що порівнюють факт наявності диму із наявними рівнями температури [40]. Сигнал про пожежу надається лише тоді, коли таке порівняння вказує на виникнення займання. Така комбінація сенсорів допомагає знизити випадки хибних сигналів.

Датчики полум'я звичайно базуються на використанні чутливих елементів, що працюють у інфрачервоному та ультрафіолетовому спектрах [40]. Ультрафіолетові пристрої загалом мають один чутливий елемент із вузьким спектром реакції, що допомагаю відрізняти пожежу від інших джерел випромінювання. Хоча частіше можуть зустрічатися пристрої інфрачервоного спектру. Вони працюють на більш ніж одній довжині хвилі і реагують на електромагнітне випромінювання, що є результатом горіння вуглецевих і вуглеводневих матеріалів, й на частоти мерехтіння полум'я. Слід відмітити, що такі системи повинні бути захищені від виникнення хибних сигналів від сонячної радіації.

Датчики променів використовують інфрачервоний світловий промінь, що надходить від передавача одного пристрою до приймача іншого [40]. При відсутності диму у повітрі приймач отримує весь промінь від передавача. В іншому випадку, коли дим від пожежі затемнює промінь, надається сигнал про пожежу.

До типу лінійних теплових датчиків включають трубки під тиском [40], кабелі, що містять діелектричні матеріали, оптоволоконні кабелі та інші системи. Вони використовуються в місцях із ускладненим доступом і там, де неможливе використання датчиків диму. Датчики цього типу фіксують пожежу вздовж всієї своєї довжини та можуть мати різні порогові значення температур для надання сигналу про пожежу, в залежності від місця свого застосування.

Іскро-безпечні системи використовуються у місцях, де можуть знаходитися вибухонебезпечні суміші газів та повітря, незалежно від того, чи є вони схильними до займання безперервно, чи випадково [40]. В цих умовах, усі електричні прилади, включаючи пожежні системи та датчики, повинні бути

виготовлені й встановлені таким чином, щоб не спалахнути будь-яку вибухонебезпечну суміш не тільки в умовах нормальної роботи, але й у разі несправності. Загалом, такі умови можуть виникати на танкерах, газозовозах й у приміщеннях для збереження розчинників та летючих речовин. Іскро-безпечні системи працюють на таких електричних й теплових рівнях, що не провокують процеси займання.

На думку Хеллс Хаммера, голови політичного форуму Міжнародного Союзу Морського Страхування (The International Union of Marine Insurance, IUMI [2]) «... правові вимоги, передбачені Конвенцією СОЛАС, насамперед були розроблені з точки зору пожеж на борту суден, що перевозять генеральні вантажі, коли ці судна конструктивно сильно відрізняються від контейнеровозів...» і викладений у Конвенції режим пожежогасіння «...не підходить для сучасного контейнеровозу...».

Водночас існує ряд досліджень, присвячених темі вдосконалення існуючих і/або розробці нових систем й методів пожежної безпеки різного призначення, котрі, в рамках окремих досліджень, потенційно можуть бути імплементовані до застосування на суднах, враховуючи вимоги відповідних нормативних документів.

Дослідження [4] пропонує систему виявлення і гасіння пожежі для розумного вантажного контейнеру. В ході цього дослідження було виконано серію чисельних моделей поширення диму і еволюції пожежі, проведено оцінку ефективності виявлення пожежі в контейнері при різних сценаріях пожежі з метою визначення найгіршого варіанту й оптимізації розташування та налаштування порогових значень датчиків виявлення пожежі для досягнення найкоротшого часу виявлення. Аналізуючи результати моделювання, було встановлено, що представлена модель може бути реалізована з одним детектором диму, розміщеним в центрі стелі контейнера. Він може виявити пожежу всередині контейнера протягом 60 секунд незалежно від того, де почалася пожежа. Однак незважаючи на переваги, наприклад, у вигляді швидкості виявлення займання,

слід підкреслити, що така система вимагає встановлення до розумного вантажного контейнеру.

У дослідженні [42] пропонується ефективний чотирьох-етапний алгоритм виявлення диму за допомогою відео-зображень. На першому етапі методом наближеної медіани сегментуються рухомі області у відеокадрі. На другому етапі використовується метод нечітких середніх для кластеризації потенційних областей з димом серед рухомих областей із попереднього етапу. На третьому кроці для вилучення набору параметрів використовується метод вилучення параметрів з просторових і часових характеристик областей-кандидатів диму; ці параметри включають вектор руху, шорсткість поверхні та випадковість площі диму. На четвертому етапі параметри, отримані з третього етапу, використовуються як вхідні вектори ознак для навчання машинного класифікатора опорних векторів, який потім, в свою чергу, використовується для прийняття рішення про пожежу. Слід відзначити, що у зазначеному дослідженні не була проведена оцінка ефективності пропонованої моделі при використанні із великою кількістю й різноманітністю оброблених зображень й сценаріїв. Таким чином, запропонована модель потребує подальшого дослідження.

У дослідженні [5] представлено диференціальний піроелектричний інфрачервоний датчик (PIR) й метод на основі глибоких нейронних мереж для виявлення пожежі в режимі реального часу. Оскільки такий датчик чутливий до раптових рухів тіла та посилає безперервний сигнал, що змінюється в часі, метою експерименту був збір даних щодо рухів людей й полум'я за допомогою PIR - датчику. Ці сигнали обробляються за допомогою одновимірного безперервного вейвлет-перетворення для виділення відповідних ознак. Отримані вейвлет-коефіцієнти перетворюються на зображення спектру RGB (RGB – red, green, blue), що потім використовуються як вхідні дані для глибокої згорткової нейронної мережі. Зазначається, що запропонована модель знижує рівень помилкової тривоги на 65,66%, а коефіцієнти виявлення фону (без руху), типів пожежі та рухів людини становлять 99,71%, 95,34% і 92,39% відповідно. Однак, незважаючи на заявлену ефективність, з точки зору реалізації даної системи у

контексті використання на борту контейнерного судна із метою моніторингу стану вантажів та пожежної безпеки, виникають декілька питань, що потребують подальшого дослідження, наприклад: здатність зазначеної системи виявляти не відкрите полум'я, а займання всередині вантажного контейнера на більш ранній стадії, ніж, наприклад, «конвенційний» датчик полум'я; визначення необхідної кількості сенсорів, враховуючи їх технічні характеристики, оскільки, із розрахунку один сенсор на один контейнер, навіть для контейнеровоза у 3000 TEU може знадобитися 3000 датчиків, що провокує виникнення питання їх розміщення та подальшого обслуговування; тощо. Слід відмітити, що використання цифрових нейронних мереж може бути доцільним при вирішенні задач відповідних до завдань пожежної безпеки та моніторингу стану вантажів, а саме, наприклад, для прогнозування виникнення займання за умови обмеженої або недостатньої кількості датчиків для покриття спостерігаємих об'єктів, в якості додаткового функціоналу до «конвенційних» систем.

З метою покращення ефективності існуючих судових систем пожежної сигналізації, дослідження [6] пропонує пристрій із подвійним датчиком та застосуванням сіро-нечіткого алгоритму: розроблена адаптивна система нечіткої класифікації з автоматично згенерованою базою правил для найбільш точної реакції виявлення пожежі на вихід пари датчиків (одна температурна термопара К-типу та один аналоговий фотоелектричний датчик диму) та дві альтернативних сірих моделі прогнозування тенденцій у зміні температури та даних про дим в реальному часі для раннього попередження про пожежу. Виявлені результати для кожної ситуації обробляються комп'ютером, який перевіряє поведінку реакції альтернативних нечітко-сірих варіантів й обирає набір оптимальних параметрів. За результатами дослідження зазначена система може надавати сигнал про пожежну тривогу від 30 с до 60 с раніше, ніж звичайна система. Як зазначають самі автори, при впровадженні запропонованої моделі до систем судна можуть виникати питання стосовно її реальної експлуатації, що пов'язані із параметрами навколишнього середовища, оскільки воно може змінним, наприклад, в залежності від району плавання, типу судового приміщення, тощо. Таким

чином, така система потребує подальшого дослідження, в особливості з точки зору її використання у реальних умовах.

Система, описана у дослідженні [43] використовує відео зображення для визначення займання. Забезпечує регулярне спостереження, зберігає отримане зображення у момент надання сигналу тривоги про пожежу та, як зазначають автори дослідження, таким чином може використовуватись для розслідування причин займання. Однак, з точки зору впровадження такої системи для спостереження за вантажем з метою більш раннього виявлення займання залишаються питання, оскільки полум'я в зазначеній моделі фіксується тільки за його зображенням у видимому спектрі. Таким чином, ефективність такої системи при наявності задимлення чи полум'я в середині вантажного контейнера потребує окремого дослідження.

Намагаючись вирішити проблему помилкових спрацьовувань, робота [44] описує метод швидкого виявлення пожежі за задимленням. Запропонований алгоритм спирається на кольорові та дифузійні характеристики диму, а також підраховує кількість пікселів у кожній потенційній області диму, оброблюючи відео зображення. Однак, як було зазначено авторами, дана модель має недолік, що потребує подальшого доопрацювання, виражений в тому, що іноді система може самотійно провокувати помилкові сигнали.

Враховуючи вищезазначені дослідження можна надійти висновку, що з метою належного контролю за вантажами та забезпечення можливостей раннього виявлення пожежі, необхідна така система, що зможе поєднувати в собі переваги інших моделей, мінімізуючи вплив їх недоліків. Серед таких особливостей/вимог можна виділити: моніторинг температурного стану вантажів в режимі реального часу; можливість збереження даних щодо обставин події засобами відео чи фото фіксації з метою їх подальшого надання в якості слідчих матеріалів у разі необхідності; надання оператору наявної фото та відео інформації за станом вантажів у реальному часі, що може допомогти у вирішенні питання зниження навантаження на суднові екіпажі з точки зору виконання та організації патрулів безпеки й моніторингу небезпечних вантажів; обробку

отримуваних фото та відео даних в реальному часі та впровадження алгоритмів прогнозування ймовірного займання за обмеженими даними; визначення точного місця займання, мінімізуючи організаційно-технічні аспекти встановлення й впровадження такої системи.

Базуючись на ідеї, що типовою проблемою суднових екіпажів у боротьбі із пожежею є питання наявності достатнього запасу часу для ідентифікації джерела займання, його місця знаходження, у роботі [3] пропонуються деякі типи сенсорів із варіантами їх розміщення, що зведені до таблиці 1.2, з метою вдосконалення існуючих методів виявлення займання.

Аналізуючи представлені дані, слід відмітити, що розміщення датчиків і систем у контейнерах може зустрічати ряд складнощів. На рис. 1.1 схематично представлений варіант розміщення такої системи у загальному вигляді відповідно до дослідження [3], де в якості сенсора схематично зображений датчик будь-якого відповідного типу.

Таблиця 1.2 – Сенсори та варіанти їх розміщення відповідно до дослідження [3]

№.	Тип сенсору	Розміщення
1	Температурний сенсор	У кожному контейнері
2	Бездротовий датчик диму	У кожному контейнері
3	Термальна камера (тепловізор)	На палубі чи у трюмі
4	Сніферний (аспіраційний) детектор диму	У кожному контейнері (у вентиляції) або на судні біля кожного контейнерного ряду
5	Інфрачервоний спектроскоп	На судні, але за умови покриття всіх визначених до спостереження контейнерів полем зору сенсора
6	Детектор легкозаймистих газів	У кожному контейнері
7	Безпілотний літальний апарат для моніторингу розвитку пожежі	На палубі чи у трюмі

Слід відзначити, що на представлений схемі зв'язок між контейнерами всередині вантажного трюму та передавачем організовано бездротовим шляхом. Загалом така модель подібна до моделі представленої у дослідженні [4], що пропонує встановлення датчиків диму всередині контейнера. При більш детальному розгляді такої концепції, по-перше, виникає питання про необхідну кількість сенсорів та їх розміщення. Як було зазначено на прикладі дослідження [5], визначення необхідної кількості сенсорів може стати достатньо вагомим питанням, оскільки, враховуючи їх технічні характеристики, із розрахунку, наприклад, один сенсор на один контейнер, навіть для контейнеровоза у 3000 TEU може знадобитися 3000 датчиків.

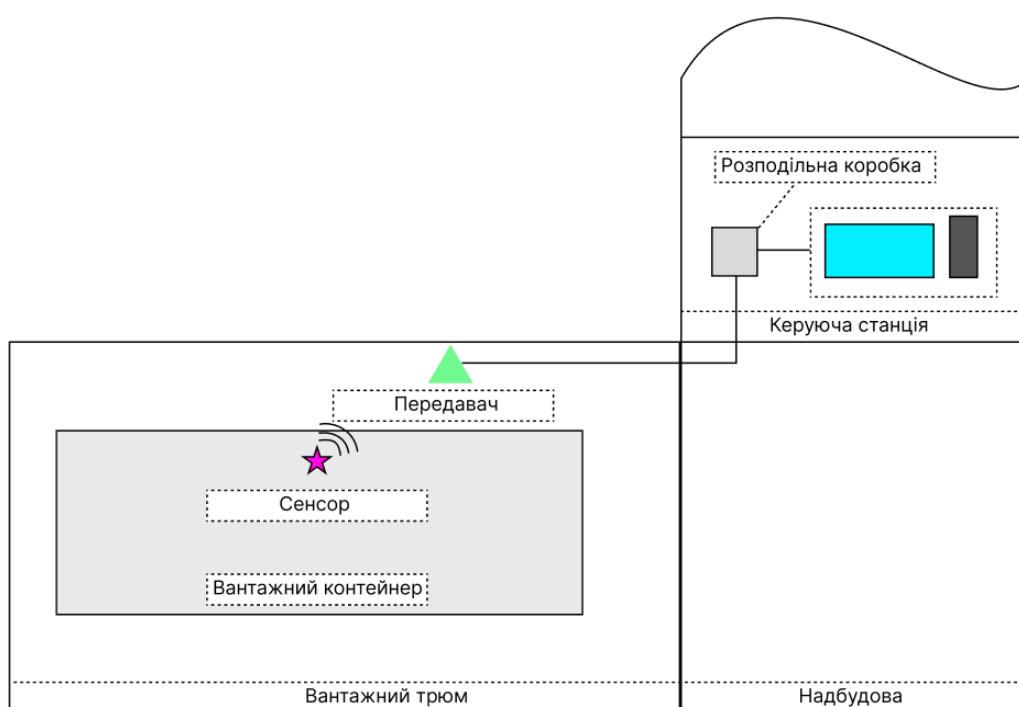


Рис. 1.1 – Схематичне зображення системи спостереження за вантажем із бездротовим зв'язком (варіант)

Автори дослідження [3] зазначають, що витрати на придбання датчику температури типу IC (інтегральний датчик температури) разом із бездротовим передавачем та акумуляторами може становити близько 20 дол. США. Оскільки, надвеликий контейнеровоз може перевозити понад 20 000 TEU, то тільки для однієї установки може знадобитися понад 10 000 датчиків, виходячи з умови, що судно завантажено 40-футовими контейнерами. А враховуючи розміри сучасного

контейнерного флоту кількість датчиків може стати надзвичайно великою. Як наслідок, дана проблема провокує виникнення ще й інших питань, а саме: розміщення; подальшого обслуговування; організації комунікацій всередині системи; укладці кабелів для передачі даних; організації живлення датчиків всередині контейнерів, оскільки, навіть при живленні від акумулятору, слід організувати їх обслуговування та підзарядку або своєчасну заміну, що може тягнути за собою питання комерційного та організаційно-технічного характерів; тощо. По-друге, слід підкреслити, що частина системи, в такому випадку та в залежності від обраної архітектури, котра повинна бути встановлена не на судні, а у контейнерах, що можуть знаходитись у власності різних компаній, додатково виводить проблему впровадження такої концепції із технічної площини до комерційної і логістичної. Отже у відповідності до моделі [4], така концепція системи спостереження за вантажем та пожежної безпеки може розглядатись в рамках «розумного контейнеру» [45], але її імплементація на контейнеровозі, враховуючи велику кількість контейнерів, хоч і має переваги у швидкості визначення займання перед конвенційними системами, наразі потребує подальшого дослідження у комерційному аспекті та з точки зору її реалізації, оскільки навіть за методами системи моніторингу рефрижераторних вантажів [46] й за умовою меншого споживання електроенергії, може вимагати організації достатньої кількості роз'ємів підключення до систем електроживлення судна. Таким чином, із зазначених у таблиці 1.2 співвідношень типів сенсорів до відповідних запропонованих місць розташування, з метою надання більш повної і ранньої інформації щодо займання, залишаються лише два: теплові камери та безпілотний літальний апарат для моніторингу розвитку пожежі.

Також існує ряд моделей [47]–[51], описи яких надаються нижче, відповідно до їх патентної документації, хоча в повній мірі вони не зазначають недоліки й переваги таких моделей в контексті застосування, а лише характеризують відповідні конфігурації.

Модель [47] являє собою систему виявлення пожежі на судні, що включає в себе сенсори для виявлення тепла, диму і витоку електроенергії. Коли два або

більше значень, визначених кожним датчиком, є такими, що перевищують контрольне значення і не є нормальними в рамках налаштування системи – така ситуація визначається як «пожежа». Зазначена модель відрізняється тим, що для досягнення вищезазначеної мети містить не тільки датчики температури і диму, а також датчик витoku на землю, на випадок несправності електропроводки, і модуль виявлення морської погоди, налаштований на визначення концентрації туману. Описана система складається з: модуля перетворення, який отримує аналогові дані з відповідних датчиків, перетворює їх до цифрового вигляду; блока визначення пожежі, що включає модуль визначення та передачі даних; блока оповіщення про пожежу, який отримує інформацію про факт виникнення пожежі та її місце знаходження від блоку визначення, подає тривогу у разі необхідності та повідомляє про місце займання; та блока керування, включаючи модуль керування пристроєм пожежогасіння, які отримують інформацію про пожежу, розраховану блоком визначення.

Модель [48] являє собою систему забезпечення виявлення пожежі на судні, що виникає в просторі всередині машинного відділення, де розміщено критичне обладнання, пр. двигун, генератори, тощо, і визначення місця займання. В розробленій моделі простір у машинному відділенні судна розділено на секції. У кожній секції розташовуються датчики, і кожна частина датчика може окремо виявляти пожежу, що виникає в кожній із заданих секцій. Відрізняється тим, що кожен такий пожежний датчик складається з декількох суб-датчиків, а саме містить: ультрафіолетовий сенсор, який видає сигнал про пожежу за допомогою ультрафіолетових променів, які прямо або опосередковано падають на нього від полум'я вогню, та інфрачервоний сенсор, який видає сигнал про пожежу, відповідно до інфрачервоного випромінювання. Сигнали пожежного датчика надходять на панель керування пожежного монітора. Пульти керування пожежного монітора вирішує за отриманими до нього сигналами чи має місце займання, і визначає його ділянку у випадку пожежі.

Модель [49] являє собою систему й спосіб виявлення місця пожежі за допомогою лазерного далекоміра. Інфрачервона камера, що також є складовим

елементом системи, фотографує зображення в інфрачервоних променях. ПЗЗ-камера (прилад із зарядовим зв'язком) також генерує відповідні зображення. Відрізняється тим, що модуль-контролер визначає стан виникнення пожежі шляхом аналізу переданого інфрачервоного зображення та аналізу зони пожежі через ПЗЗ-камеру відповідно до стану займання. Після цього, використовуючи значення координати положення установки інфрачервоної камери, значення відстані, отримане від лазерного далекоміру і значення кута фотографування, отримане від інфрачервоної камери, контролер визначає відстань до полум'я і інші параметри пожежі та виводить зображення інфрачервоної камери або ПЗЗ-камери на термінал диспетчерської, керує сигналізацією. Блок сигналізації видає звуковий сигнал або повідомлення тривоги відповідно до сигналів з контролера.

Модель [50] являє собою інтелектуальний пристрій виявлення полум'я й метод з використанням інфрачервоної термографії, здатний підвищити точність пожежної тривоги. Складові частини зазначеної моделі: інтелектуальний детектор полум'я, датчик виявлення полум'я, інфрачервона тепловізійна камера, модуль керування, блок прийому сигналу виявлення полум'я, блок обробки зображень, блок оцінки пожежі, блок виходу сигналу тривоги, модуль зв'язку. Відрізняється тим, що в даній моделі інфрачервона термографічна камера і метод інфрачервоної термографії поєднані із датчиком виявлення полум'я, щоб забезпечити точне розпізнавання сигналу пожежі. Це дозволяє оцінити отриманий від датчика виявлення полум'я сигнал: чи є він хибним, чи коректним.

Модель [51] являє собою пожежний сповіщувач, а також метод, що виявляють пожежу за інфрачервоним тепловим зображенням, передбачені для точного визначення займання шляхом порівняння значення температури полум'я пожежі, що зберігається в пам'яті, й виявленого значення температури. Пожежний сповіщувач, який виявляє пожежу за інфрачервоним тепловим зображенням, складається з камери, пам'яті, контролера і сигналізації. Модуль камери складений із суб-частин: одна частина заявленого модуля включає інфрачервону камеру, яка записує область моніторингу пожежі в інфрачервоному зображенні. Інша частина передає записане інфрачервоне зображення на контролер.

Інфрачервоне зображення, яке передається від суб-модуля камери, керуючись контролером, зберігається у модулі пам'яті. Описана модель відрізняється тим, що у її пам'яті зберігається визначена кількість шаблонів полум'я та значень його температур в залежності від виду пожежі. Контролер витягує значення температури з інфрачервоного зображення, яке передається від камери. Після цього, контролер виявляє пожежу шляхом порівняння значення температури полум'я, що зберігається в пам'яті, з отриманим значенням температури. Модуль тривоги видає звуковий сигнал або повідомлення відповідно до сигналу з контролера.

Аналізуючи матеріали наведених досліджень можна надійти висновку, що до такого обладнання, яке б відповідало до особливостей/вимог, що були сформульовані вище з точки зору реалізації належного контролю за вантажами та забезпечення можливостей раннього виявлення пожежі, а саме: моніторингу за температурним станом вантажів в режимі реального часу; можливості збереження даних щодо обставин події засобами відео чи фото фіксації з метою їх подальшого надання в якості слідчих матеріалів у разі необхідності; надання оператору наявної фото та відео інформації за станом вантажів у реальному часі, що може допомогти у вирішенні питання зниження навантаження на суднові екіпажі з точки зору виконання та організації патрулів безпеки й моніторингу небезпечних вантажів; обробки отримуваних фото та відео даних в реальному часі та впровадження алгоритмів прогнозування ймовірного займання за обмеженими даними; визначення точного місця займання, мінімізуючи організаційно-технічні аспекти встановлення й впровадження такої системи, можна віднести теплові камери (тепловізори).

1.4. Висновки до першого розділу

Збільшення розмірів контейнерних суден привносить свої змінні до питання безпеки перевезень вантажів. Незважаючи на великі розміри, з точки зору безпеки деякі конструктивні особливості надвеликих контейнеровозів базуються на тих самих принципах, що і для суден менших розмірів, що тільки підкреслює

інші фактори впливу на безпеку перевезення. Наприклад, надмірно велика кількість й щільність контейнерів на палубі й у трюмах, обмежений простір між штабелями і судновою конфігурацією, який незважаючи на значне збільшення розмірів загалом залишився без змін, означає, що будь-яку пожежу або вибух у контейнерах, розміщених, наприклад, всередині штабелю, дуже важко виявити на ранній стадії, контролювати і/або гасити.

З іншого боку, окремої уваги потребують питання перевезення спеціальних, а саме небезпечних, вантажів, які, згідно до наведених статистичних даних, можуть бути взагалі не задекларовані або задекларовані невірно, чи представлені до перевезення із порушеннями вимог відповідних нормативних документів. Таким чином, набуває актуальності проблема пожежної безпеки перевезення контейнерних вантажів, зокрема, надвеликими контейнеровозами, що, як наслідок, підкреслює важливість, в цьому аспекті, питання удосконалення процесу моніторингу стану вантажів й організації більш щільного їх контролю на борту контейнерних суден, зокрема за температурними показниками, враховуючи фактор навантаження на суднові екіпажи, що, в свою чергу, може провокувати підвищення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема, посилення шкідливого впливу людського фактору.

З огляду на існуючі системи пожежної безпеки і надання сигналів про пожежну тривогу, враховуючи матеріали наведеної статистики, напрямків мінімізації ризиків на флоті і зазначених факторів впливу на безпеку перевезення контейнерних вантажів, зокрема надвеликими контейнеровозами, були розглянуті дослідження щодо покращення існуючих і/або впровадження нових систем моніторингу й пожежної безпеки, що при подальшому дослідженні можуть бути розвинуті й імплементовані в якості систем температурного моніторингу контейнерних вантажів з метою раннього виявлення займання і його джерела. Також були розглянуті моделі відповідних систем з точки зору їх розміщення у контейнерах чи на судні; оцінені їх недоліки та переваги; виділені відповідні особливості/вимоги до таких моделей стосовно типу

використовуваних сенсорів, що були сформульовані в ході аналізу наведених матеріалів.

В якості датчиків, що найбільш чітко відповідають таким особливостям та вимогам, з метою встановлення моніторингу за контейнерними вантажами в режимі реального часу і покращення існуючих систем пожежної безпеки, запропоновано використання теплових камер. Їх встановлення у вантажному просторі судна може бути узгоджено, наприклад, з призначеними до перевезення небезпечних вантажів зонами, визначеними у відповідних судових документах (пр., Document of Compliance for the Carriage of Dangerous Goods), а також, в свою чергу, може спрощувати їх врахування під час складання вантажного плану. Таким чином, зумовлюється актуальність подальшого дослідження в напрямку можливого використання даних пристроїв в зазначеному контексті.

Зміст даного розділу викладено в роботах [11], [12], [14], [15], [18], [19].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вибір та обґрунтування напрямку дисертаційного дослідження

Як було попередньо зазначено, питання пожежної безпеки при перевезенні контейнерних вантажів, зокрема надвеликими контейнеровозами, наразі є актуальними. Їх актуальність обґрунтована оглядом й аналізом аварійності у галузі і вимагає організації більш щільного контролю й спостереження за станом вантажів, зокрема за їх температурними показниками, враховуючи посилення шкідливого впливу людського фактору внаслідок збільшення навантаження на суднові екіпажи, що, в свою чергу, може провокувати підвищення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. Окрема увага в даному контексті повинна приділятися питанню перевезення спеціальних, а саме небезпечних вантажів, в особливості при розгляданні причин й оцінці ризиків виникнення аварійних ситуацій, розробці відповідних превентивних і/або коригуючих мір. Небезпечні вантажі й вантажі, що потенційно схильні до спалаху, повинні розташовуватися там, де пожежу можна легко виявити і загасити. Такі розташування декларуються у відповідних суднових документах. Однак на практиці, мають місце випадки не задекларованих або неправильно задекларованих небезпечних вантажів. Таким чином, основним напрямком даного дисертаційного дослідження є удосконалення процесу моніторингу за температурним станом контейнерних вантажів в контексті забезпечення безпеки морських перевезень.

Для дослідження у визначеному напрямку у першому розділі була зазначена можливість використання термографічних приладів, а саме тепловізорів, за допомогою яких може бути зафіксовано інфрачервоне (ІЧ) випромінювання вантажів. Таке використання зумовлює необхідність визначення параметрів як самих тепловізорів, так і вихідних теплових зображень, враховуючи суднові умови перевезення контейнерних вантажів, а саме кутів огляду, випромінювальних здатностей поверхонь, тощо. В цьому контексті, також необхідно розробити метод ідентифікації контейнерного вантажу у вантажному

просторі контейнерного судна за його зображенням у випадку використання одиничного тепловізора, встановити схему розміщення визначених датчиків (сенсорів) і сформулювати алгоритми роботи системи у відповідності до такого розміщення. План розміщення повинен базуватись на технічних характеристиках обраних датчиків, а саме на визначенні їх сумарного поля зору. Відповідний алгоритм повинен реалізовувати наступні функції:

- отримання початкових даних від сенсорів;
- зіставлення отриманих даних до відповідних контейнерів в межах вантажного простору контейнерного судна;
- обробку отримуваних даних із метою визначення наявності займання та його локації у сумарному полі зору датчиків;
- врахування наявності і впливу можливих «сліпих зон» у полі зору сенсорів, що можуть бути зумовлені конфігурацією судна, на результат обробки за попереднім пунктом.

Надалі повинно бути проведено комп'ютерне моделювання запропонованого методу та алгоритмів з метою їх верифікації.

Актуальність та перспективність проблеми удосконалення процесу моніторингу стану вантажів на борту контейнерних суден, вирішення якої може бути реалізовано через розробку автоматизованої системи і відповідного методу неперервного спостереження за тепловим випромінюванням вантажів в межах вантажного простору контейнеровозу в режимі реального часу, також підтверджується Цілями сталого розвитку України відповідно до Указу Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» й Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р із змінами, внесеними згідно з розпорядженням КМ № 321-р від 07.04.2021), яка констатує, що «рівень безпеки перевезень, обсяг споживання енергії та вплив на навколишнє природне середовище в Україні не відповідають сучасним вимогам». Таким чином, зумовлюється вибір теми дисертації, що формулюється у

наступному вигляді: «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів для забезпечення безпеки морських перевезень».

В цьому аспекті, розв'язання зазначеної проблеми вимагає вирішення наступних завдань:

- використовуючи методи системного підходу, провести декомпозицію головного завдання даного дисертаційного дослідження на декілька допоміжних завдань;
- в контексті вирішення допоміжних завдань визначити необхідні параметри тепловізійного обладнання у відповідності до суднових умов перевезення вантажів;
- розробити метод ідентифікації контейнерів у полі зору тепловізора в межах вантажного простору судна;
- визначити схему розміщення тепловізорів та сформулювати алгоритми роботи системи у відповідності до такого розміщення;
- скласти комп'ютерну програму імітаційного моделювання для перевірки запропонованого методу неперервного температурного спостереження за станом вантажів контейнерного судна.

Таким чином, **об'єктом даного дослідження** є процес моніторингу за температурним станом вантажів при їх перевезеннях контейнерним флотом.

Предмет дослідження представлений методами оцінки й моніторингу теплового стану контейнерних вантажів.

Необхідність у підвищенні рівня безпеки контейнерних перевезень морем та зменшення негативного впливу людського фактору зумовлюють актуальність даного дисертаційного дослідження.

Передбачувана наукова новизна полягає в удосконаленні процесів моніторингу стану контейнерних вантажів і відповідного визначення контейнера-джерела займання шляхом розробки нового методу й моделі системи оцінки і автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів та відповідної ідентифікації

джерела займання при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв.

Економічна ефективність даного дисертаційного дослідження полягає в тому, що автоматизований процес неперервного спостереження за температурним станом вантажів може відігравати значну роль у впровадженні превентивних та інших заходів для запобігання виникненню й протидії аварійній ситуації, та, як наслідок, може зменшити матеріальні витрати і негативний екологічний ефект на довкілля.

Імітаційне моделювання розробленої теоретичної частини запропонованого наукового дослідження забезпечує можливість його реалізації.

2.2. Формування технологічної карти наукового дослідження

Технологічна карта дисертаційного дослідження, що представляє собою реалізацію системного підходу до забезпечення вирішення головного завдання даної дисертаційної роботи, представлена на рис. 2.1.

Згідно до технологічної карти, тема дисертаційного дослідження зумовлена запитом практики, що полягає у необхідності забезпечення безпеки морських перевезень на контейнерному флоті, зокрема шляхом зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій від займання при перевезенні вантажів, й мінімізації впливу людського фактору.

Метою дослідження є забезпечення безпеки морських перевезень на контейнерному флоті й зменшення негативного впливу людського фактору, шляхом удосконалення процесу моніторингу стану вантажів контейнерного судна та відповідної ідентифікації джерела займання.

У відповідності до мети представлена наукова гіпотеза, що сформульована як можливість використання термографічних пристроїв в контексті удосконалення процесів моніторингу температурного стану вантажів контейнерного судна й відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі.

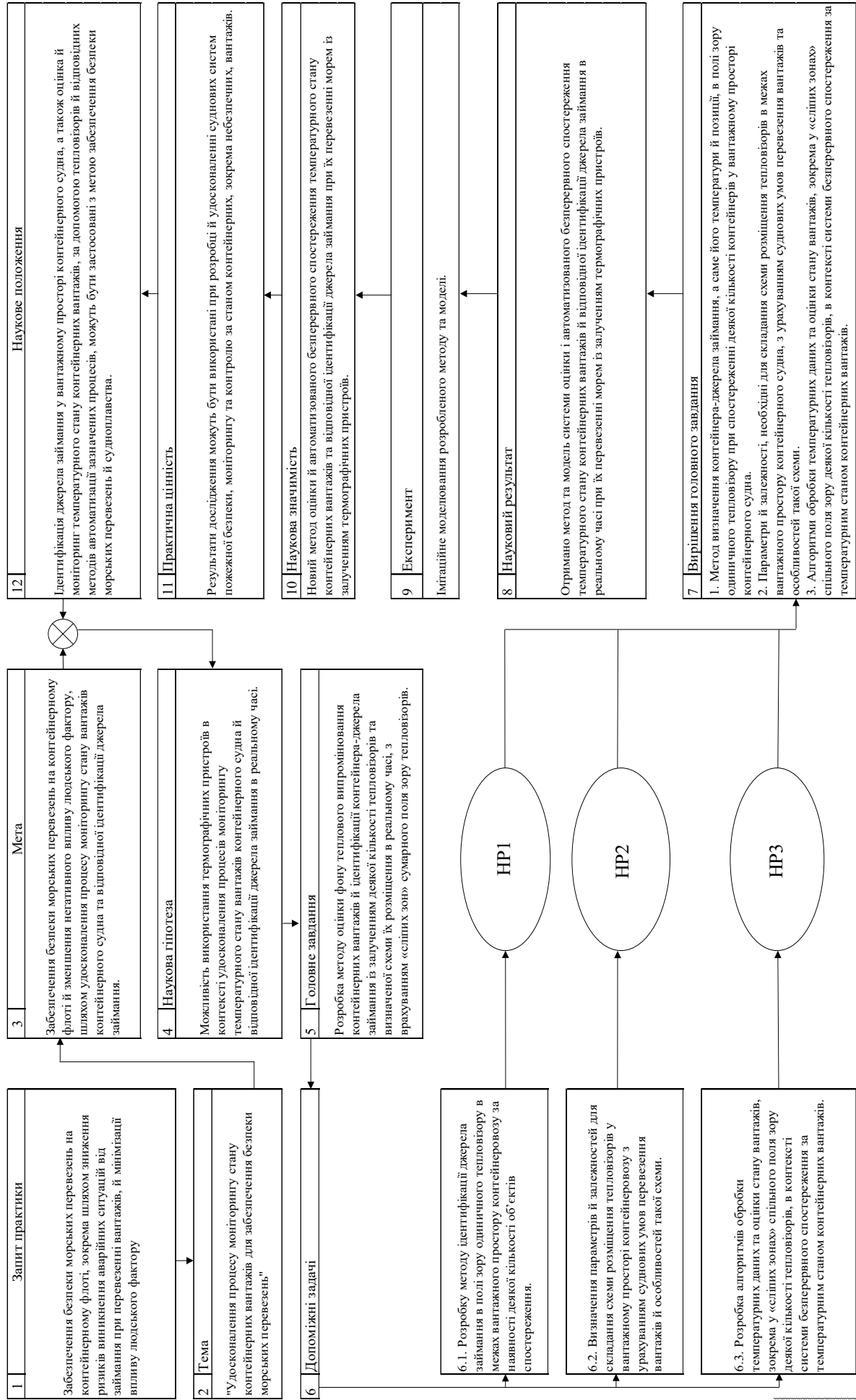


Рис. 2.1 - Технологічна карта наукового дослідження

Таким чином, формується головне завдання дисертаційного дослідження, а саме розробка методу оцінки фону теплового випромінювання контейнерних вантажів й ідентифікації контейнера-джерела займання із залученням деякої кількості тепловізорів та визначеної схеми їх розміщення в реальному часі, з врахуванням «сліпих зон» сумарного поля зору тепловізорів.

Для вирішення головного завдання дисертаційного дослідження воно було розділено на допоміжні задачі, а саме:

1) розробка методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиничного тепловізору в межах вантажного простору контейнеровозу за наявності деякої кількості об'єктів спостереження;

2) визначення параметрів й залежностей для складання схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнеровозу з врахуванням суднових умов перевезення вантажів й особливостей такої схеми;

3) розробка алгоритмів обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів.

Для вирішення першого допоміжного завдання необхідно обрати відповідне обладнання і провести проміжний експеримент для визначення параметрів тепловізорів й вихідних зображень в суднових умовах в рамках встановлених цілей й задач; визначити параметри поля зору для окремо обраного сенсору; встановити способи визначення залежностей між координатними системами об'єктів спостереження та їх відповідних зображень, й отримання даних від таких зображень.

Для вирішення другого допоміжного завдання необхідно встановити параметри й залежності для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна для формування їх спільного поля зору.

Надалі, для вирішення третього допоміжного завдання необхідно розробити алгоритми обробки даних зі встановлених датчиків, що будуть враховувати

наявність «сліпих зон» у сумарному полі зору тепловізорів, для оцінки стану спостерігаємих вантажів й визначення джерела займання в межах такого поля зору, його температури і позиції. Для врахування «сліпих зон» також необхідно імплементувати суб-алгоритм визначення джерела займання за обмеженими вхідними даними.

В умовах виконання імітаційного моделювання, верифікація запропонованого методу й алгоритмів потребує використання тривимірної моделі вантажів й суднової конфігурації, встановлення та формалізації необхідних залежностей теплообміну між вантажними контейнерами й налаштування розроблених параметрів розміщення для подальшого проведення симуляції в рамках даного дисертаційного дослідження.

При рішенні допоміжних завдань були отримані наукові результати, що мають наукову новизну та на технологічній карті даного дисертаційного дослідження відповідно позначені як «НР1», «НР2» та «НР3».

Науковий результат першого допоміжного завдання полягає у отриманні методу визначення контейнера-джерела займання, а саме його температури й позиції, в полі зору одиничного тепловізора при спостереженні деякої кількості контейнерів у вантажному просторі контейнерного судна.

Науковим результатом другого допоміжного завдання є параметри й залежності, необхідні для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна, з урахуванням судових умов перевезення вантажів та особливостей такої схеми.

Науковим результатом третього допоміжного завдання є алгоритми обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів.

За результатами вирішення допоміжних задач був отриманий результат вирішення головної задачі дослідження, що полягає у отриманні методу та моделі системи оцінки і автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів й відповідної ідентифікації

джерела займання в реальному часі при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв.

Використовуючи метод імітаційного моделювання, за допомогою складеної комп'ютерної програми, проведено верифікацію результатів дисертаційного дослідження.

Таким чином, гіпотеза про можливість використання термографічних пристроїв у контексті удосконалення процесів моніторингу температурного стану вантажів контейнерного судна й відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі була підтверджена теоретичними результатами та імітаційним моделюванням.

Наукова значимість даного дисертаційного дослідження полягає у розробці нового методу оцінки й автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів та відповідної ідентифікації джерела займання при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв, а практична цінність зумовлена тим, що результати дослідження можуть бути використані при розробці й удосконаленні судових систем пожежної безпеки, моніторингу та контролю за станом контейнерних, зокрема небезпечних, вантажів.

Наукове положення даного дисертаційного дослідження формулюється наступним чином: ідентифікація джерела займання у вантажному просторі контейнерного судна, а також оцінка й моніторинг температурного стану контейнерних вантажів, за допомогою тепловізорів й відповідних методів автоматизації зазначених процесів, можуть бути застосовані з метою забезпечення безпеки морських перевезень й судноплавства.

2.3. Методика виконання дисертаційного дослідження

В даному підрозділі наведено стислий виклад методики проведення дисертаційного дослідження. В ході його виконання були використані методи

емпіричного, теоретичного та експериментально-теоретичного рівнів наукового пізнання.

Методом дедукції, базуючись на результатах аналізу аварійності на контейнерному флоті й існуючих систем безпеки і контролю за вантажами, були визначені проблеми організації безпеки перевезень контейнерних, зокрема небезпечних, вантажів й встановлено напрямок дослідження та тема дисертації. Надалі, використовуючи методи системного підходу, було виконано декомпозицію головного завдання дослідження на окремі складові елементи й забезпечення методологічного обґрунтування дисертаційного дослідження.

Досягнення вирішення першого допоміжного завдання реалізується виконанням проміжного експерименту й проведенням натурних спостережень щодо визначення параметрів налаштування тепловізорів й вихідних зображень; моделюванням поля зору одиничного тепловізора; визначенням й формалізацією залежностей між координатними системами об'єктів спостереження й їх зображень в судових умовах використання; формалізацією даних таких зображень.

Вирішення другого допоміжного завдання досягається шляхом визначення й формалізації параметрів, необхідних для складання схеми розміщення певної кількості тепловізорів у вантажному просторі контейнерного судна.

Для вирішення третього допоміжного завдання використовуються засоби теорії систем, а саме інструменти структурного аналізу, а також системного і об'єктного моделювання; визначаються моделі й відповідні алгоритми цифрових нейронних мереж з метою реалізації оцінки температурного стану вантажів, що розташовані у «сліпих зонах» сумарного поля зору тепловізійних камер.

Завершальним кроком дослідження є проведення імітаційного моделювання, для забезпечення якого необхідно виконати тривимірне моделювання вантажів й судової конфігурації, із залученням симуляції процесів теплообміну між контейнерами в межах вантажного простору судна, базуючись на попередньо визначених й формалізованих залежностях.

2.4. Висновки за другим розділом

В цьому розділі було обрано та обґрунтовано напрямок дисертаційного дослідження і його теми, представлена технологічна карта, що описує його методологічну структуру, приведено відповідне методологічне забезпечення.

Згідно до представленої технологічної карти дослідження, його головне завдання полягає в розробці методу оцінки фону теплового випромінювання контейнерних вантажів й ідентифікації контейнера-джерела займання із залученням деякої кількості тепловізорів та визначеної схеми їх розміщення в реальному часі, з врахуванням «сліпих зон» сумарного поля зору тепловізорів. Для вирішення головного завдання було використано системний підхід, згідно до якого була проведена її декомпозиція на три допоміжні завдання.

Також у другому розділі були сформульована мета, наукова гіпотеза, визначені об'єкт та предмет дослідження, були зазначені його актуальність та економічна ефективність, наукова значимість та практична цінність, зумовлена тим, що результати даного дослідження можуть бути використані при розробці й удосконаленні судових систем пожежної безпеки, моніторингу та контролю за станом контейнерних, зокрема небезпечних, вантажів.

Отриманими результатами теоретичного дослідження та імітаційним моделюванням, що забезпечує можливість реалізації розробленої теоретичної частини запропонованого наукового дослідження, була підтверджена наукова гіпотеза даної роботи. Відзначено, що отриманим науковим результатам даного дисертаційного дослідження притаманна наукова новизна.

Було наведено формулювання наукового положення даної роботи, що формулюється наступним чином: ідентифікація джерела займання у вантажному просторі контейнерного судна, а також оцінка й моніторинг температурного стану контейнерних вантажів, за допомогою тепловізорів й відповідних методів автоматизації зазначених процесів, можуть бути застосовані з метою забезпечення безпеки морських перевезень й судноплавства.

Зміст даного розділу викладено в роботах [9]–[20].

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛА ЗАЙМАННЯ В ПОЛІ ЗОРУ ОДИНИЧНОГО ТЕПЛОВІЗОРУ В МЕЖАХ ВАНТАЖНОГО ПРОСТОРУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

3.1. Визначення параметрів тепловізійного обладнання в контексті суднових умов використання

Використання термального обладнання може стати великою перевагою для пожежних команд як в рамках організації пожежної безпеки, так і контролю за вантажем. Таке обладнання може сприяти зовнішньому спостереженню, знаходженню джерел займання, орієнтуванню в задимлених просторах, пошуку та рятуванню постраждалих, тощо [52].

Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання знаходиться між видимим та мікрохвильовим діапазонами електромагнітного спектру [53]. Воно охоплює проміжок довжин хвиль від 0,76 до 1000 мкм й будь-який об'єкт з температурою вище абсолютного нуля ($-273,15^{\circ}\text{C}$ або 0 Кельвінів) виділяє інфрачервоне випромінювання. Це означає, що предмети, які здаються дуже холодними для людського сприйняття, такі як, наприклад, кубики льоду, також мають випромінювання у ІЧ спектрі, й, іншими словами, якби людське око могло бачити в ІЧ-діапазоні, то температуру об'єктів можна було б оцінити без тактильного контакту з ними.

Термооптичне обладнання дуже схоже на звичайне оптичне обладнання й працює за схожими принципами [54]. Однією з ключових відмінностей конструкції є матеріал скла. Звичайне скло не проводить через себе інфрачервоні хвилі. Тому для вирішення цієї проблеми лінзи для теплових приладів виготовляють із спеціальних матеріалів: часто із цією метою використовують германій, що має достатньо високу вартість. Детектор, що вловлює інфрачервоне випромінювання і перетворює його в інформацію, як і в звичайній камері, складається з чутливої матриці та блоку електроніки, що обробляє сигнал. Через систему лінз інфрачервоне випромінювання подається на матрицю, а потім

процесор перетворює дані у відеосигнал, який потім надсилається на екран пристрою (рис. 3.1). Порівняно із, наприклад, приладами нічного бачення, тепловізор є більш універсальним і водночас більш складним інструментом. На відміну від тепловізійної камери, прилади нічного бачення формують зображення на основі світла, відбитого від об'єкта. Таким чином, в абсолютно темній ізольованій кімнаті за допомогою такого обладнання оператор не зможе знайти об'єкти чорного кольору, й навпаки – за допомогою тепловізору такі об'єкти можна знайти дуже легко.

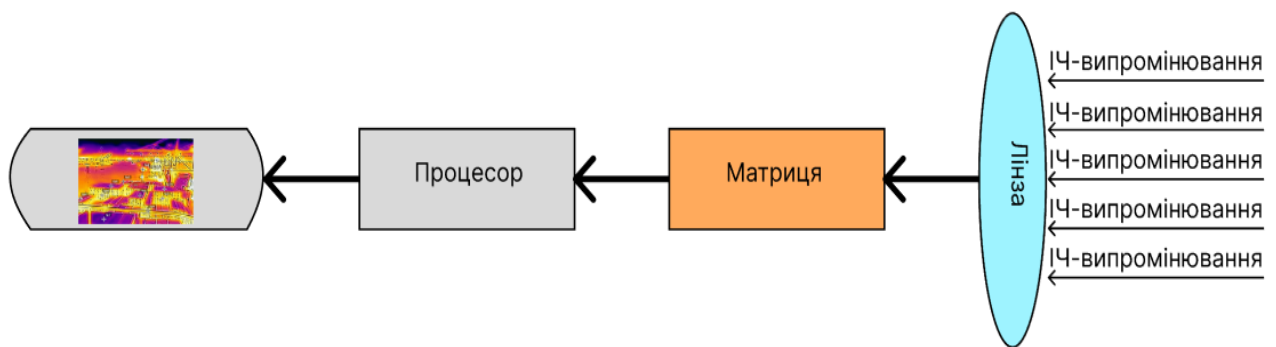


Рис. 3.1 – Спрощена схема роботи тепловізійної камери

Теплове зображення – це візуальне зображення теплового випромінювання, яке фіксується ІЧ-матрицею. Для візуалізації даних використовуються кольорові діаграми (палітри), що спрощують сприйняття отримуваної інформації оператором. Також, слід відмітити, що палітри необхідні для кращого збігу значень інтенсивності пікселів зображення, що призводить до кращої його деталізації [55]. У спрощеному вигляді, кожна температура результуючого зображення пов'язана із його відповідним пікселем, й, таким чином, може бути отримана температурна матриця для її використання в подальшій обробці отриманих даних. Зазвичай цю операцію можна виконати за допомогою відповідного програмного забезпечення, яке надається виробником відповідного пристрою.

В аспекті застосування у системах виявлення пожежі, однією з переваг тепловізійних камер є можливість бачити крізь дим, що корисно для локалізації

джерела пожежі. Крім того, сучасні теплові камери поєднують як термографічні, так і візуальні дані. Ця особливість дозволяє об'єднати переваги різних систем, надати більше інформації для аналізу та можливості для перехресного контролю, що особливо важливо в морській сфері. Слід відмітити, що програмне забезпечення MATLAB, в цьому контексті, надає інструменти для обробки зображень/відео в реальному часі та для реалізації алгоритмів комп'ютерного зору [56]. Підсумовуючи вищезазначене, тепловізор може бути використано як ефективний і корисний інструмент з точки зору контролю за станом вантажів та виявлення займання на його ранній стадії.

Також, слід відмітити, що сучасні тепловізійні прилади знайшли широке застосування в різних напрямках й областях науки та виробництва, як на великих промислових підприємствах, де необхідний ретельний контроль за тепловим станом об'єктів, механізмів, тощо, так і в невеликих організаціях, що займаються, наприклад, пошуком несправностей в мережах різного призначення, обслуговуванням різного роду систем та механізмів. Так, наприклад, сканування тепловізором може стати в нагоді й надати необхідну інформацію для оцінки параметрів роботи компресору рефрижераторного контейнеру під час його діагностування, обслуговування й ремонту (рис. 3.2).

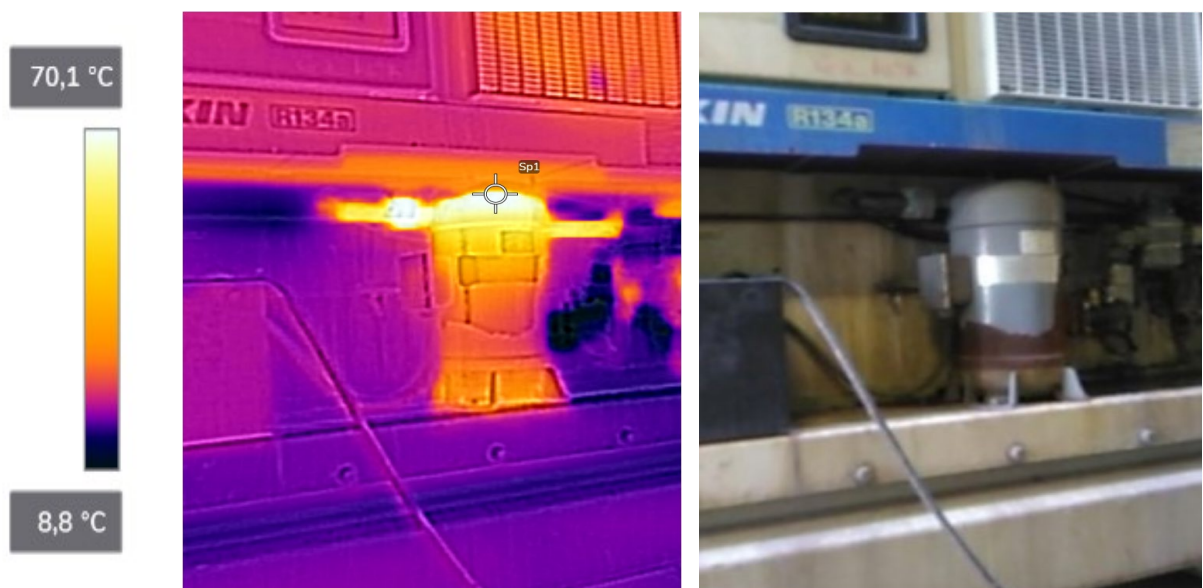


Рис. 3.2 – Теплове випромінювання компресору рефрижераторного контейнеру

Наразі існують багато виробників тепловізійного обладнання (пр., FLIR, Testo, Fluke, тощо), і вибір такої апаратури буде залежати від відповідності її технічних характеристик до встановленої задачі.

Відповідно до правил Кірхгофа, інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, яке приймає тепловізор, складається з вихідного, відбитого та пропущеного (через об'єкт) компонентів довгохвильового ІЧ-випромінювання [53], [57]:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1, \quad (3.1)$$

де ε , ρ , τ – коефіцієнти випромінювання, відображення та пропускання відповідно.

Оскільки на практиці дана характеристика рідко відіграє значну роль при визначенні температури об'єкту за допомогою тепловізійного обладнання [57], складова пропускання τ , рівняння (3.1), може бути прирівняна до нуля. Таким чином, формула (3.1) може бути спрощена до наступного вигляду:

$$\varepsilon + \rho = 1. \quad (3.2)$$

Випромінювання ε змінюється в залежності від властивостей поверхні, матеріалу і, для деяких випадків, також від температури об'єкта вимірювання. Максимальна випромінювальна здатність ε дорівнює 1 (100%). Визначення параметру ε на практиці може бути здійснено, наприклад, методом порівняння даних контактного (або лазерного) термометра з даними тепловізору, змінюючи відповідне налаштування тепловізору до моменту відповідності значень один одному.

Відображення ρ змінюється в залежності від властивостей поверхні, самого матеріалу, його температури. В загальному випадку, гладкі, відполіровані поверхні мають більшу відображуючу здатність, ніж матові й шорсткі поверхні, за умовою використання однакових матеріалів об'єктів. На практиці, температура відображеної радіації може бути встановлена такою, що дорівнює температурі навколишнього середовища, також може бути виміряна, наприклад, термометром [57], або визначена за допомогою радіатора Ламберта [57], [58].

Слід відзначити, що зазвичай параметри випромінювання й температури відображеної радіації можуть бути налаштовані при виконанні термальної зйомки вручну, за наявності надання такої можливості виробником обладнання.

Також слід підкреслити, що забезпечення належного налаштування параметру випромінювання при виконанні зйомки може мати вирішальний вплив на її результати, особливо при великій різниці між температурою навколишнього середовища і об'єкта вимірювання.

На рис. 3.3 і рис. 3.4 представлені зображення у інфрачервоному і видимому спектрах для вантажних контейнерів на палубі й у трюмі судна відповідно, що були отримані за результатами натурних спостережень під час реального рейсу. Для зазначених зображень значення коефіцієнта випромінювання ϵ визначено таким, що дорівнює 0.8, є прийнятним в рамках дослідження і було встановлено із використанням описаного вище методу порівняння даних. У загальному випадку в конструкції вантажного контейнеру переважають метали, а його зовнішня поверхня вкрита шаром фарби. Таким чином, у відповідності до цього типу поверхні табличне значення коефіцієнта ϵ наближене до визначеного експериментальним шляхом. Таблиця значень параметру випромінювання ϵ для різних типів поверхонь наведена у Додатку А згідно до [57].

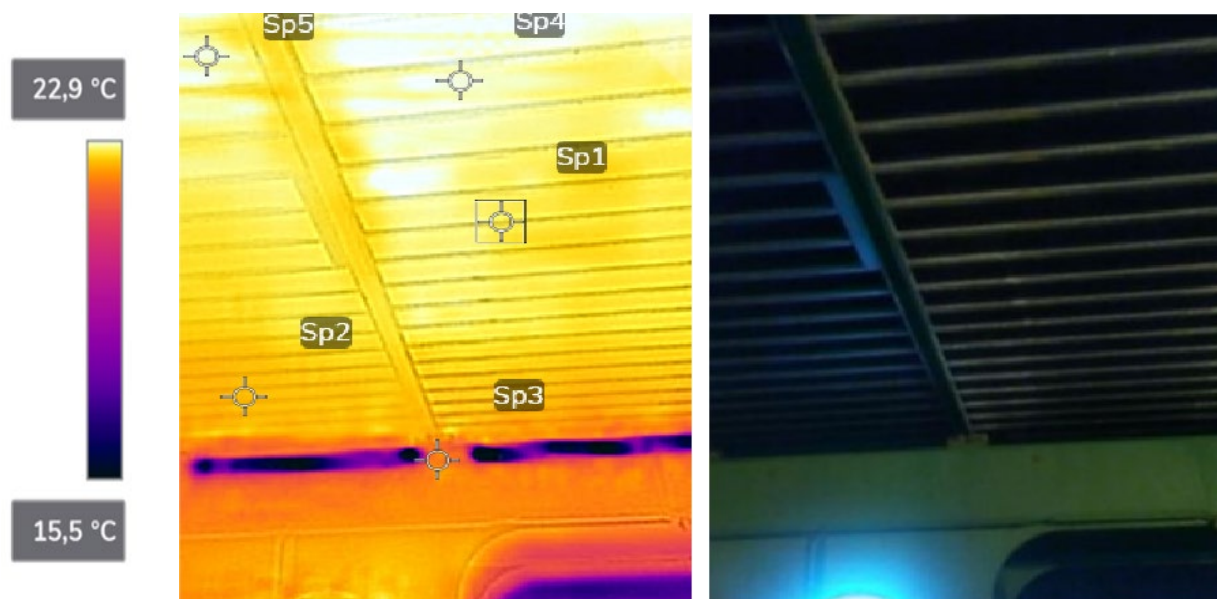


Рис. 3.3 – Зображення вантажного контейнеру на палубі в інфрачервоному та видимому спектрах

Оскільки, дані інформаційного слою теплового зображення можуть бути проаналізовані й оброблені за допомогою відповідного програмного забезпечення, в залежності від виробника обладнання, до таблиці 3.1 зведені результати вимірів для областей зображень, що на рис. 3.3 і рис. 3.4 позначені як «Sp» (spot – з англ. «пляма», «місце») з відповідним порядковим номером, а також мінімальні, максимальні та середні значення температур для кожного відповідного зображення зі встановленим значенням $\varepsilon = 0.8$. Приклади звітів, отриманих за результатами натурних спостережень на т/х «Cap San Artemissio», т/х «Thalassa Doxa» й т/х «Thalassa Mana» наведені у Додатку Б.

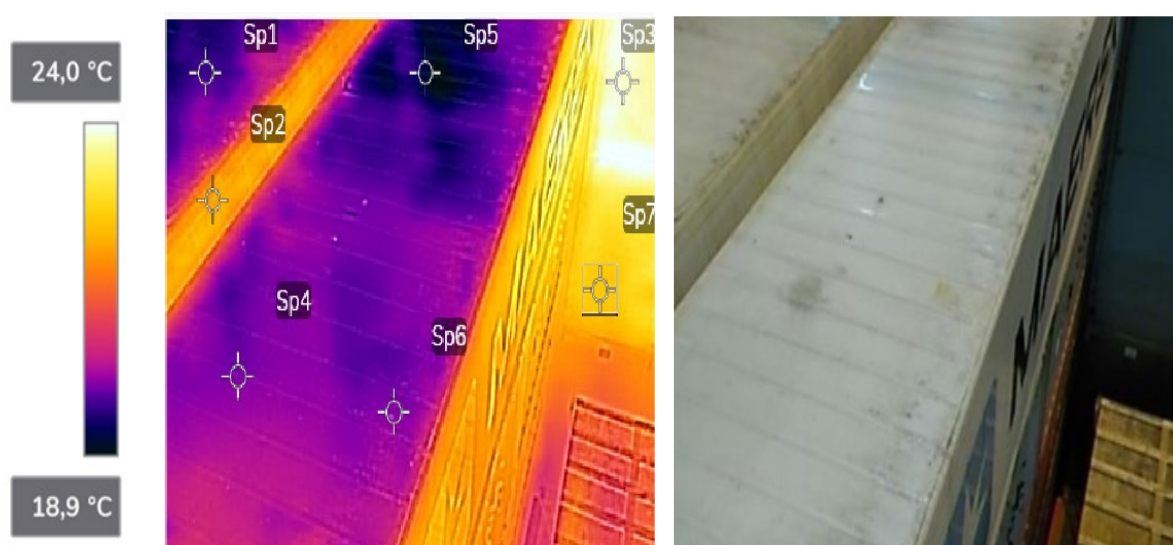


Рис. 3.4 – Зображення вантажного контейнеру у трюмі в інфрачервоному та видимому спектрах

З точки зору параметрів навколишнього середовища, що можуть впливати на точність результатів спостережень, можна виділити наявність прямих сонячних променів, вологість, потоки та ступінь забрудненості повітря, тощо. Зазначені фактори навколишнього середовища теоретично можуть бути враховані в процесі обробки зображень, однак дане дослідження не акцентує увагу на їх використанні в даному аспекті.

Інструментальна похибка лазерного термометра, що використовувався для порівняння даних складає ± 1 °C. В середньому, за результатами спостережень похибка вимірювання тепловізором не перевищувала ± 0.5 °C в порівнянні з

даними термометра, за умови коректного налаштування приладу. Враховуючи інструментальні похибки обладнання, такі результати вважаються прийнятними в рамках даного дослідження.

Таблиця 3.1 – Результати вимірів термальної зйомки

Параметри	Палуба	Трюм	Параметри	Палуба	Трюм
<u>Результати вимірів температури, °C</u>					
Макс. значення	23.8	25.1	Sp3	22.5	24.7
Мін. значення	14	19.1	Sp4	22.9	20.5
Серед. значення	22,9	21.4	Sp5	22.8	19.4
Sp1	22.6	20.1	Sp6	-	22.6
Sp2	22.7	22.8	Sp7	-	25.1
<u>Інші параметри</u>					
Коефіцієнт випромінювання ϵ				0.8	
Температура відображеної радіації, °C				22	

Примітка: “Sp” – spot. Відносяться до відповідних областей рис. 3.1 і рис. 3.2

Специфікації тепловізору, що використовувався під час натурних спостережень, зведені до таблиці 3.2 згідно до даних інструкції з експлуатації, які представлені у Додатку В.

До діаграми на рис. 3.5 зведені дані у відповідності до рис. 3.4, при встановленні різних значень коефіцієнта випромінювання ϵ в діапазоні від 0.01 до 1. Такі значення хоч і є теоретичними, оскільки відповідають двом ідеальним станам в даному аспекті: ідеального дзеркала ($\epsilon = 0$) й абсолютно чорного тіла ($\epsilon = 1$), але наочно демонструють важливість правильного налаштування термографічного обладнання. Таким чином, були отримані в тому числі аномальні дані температури об’єкту, що не відповідають до його реального стану.

Особливу увагу, в контексті інструментальних параметрів тепловізійного обладнання, слід приділити горизонтальному і вертикальному кутам поля зору камери, а також її фокусу.

Таблиця 3.2 – Характеристики теплового модулю камери

Модуль камери	
Термальний датчик	<i>Розмір пікселю 17 мкм</i>
Роздільна здатність матриці	<i>80x60</i>
Роздільна здатність вихідного зображення	<i>640x480</i>
Горизонтальне / вертикальне поле зору	<i>$46^{\circ} \pm 1^{\circ} / 35^{\circ} \pm 1^{\circ}$</i>
Фокус	<i>Фіксований 15 см - Нескінченність</i>
Радіометрія	
Динамічний діапазон сцени	<i>$-20^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$</i>
Точність	<i>$\pm 5^{\circ}\text{C}$ або $\pm 5\%$ різниці між температурою навколишнього середовища та температурою сцени. Застосовується через 60 секунд після запуску, коли температура пристрою знаходиться в межах $15-35^{\circ}\text{C}$, а температура навколишнього середовища знаходиться в межах $10-120^{\circ}\text{C}$.</i>
Можливості аналізу теплового зображення	<i>- Рухомі точкові вимірювачі - Область інтересу в рамках всього зображення (ROI) - Можливість редагування даних у збережених зображеннях</i>
Палітри	<i>Залізо, Чорний гарячий, Білий гарячий, Райдужний, Контрастний, Арктичний, Лава, Найхолодніший, Найгарячіший</i>

Горизонтальний і вертикальний кути поля зору в комбінації з фокусом камери й відстанню до об'єкту спостереження формують усічену піраміду поля зору камери (FOV – field of view). Визначення FOV тепловізійної камери є

необхідною складовою для подальшого вирішення допоміжних завдань даного дисертаційного дослідження.

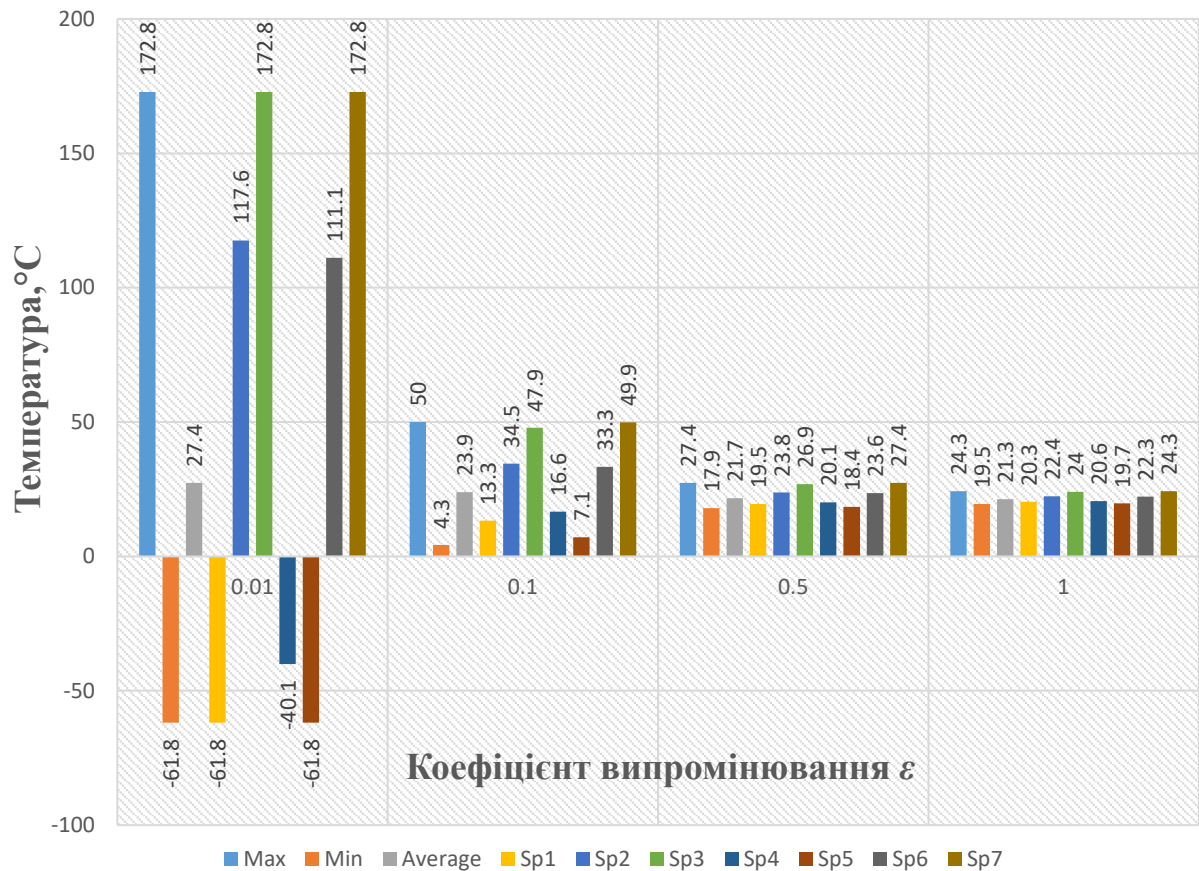


Рис. 3.5 – Діаграма залежності отриманих результатів від коефіцієнту випромінювання ϵ

3.2. Визначення поля зору одиначної теплової камери

З метою розробки методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиначного тепловізору й залежностей для складання схеми розміщення датчиків у вантажній зоні контейнерного судна необхідно визначити мінімальну кількість тепловізійних камер, відповідний алгоритм обробки даних, FOV приладів, а також конфігурацію судна в області застосування системи моніторингу за вантажем.

Оскільки розміщення всередині, наприклад, вантажного трюму може зіткнутися з деякими труднощами, такими як переборки чи інші елементи конфігурації судна, що можуть обмежувати поле зору тепловізору, пропонується розподілити камери в області інтересу таким чином, щоб охопити всі об'єкти

спостереження, роздивляючи спільне поле зору усіх тепловізорів у відповідному сегменті системи. Таким чином, для поля зору однієї камери може бути призначено декілька контейнерів.

У першому наближенні поле зору камери можна представити у вигляді піраміди з прямокутником в основі. Таким чином, поле зору може бути визначено висотою піраміди та кутами при її вершині. У контексті поставленої задачі, кути при вершині піраміди є горизонтальним і вертикальним кутами поля зору, заданими в специфікації тепловізора. Враховуючи фокусну відстань тепловізійної камери, отримаємо усічену піраміду її поля зору [59], [60].

На рис 3.6 кути $\angle KSO$ і $\angle NSO$ дорівнюють половинам горизонтального β і вертикального α кутів поля зору камери відповідно. $SABCD$ – піраміда з прямокутником $ABCD$ в її основі та є такою, що $SA = SB = SC = SD = a$. Точка S – вершина піраміди $SABCD$ і є центром проекції тепловізійної камери. Точка $O(0; 0; 0)$ – точка перетину діагоналей прямокутника $ABCD$, є точкою перетину висоти $SO = h$ піраміди $SABCD$ із площиною її основи $ABCD$, а також прийнята за початок прямокутної системи координат $Oxyz$ таким чином, що SO є відрізком на осі аплікату. Точка O' – точка перетину SO з меншою основою відповідної до $SABCD$ усіченої піраміди $ABCD A'B'C'D'$, при чому SO' дорівнює фокусній відстані камери f .

Нехай висота h характеризується відстанню до об'єкта спостереження d і визначається залежністю $h = f(d)$. В ході натурних спостережень було встановлено, що використання тепловізора на відстані d , значення якої перевищує 12 м недоцільно з практичної точки зору в рамках даного дослідження, тому максимальна відстань до об'єкта спостереження може бути визначена як $d_{max} = 12$ таким чином, що $f < d \leq d_{max}$.

Таким чином, із застосуванням тригонометричних перетворень, значення довжини ребра піраміди може бути отримано за формулою:

$$a = h \cdot \sqrt{\tan^2 \frac{\beta}{2} + \frac{1}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (3.3)$$

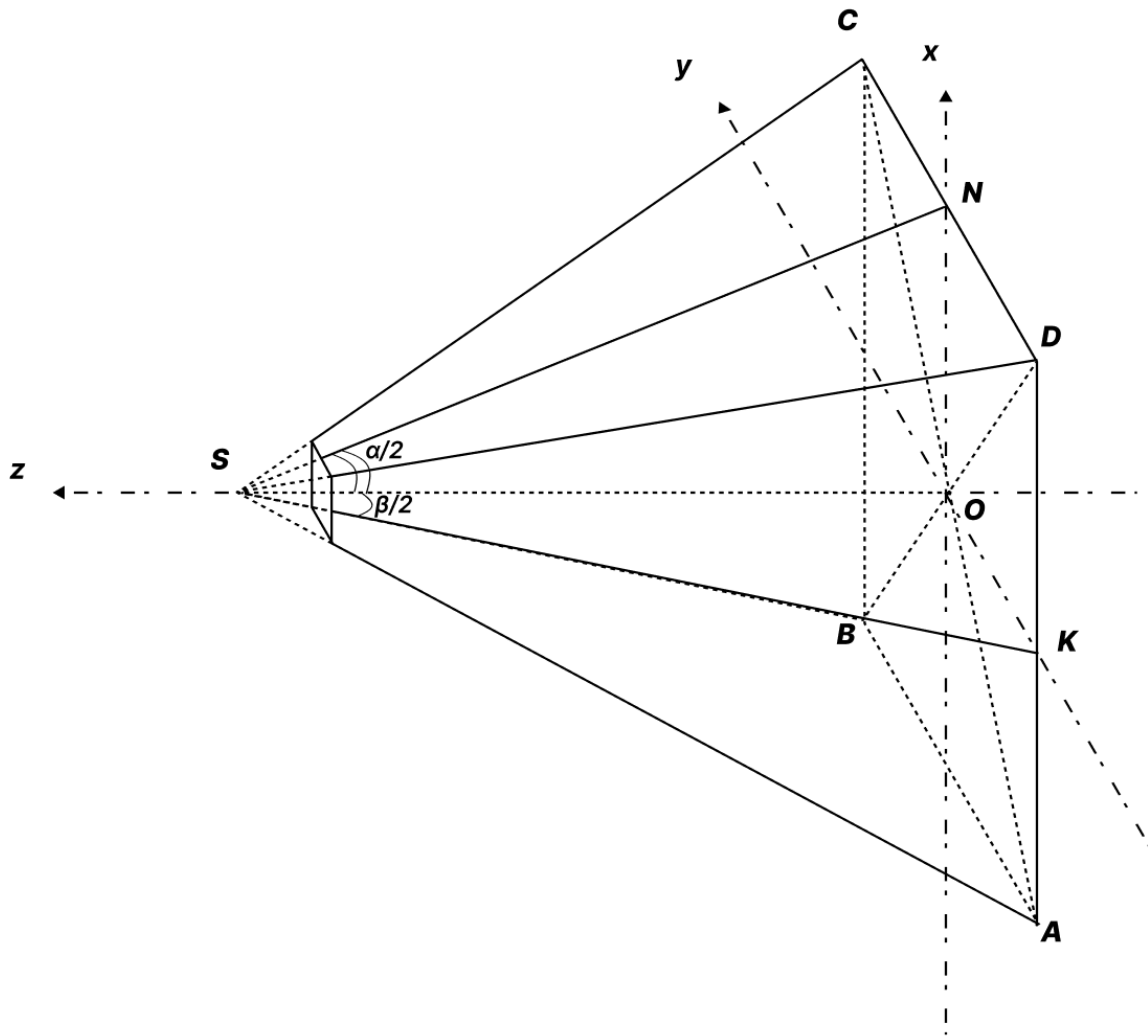


Рис. 3.6 – Піраміда поля зору тепловізійної камери в загальному випадку

Введемо нову прямокутну систему координат $Sx_1y_1z_1$ з центром в точці S , її вісь аплікату z_1 збігається з віссю z , $x_1 \uparrow\uparrow x$ та $y_1 \uparrow\uparrow y$. На рис. 3.7 схематично зображено розташування тепловізійної камери в межах крос-палуби (2) у вантажному просторі судна в проекції на площину y_1z_1 таким чином, що піраміда її кута зору, повернута на кут γ за годинниковою стрілкою відносно осі x_1 , охоплює деяку кількість $Q = n + 1$ контейнерів (1), пряма $p \parallel y_1$, а точка $K \in p$.

Оскільки піраміда поля зору може повертатися як проти, так і за годинниковою стрілкою, а кут γ може відповідно приймати як додатні, так і від'ємні значення, то для розрахунку елементів відповідних трикутників приймемо, що $\gamma = |\gamma|$. При цьому, пряма $p \parallel y_1$, p лежить у площині (SMK) і p також лежить у площині, що включає до себе Q менших граней вантажних

контейнерів (1), а z_I пролягає через бічну грань вантажного контейнера з індексом $i = 0$. Тоді з ΔKSM , довжина сторони SK може характеризувати максимальну відстань від центру проекції тепловізора S до об'єкту спостереження, за умовою розгляду в заданій проекції.

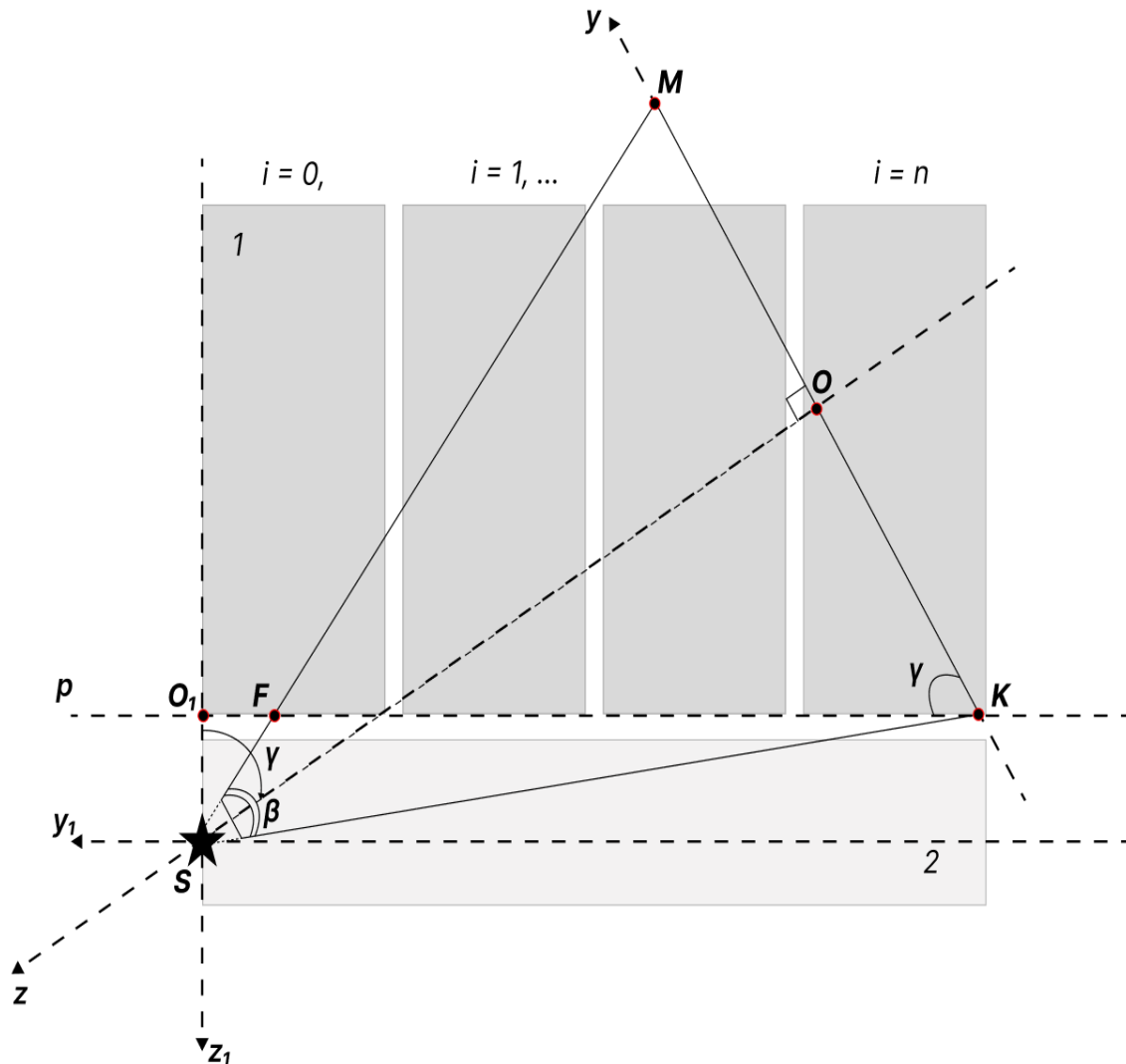


Рис. 3.7 – Схематичне зображення розташування тепловізора відносно вантажних контейнерів (вид зверху)

З прямокутного трикутника ΔSOK може бути отримано значення висоти піраміди $SABCD$, за умови, що $SK = d$:

$$h = d \cdot \cos \frac{\beta}{2}. \quad (3.4)$$

В такому разі, формула (3.3) набуває наступного вигляду:

$$a = d \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\beta}{2} + \frac{\cos^2 \frac{\beta}{2}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (3.5)$$

Таким чином, сторона $KF = l$ трикутника ΔFMK , в свою чергу, визначає характерний розмір об'єкту спостереження. За теоремою синусів, трикутнику ΔFMK відповідають наступні відношення:

$$\frac{KF}{\sin \angle FMK} = \frac{FM}{\sin \angle MKF} = \frac{MK}{\sin \angle KFM}. \quad (3.6)$$

З прямокутного трикутника ΔSOK : $\angle OKS = 180^\circ - (90^\circ + \frac{\beta}{2}) = 90^\circ - \frac{\beta}{2}$ і
 $MK = 2 \cdot OK = 2 \cdot SK \cdot \sin \frac{\beta}{2} = 2d \sin \frac{\beta}{2}$.

З ΔFMK : $\angle KFM = 180^\circ - (\gamma + 90^\circ - \frac{\beta}{2}) = 90^\circ - \gamma + \frac{\beta}{2}$. Отже з (3.6), враховуючи перетворення, а також, що $\angle OKS = \angle FMK$ отримаємо:

$$l = \frac{d \cdot \sin \beta}{\cos(\gamma - \frac{\beta}{2})}, \quad (3.7)$$

за умови, що:
$$\begin{cases} 0 < \beta < \pi, \\ -\frac{\pi}{2} < \gamma - \frac{\beta}{2} < \frac{\pi}{2}. \end{cases}$$

Таким чином, піраміда поля зору одиничного тепловізору, враховуючи характеристики з таблиці 3.2, а саме: $\beta = 46^\circ$, $\alpha = 35^\circ$ і $f = 15$ см, для $d_{max} = 12$ м, в умовах запропонованої схеми розміщення, стає усіченою [59] за значенням фокусу і представлена на рис. 3.8.

Також слід відзначити, що максимальний кут повороту γ може бути визначено з ΔSO_1K , враховуючи $SO_1 = d_{max}^{cam}$, за формулою:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{d_{max}^{cam}}{d_{max}}\right) - \frac{\beta}{2}. \quad (3.8)$$

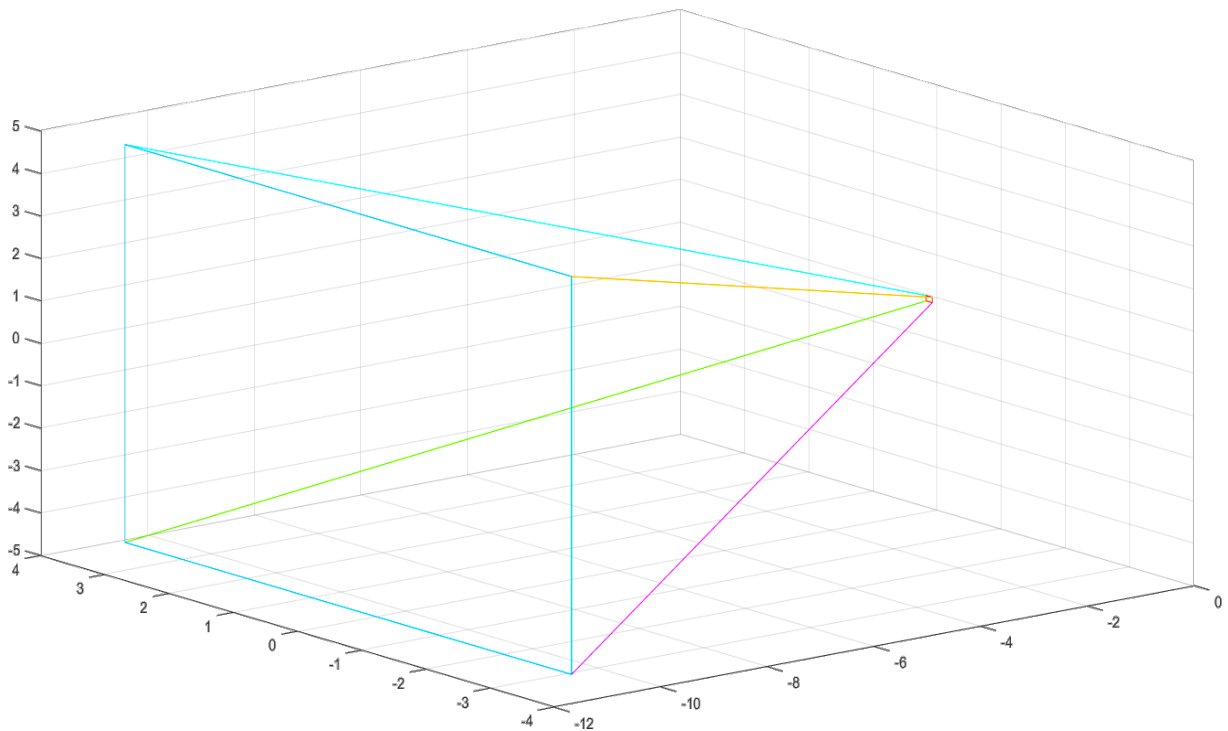


Рис. 3.8 – Побудова поля зору тепловізора, що використовувався під час натурних спостережень

3.3. Визначення залежності між координатними системами об'єкта спостереження та його зображення

Положення зображення в момент фотографування визначається трьома елементами внутрішнього та шістьма елементами зовнішнього орієнтування (рис. 3.9). До внутрішніх елементів відносяться: фокус камери f і координати x_0 , y_0 головної точки O' . При цьому зовнішніми елементами є: координати центру проекції S - X_S , Y_S , Z_S , поздовжній і поперечний кути ω , γ відповідно, а також кут розвороту κ [61]. Елементи внутрішнього орієнтування визначаються внутрішньою геометрією камери під час збору даних і можуть бути отримані зі специфікацій приладу та шляхом його калібрування. Елементи зовнішнього орієнтування визначаються положенням і кутовою орієнтацією камери по відношенню до системи координат вимірюваного об'єкта [62].

Нехай: $OXYZ$ – система координат точки M об'єкта спостереження; $O'xyz$ – система координат зображення; m – точка перетину площини зображення

прямою SM. Вектор $\vec{R}$ визначає положення точки M відносно системи координат зображення. Вектор $\vec{R}_s$ визначає положення центру проекції S в системі координат об'єкта спостереження. Вектор $\vec{R}_M$ визначає положення точки M відносно системи координат об'єкта спостереження. Вектор $\vec{r}'$ визначає положення зображення (проекції) m у системі координат зображення.

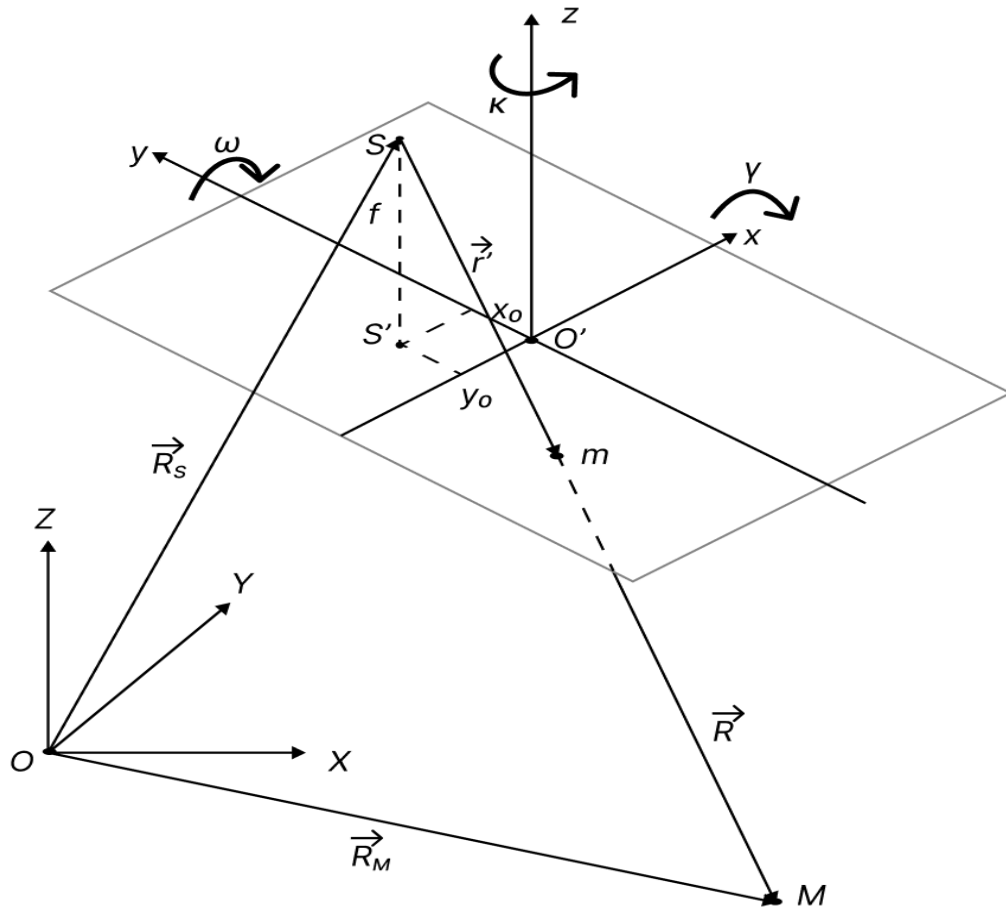


Рис. 3.9 – Елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування

Координати об'єкта та його зображення, таким чином, пов'язані через рівняння колінеарності [61], [62], яке можна представити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} X = X_s + (Z - Z_s) \frac{X'}{Z'} \\ Y = Y_s + (Z - Z_s) \frac{Y'}{Z'} \end{cases}, \quad (3.9)$$

де:

X, Y, Z – координати точки M об'єкта у системі координат об'єкта;

X_S, Y_S, Z_S – координати центра проекції S;

X', Y', Z' – координати вектору $\vec{r}'$ в системі координат об'єкта, які можна визначити за формулою:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{pmatrix}, \quad (3.10)$$

де:

x_0, y_0, f – елементи внутрішнього орієнтування;

x, y – координати точки зображення;

A – матриця перетворення координат (матриця напрямних косинусів), значення a_{ij} якої визначаються значеннями елементів зовнішнього орієнтування, а саме кутів ω, γ, κ .

Матриця A може бути представлена наступним чином [62]:

$$A = \begin{pmatrix} \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \gamma \cdot \sin \kappa & -\cos \omega \cdot \sin \kappa - \sin \omega \cdot \sin \gamma \cdot \cos \kappa & -\sin \omega \cdot \cos \gamma \\ \cos \gamma \cdot \sin \kappa & \cos \gamma \cdot \cos \kappa & -\sin \gamma \\ \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \gamma \cdot \sin \kappa & -\sin \omega \cdot \sin \kappa + \cos \omega \cdot \sin \gamma \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \cos \gamma \end{pmatrix}. \quad (3.11)$$

Враховуючи рівняння (3.10), рівняння колінеарності (3.9) набуває наступного вигляду:

$$\begin{cases} X = X_S + (Z - Z_S) \frac{a_{11}(x - x_0) + a_{12}(y - y_0) - a_{13}f}{a_{31}(x - x_0) + a_{32}(y - y_0) - a_{33}f} \\ Y = Y_S + (Z - Z_S) \frac{a_{21}(x - x_0) + a_{22}(y - y_0) - a_{23}f}{a_{31}(x - x_0) + a_{32}(y - y_0) - a_{33}f} \end{cases}. \quad (3.12)$$

Елементи зовнішнього орієнтування слід визначати у відповідності до схеми розміщення тепловізорів. Крім того, системи координат для кожної камери в межах синхронізації їх спільного поля зору можуть бути визначені індивідуально. Таким чином, для кожної окремої камери початок системи координат об'єкту спостереження може бути зіставлений з відповідним центром проекції S ($X_S; Y_S; Z_S$), а для кутів між відповідними осями систем координат

визначені нульові значення. В цьому разі, матриця перетворення координат A рівняння (3.11) стає одиничною матрицею третього порядку, а рівняння (3.9) набуває наступного вигляду:

$$\begin{cases} X_M = \frac{Z_M \cdot (x_m - x_0)}{-f} \\ Y_M = \frac{Z_M \cdot (y_m - y_0)}{-f} \end{cases}, \quad (3.13)$$

де:

X_M, Y_M – координати точки M об'єкта спостереження відносно положення камери;

x_m, y_m – координати точки m зображення об'єкта спостереження на площині зображення;

f – фокус камери;

Z_M – відстань від камери до об'єкта вимірювання.

В загальному випадку, координати зображення частіше відраховуються не від центра проекції, а від її дальнього лівого верхнього кута (рис. 3.10).

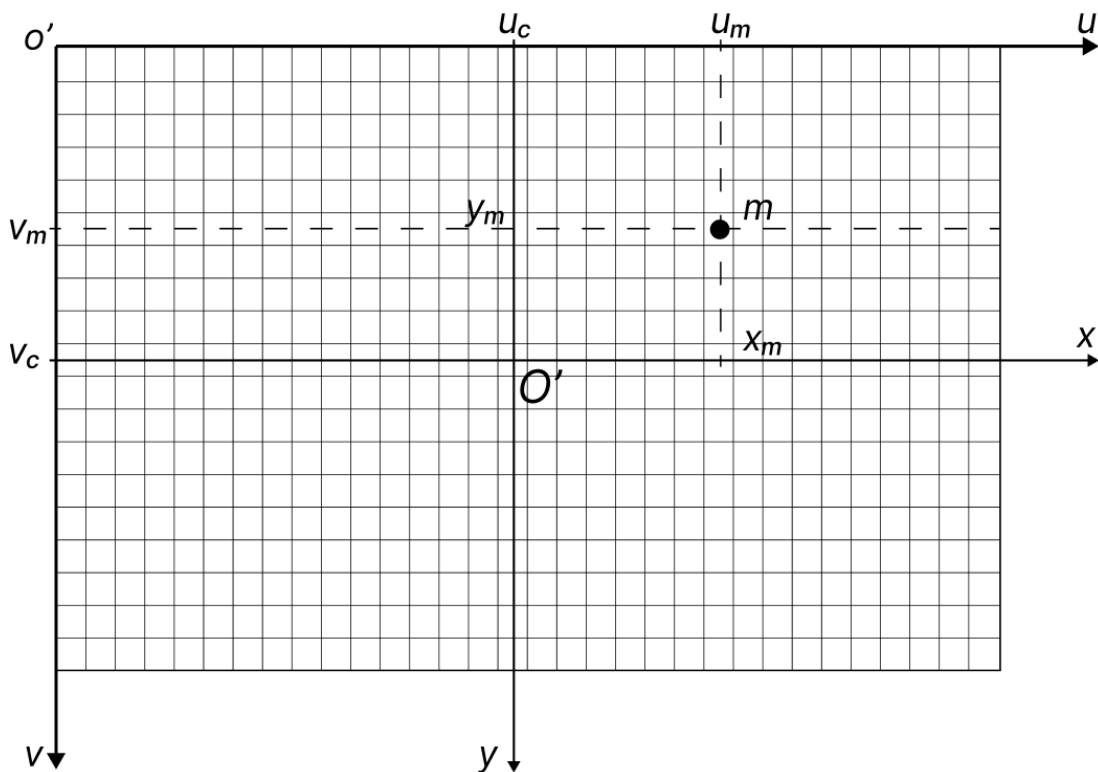


Рис. 3.10 – Системи координат цифрового зображення

В такому разі координати зображення можуть бути визначені як:

$$\begin{cases} x_m = u_m - u_c \\ y_m = v_m - v_c \end{cases}, \quad (3.14)$$

де:

u_m, v_m – координати зображення об'єкта на площині зображення в системі координат $o'uv$;

u_c, v_c – координати центру системи координат $O'xu$ в системі координат $o'uv$.

У разі необхідності переходу від метричних координат до координат центру i, k – пікселю або навпаки, можна використати наступні формули:

$$\begin{cases} u'_i = \frac{u_m}{\Delta} \\ v'_k = \frac{v_m}{\Delta} \end{cases}, \quad (3.15)$$

де:

u'_i, v'_k – координати центру пікселя матриці цифрового зображення з індексами i, k ;

Δ – характерний метричний розмір пікселя.

3.4. Визначення займання вантажних контейнерів в полі зору тепловізору

Згідно до [63], кольорове зображення формується комбінацією декількох монохромних зображень і, у випадку схеми RGB (RGB – red, green, blue – з англ. «червоний, зелений, синій»), може бути представлено вектором з трьох інтенсивностей:

$$\vec{j}_{x,y} = (j_r(x, y), j_g(x, y), j_b(x, y)), \quad (3.16)$$

де:

x, y – координати точки в площині зображення;

$\vec{j}_{x,y}$ – вектор інтенсивності кольорового RGB зображення в даній точці;

j_r, j_g, j_b – значення інтенсивностей для червоного, зеленого і синього кольорів в даній точці відповідно.

Перетворення координат до кінцевої множини значень називається процесом дискретизації. В свою чергу, перетворення амплітуди – квантуванням. Таким чином, дискретні значення координат й амплітуд формують цифрове зображення.

Кольоровим цифровим RGB зображенням є масив кольорових пікселів розміру $m \times n \times 3$. Його елементи відповідають трьом кольоровим компонентам, а саме: червоному, зеленому та синьому відповідно. Таким чином, кожний піксель є триплетом [64], [65]. Враховуючи зазначене, цифрове RGB зображення може бути представлено матрицею векторів:

$$I = \begin{pmatrix} \vec{j}_{11} & \cdots & \vec{j}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vec{j}_{m1} & \cdots & \vec{j}_{mn} \end{pmatrix}, \quad (3.17)$$

де:

$m \times n$ – роздільна здатність зображення;

$\vec{j}_{i,k}$ – вектор інтенсивностей зображення i, k – пікселя, що дорівнює:

$$\vec{j}_{i,k} = (j_{i,k}^r, j_{i,k}^g, j_{i,k}^b), \quad (3.18)$$

де:

i, k – індекси, що характеризують положення даного пікселя.

Такі зображення можуть бути представлені у вигляді «стека» трьох монохромних зображень (компонентів), що виводяться на відповідні входи кольорового монітору, формуючи результуюче кольорове зображення (рис. 3.11). Для 8-бітної монохромної компоненти, інтенсивність в десятковому вигляді належить до проміжку $[0, 255]$ – тобто може приймати 256 значень. Кількість біт, використаних для визначення значень кольорового пікселя відповідно до усіх

компонентів має назву глибини кольору. Таким чином, для RGB зображення глибина кольору (за умовою трьох компонентів по 8 біт) складає 24 біта [66], [67], а кількість кольорів в палітрі становить $2^{3 \cdot 8} = 16\,777\,216$.

Оскільки при використанні тепловізору кожному пікселю зображення відповідає деяка температура з його термального слою, ідентифікація джерела займання може бути здійснена шляхом зіставлення динамічних інфрачервоних даних об'єкта з даними про його положення за допомогою зображень в інфрачервоному і видимому спектрах. В цьому разі, матриця температур в полі зору пристрою може бути представлена в наступному вигляді:

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & \cdots & t_{mn} \end{pmatrix}, \quad (3.19)$$

де:

$m \times n$ – роздільна здатність зображення;

$t_{i,k}$ – значення температури, що відповідає i, k – пікселю матриці (3.17).

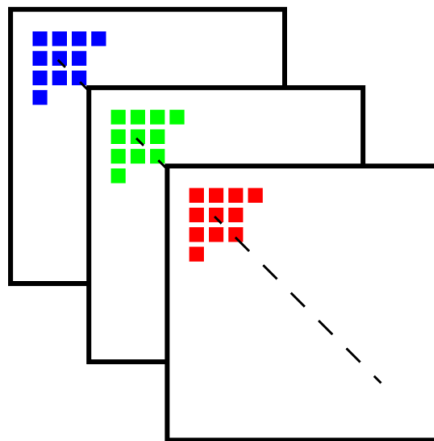


Рис. 3.11 – Схематичне відображення формування результуючого кольору з відповідних компонентів

Для розрізнення контейнерів у межах поля зору камери можуть бути використані як дані видимого, так й інфрачервоного спектрів. Однак, з цією метою необхідно визначити області інтересу (ROI – region of interest) на відповідних зображеннях. Оскільки зображення контейнеру, з урахуванням

перспективної проєкції, може займати велику частину зображення для найближчих об'єктів і маленьку для віддалених, координати контейнерів відносно положення камери можуть бути визначені для певної області зображення. Такі координати, як зазначалось раніше, розраховуються на основі елементів зовнішнього та внутрішнього орієнтування за допомогою визначеної залежності між системами координат об'єкта і його проєкції.

ROI може бути представлений матрицею наступного вигляду:

$$R_j^{i,k} = \begin{pmatrix} \vec{r}_{11} & \cdots & \vec{r}_{1w} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vec{r}_{h1} & \cdots & \vec{r}_{hw} \end{pmatrix}, \quad (3.20)$$

де:

i, k – індекси верхнього лівого пікселя j -ї області інтересу зображення ($j = 0 \dots n$, при кількості ROI на зображенні $Q = n + 1$) відносно матриці (3.17);

h, w – відповідно висота і ширина області інтересу, що відраховується від i, k – пікселя згори донизу і зліва направо відповідно;

$\vec{r}_{hw}$ – вектор, що відповідає h, w – пікселю зображення й може бути визначено як:

$$\vec{r}_{hw} = (j_{h,w}^r, j_{h,w}^g, j_{h,w}^b, t_{h,w}), \quad (3.21)$$

де:

$j_{h,w}^r, j_{h,w}^g, j_{h,w}^b, t_{h,w}$ – червона, зелена, синя інтенсивності та значення температури відповідно для h, w – пікселя зображення.

Таким чином, додатково до даних температури термального слою, може бути використана інформація стосовно палітри кадру в інфрачервоному спектрі, а саме матриця її інтенсивностей (наприклад, рис. 3.12), що залежить від значень температури пов'язаних з кожним окремим пікселем.

Палітра може відрізнитись в залежності від виробника і можливостей налаштування приладу. Таким чином, аналізуючи дані матриць (3.20) в режимі реального часу, може бути зафіксована зміна стану об'єкту спостереження.

Отже контейнер, в якому відбувається займання, може бути визначений за зміною кольору палітри (температури), коли така зміна виявляється всередині відповідної ROI, а місце походження займання може бути ідентифіковано і представлено у формі «відсік/ряд/ярус», використовуючи дані про розташування камери у вантажній зоні судна. В свою чергу, конкретне значення температури в сцені й в області інтересу може бути отримано з векторів (3.21).

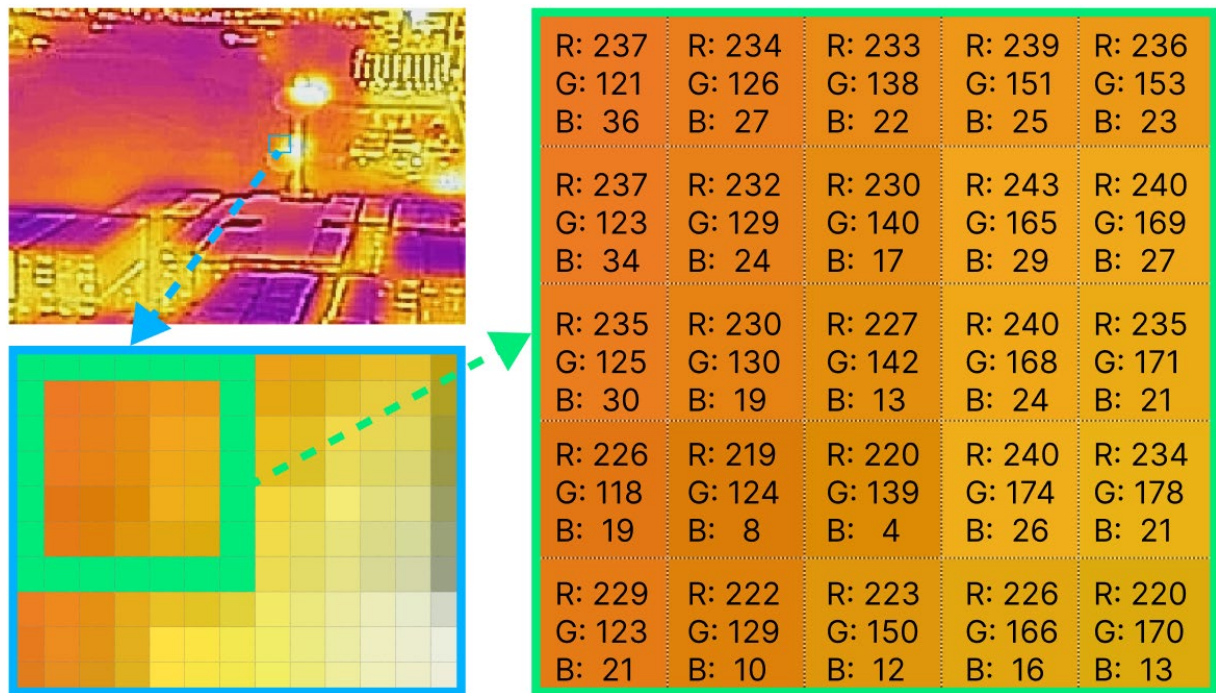


Рис. 3.12 – Схема матриці інтенсивностей палітри кольорів «Залізо» в обраному ROI

3.5. Висновки до третього розділу

Використання термального обладнання може стати великою перевагою для пожежних команд як в рамках організації пожежної безпеки, так і контролю за вантажем. Таке обладнання може сприяти зовнішньому спостереженню, знаходженню джерел займання, орієнтуванню в задимлених просторах, пошуку та рятуванню постраждалих, тощо.

Особливу увагу, в контексті інструментальних параметрів тепловізійного обладнання, слід приділяти горизонтальному і вертикальному кутам поля зору камери, а також її фокусу.

Горизонтальний і вертикальний кути поля зору в комбінації з фокусом камери й відстанню до об'єкту спостереження формують усічену піраміду поля зору камери (FOV). Визначення FOV тепловізійної камери є необхідною складовою для подальшого вирішення допоміжних завдань даного дисертаційного дослідження. У першому наближенні поле зору камери можна представити у вигляді піраміди з прямокутником в основі. Таким чином, поле зору може бути визначено висотою піраміди та кутами при її вершині. У контексті поставленої задачі, кути при вершині піраміди є горизонтальним і вертикальним кутами поля зору, заданими в специфікації тепловізору. Враховуючи фокусну відстань тепловізійної камери, отримується усічена піраміда її поля зору.

В розділі визначено залежності між системами координат об'єкту спостереження (вантажного контейнера) і його зображенням. Представлено концепцію визначення займання вантажних контейнерів в полі зору тепловізору із використання зображень в інфрачервоному і видимому спектрах.

Зміст даного розділу викладено в роботах [10], [12], [14], [15], [18]–[20].

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ В СИСТЕМІ ІЗ ДЕКІЛЬКОМА ТЕПЛОВІЗОРАМИ

4.1. Визначення схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнеровозу

Система спостереження за температурним станом контейнерних вантажів, що реалізує запропонований у попередньому розділі метод ідентифікації джерела займання, потребує використання деякої кількості тепловізійних камер, що сформулюють сумарне поле зору, й відповідного алгоритму для забезпечення функціонування такої системи. Кількість камер N_C залежить від ряду параметрів і може бути представлена у наступному вигляді:

$$N_C = f(q, Q_K, Q_K^B, Q_S, N_S), \quad (4.1)$$

де:

q – кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізору;

Q_K – загальна кількість контейнерів у вантажному просторі;

Q_K^B – кількість контейнерів у «сліпій зоні» сумарного поля зору камер;

Q_S – кількість контейнерів у полі зору в межах умовних секцій вантажного простору, де кількість контейнерів такої секції менша за кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізору;

N_S – кількість умовних секцій вантажного простору, де кількість контейнерів такої секції менша за кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізору.

Оскільки, згідно до (3.7) може бути визначено характерний розмір об'єкту спостереження при відомих елементах зовнішнього орієнтування і параметрах тепловізору, кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізору може бути визначена наступним чином:

$$q = \frac{d \cdot \sin \beta - \delta \cdot \cos(\gamma - \frac{\beta}{2})}{\Delta \cdot \cos(\gamma - \frac{\beta}{2})}, \quad (4.2)$$

де:

Δ – характерний розмір вантажного контейнера;

δ – сумарне значення ширини проміжків між вантажними контейнерами на досліджуваному відрізку;

за умови, що:
$$\begin{cases} 0 < \beta < \pi, \\ -\frac{\pi}{2} < \gamma - \frac{\beta}{2} < \frac{\pi}{2}. \end{cases}$$

Загальна кількість контейнерів у вантажному просторі може бути визначена як:

$$Q_K = \sum_{i=1}^{N_T} C_i, \quad (4.3)$$

де:

N_T – кількість ярусів у вантажному просторі;

C_i – кількість контейнерів на i -му ярусі.

Кількість контейнерів у «сліпій зоні» сумарного поля зору камер можна представити наступним чином:

$$Q_K^B = \sum_{i=1}^{N_B} K_i, \quad (4.4)$$

де:

N_B – кількість «сліпих зон»;

K_i – кількість контейнерів у i -й «сліпій зоні».

Згідно до Міжнародної конвенції по безпечним контейнерам [68] «контейнер» означає транспортне обладнання: а) маюче постійний характер і тому є досить міцним, щоб слугувати для багаторазового користування; б)

спеціально сконструйоване для полегшення перевезення вантажів одним або декількома видами транспорту без проміжного перевантаження вантажів; с) сконструйоване з урахуванням необхідності закріплення та/або легкої обробки і з цими цілями забезпечене кутовими фітингами; d) такого розміру, що площа, яка знаходиться між чотирма зовнішніми нижніми кутами, складає: i) не менше 14 м² (150 кв. ф.) або ii) не менше 7 м² (75 кв. ф.) при наявності верхніх кутових фітингів; термін «контейнер» не охоплює ні транспортні засоби, ні упаковку; однак він розповсюджується на контейнери, коли вони перевозяться на шасі.

В цьому контексті слід зазначити, що в ISO було попередньо досліджено три серії контейнерів [69]: кожна серія включала в себе контейнери, що зв'язані за розмірами між собою, але не з контейнерами інших серій. Початково контейнери серії 1 були призначені для міжконтинентальних перевезень, а контейнери серій 2 і 3 для внутрішньоконтинентальних систем. Наразі серія 1 є закріпленою міжнародними стандартами і має широке застосування. Позначення і розміри контейнерів серії 1 зведено до таблиці 4.1 [70].

Таблиця 4.1 – Зовнішні розміри та позначення контейнерів серії 1

Позначення вантажного контейнера	Довжина		Висота		Ширина	
	фути	м	фути дюйми	мм	фути	мм
1EEE	45'	13.716	9' 6"	2896	8'	2438
1EE			8' 6"	2591		
1AAA	40'	12.192	9' 6"	2896		
1AA			8' 6"	2591		
1A			8'	2438		
1AX			< 8'	< 2438		
1BBB	30'	9.125	9' 6"	2896		
1BB			8' 6"	2591		
1B			8'	2438		
1BX			< 8'	< 2438		
1CCC	20'	6.058	9' 6"	2655		
1CC			8' 6"	2591		
1C			8'	2438		
1CX			< 8'	< 2438		
1D	10'	2.991	8'	2438		
1DX			< 8'	< 2438		

Таким чином, концепція розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнеровоза в площині паралельній до площини мідель-шпангоута схематично представлена на рис. 4.1. Розташування теплових камер повинно максимально забезпечувати перекриття всієї спостережуваної площини їх сумарним полем зору. В свою чергу, наявність переборок чи інших перешкод в районах розташування тепловізорів зумовлює врахування кількості N_S сформованих ними умовних секцій розділення спостережуваної площини при розрахунку необхідної кількості сенсорів. Отже сумарну кількість контейнерів в секціях Q_S можна представити як:

$$Q_S = \sum_{i=1}^{N_S} K_i, \quad (4.5)$$

де:

K_i – кількість контейнерів у i -й секції.

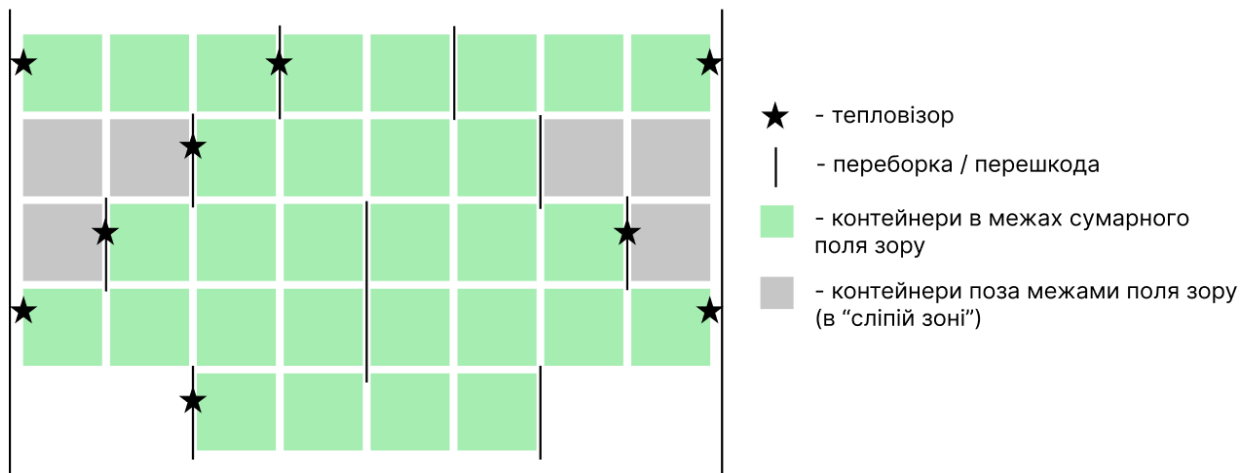


Рис. 4.1 – Приклад схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнерного судна в площині паралельній до площини мідель-шпангоута

Враховуючи (4.2 – 4.5), (4.1) набуває наступного вигляду:

$$N_C = \frac{Q_K - Q_K^B - Q_S}{q} + N_S, \quad (4.6)$$

де отримана кількість N_C має бути округлена до найбільшого цілого числа.

4.2. Визначення загальної архітектури системи із декількома тепловізорами

Згідно до [71], під архітектурою системи слід розуміти її принципову організацію, що реалізована в елементах цієї системи, їх взаємодіях один з одним та навколишнім середовищем, а також принципи, що спрямовують її проектування і еволюцію. В загальному випадку, термін «архітектури» може бути достатньо суб'єктивним і по-різному трактуватися в різних контекстах. Однак згідно до [72], дане поняття може бути розділено на два напрямки: логічну і фізичну архітектури. Логічна архітектура підтримує функціонування системи протягом її життєвого циклу на логічному рівні, складається з набору пов'язаних технічних концепцій і принципів й поєднує у собі функціональну, поведінкову й часову архітектури. Метою фізичної архітектури є систематизація фізичних елементів в узгодженні з логічною складовою для реалізації спроектованих рішень.

Зазначена система моніторингу контейнерних вантажів повинна мати в своєму складі певні структурні групи як на фізичному, так і програмному рівнях, а саме такі як: блок тепловізорів, що включає в себе необхідну кількість теплових камер і має необхідні програмні й апаратні інтерфейси для взаємодії з іншими елементами і групами системи; блок серверу із відповідним програмним забезпеченням (ПЗ), котре повинно мати належний функціонал для виконання операцій з отримання, обробки й подальшого використання отриманої з теплових камер інформації; засобів сповіщення оператора, що можуть включати до себе різні пристрої та системи, як візуальної і звукової сигналізації, так і засобів неперервного моніторингу за станом спостерігаємих об'єктів. Отже, в загальному вигляді на фізичному рівні зазначена система може бути представлена блок-схемою її фізичних компонентів (рис. 4.2). Функціональна діаграма запропонованої системи може бути складена за допомогою IDEF (Integrated Definition Methods) [73], історія розвитку якої пов'язана з виникненням методології структурного аналізу й проектування SADT (structured

analysis and design technique) наприкінці 60-х років минулого століття. Дана методологія використовує графічну мову й застосовувалась для опису складних систем в комунікативних дизайнах, військовому плануванні та автоматизованому виробництві. Слід відзначити, що хоча методологія SADT успішно використовувалась в різних напрямках, однак найбільш ефективно під час розробки програмного забезпечення. Пізніше, у 1980-х роках, SADT був прийнятий як Icam DEFinition для функціонального моделювання (IDEF0) в якості програми ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) для забезпечення потреби в потужних методах моделювання для системного аналізу й проектування. В цей період також було введено кілька інших пакетів IDEF: переважно IDEF1, IDEF2, IDEF3 та IDEF1x [74].



Рис. 4.2 – Загальна схема моделі суднової системи спостереження за температурним станом вантажів з використанням тепловізорів

Таким чином, IDEF0 [75], [76] – метод функціонального моделювання. Використовується для створення функціональної моделі, що відображає структуру і функції системи, а також потоки інформації й матеріальних об'єктів, що пов'язують ці функції. Відображення взаємозв'язку функцій моделі

здійснюється за допомогою побудови ієрархії функціональних діаграм, що схематично представляють взаємозв'язки декількох функцій. Кожен блок такої діаграми відповідає певній функції, для якої мають бути визначені: вхідні дані, результати, інформація, що управляє, і механізми її здійснення – людина або технічні засоби. Іншими словами, блоки діаграми являють собою функції, що визначаються як діяльності, процеси, операції чи перетворення. Всередині кожного блока розміщується його ім'я і номер. Номер блоку розміщується в правому нижньому куті й використовується для ідентифікації блоку на діаграмі та у відповідному текстовому описі.

Дані або інші об'єкти, що пов'язані із функціями позначаються стрілками. Слід відзначити, що стрілки не являють собою потоки чи послідовності подій (рис. 4.3), а кожна сторона блока має чітко закріплену семантичну залежність відношення блок – стрілка.

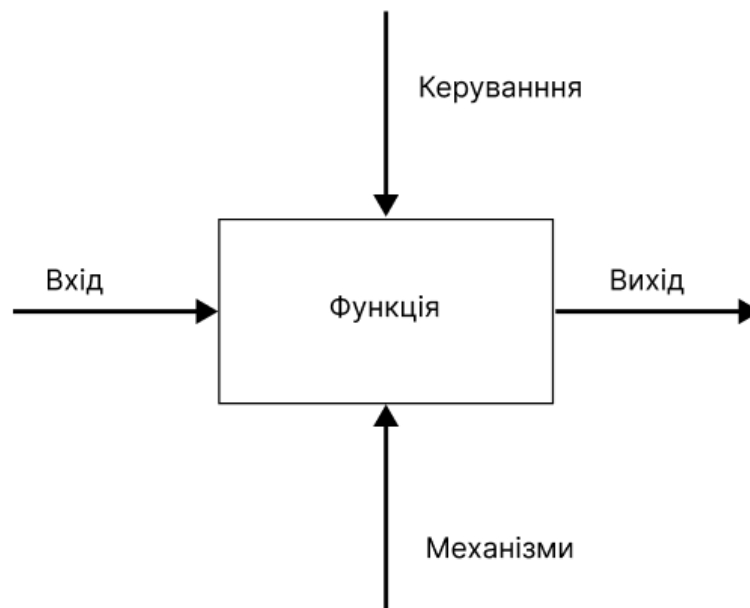


Рис. 4.3 – Функціональний блок з інтерфейсними стрілками

Побудова ієрархії функціональних діаграм ведеться поетапно зі збільшенням рівня деталізації: діаграми кожного рівня уточнюють структуру батьківського блоку. Побудову моделі починають з єдиного блоку, для якого визначають вхідні й вихідні дані, елементи керування і механізми реалізації, що надалі послідовно деталізується в наступних схемах з використанням методу

покрокової деталізації. Перша діаграма в ієрархії діаграм IDEF0 завжди зображує функціонування системи загалом. Такі діаграми називаються контекстними.

Контекстна діаграма системи моніторингу температурного стану контейнерних вантажів представлена на рис. 4.4.

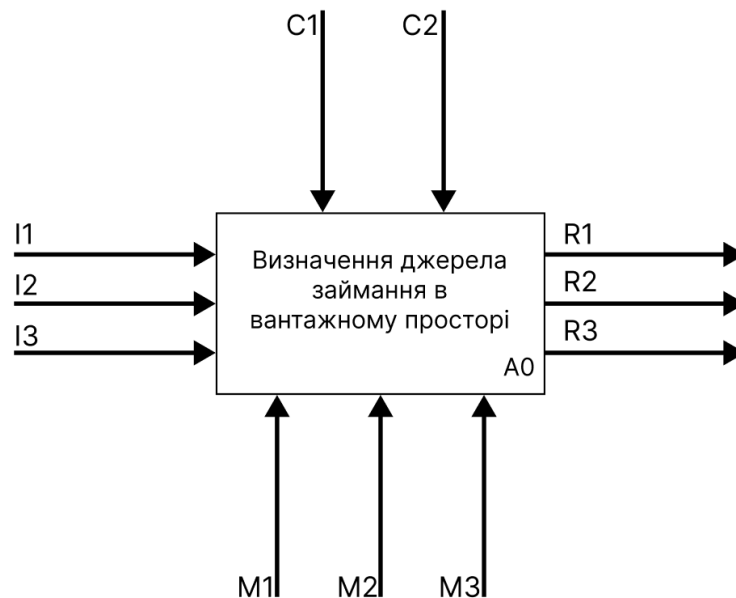


Рис. 4.4 – Контекстна діаграма системи моніторингу температурного стану контейнерних вантажів в загальному вигляді

Входами на представленій контекстній діаграмі є:

I1 – зображення у видимому спектрі;

I2 – зображення у інфрачервоному спектрі;

I3 – ідентифікатор джерела даних.

Елементи керування:

C1 – налаштування користувача;

C2 – стандарти і нормативні документи (пр., щодо систем пожежної безпеки).

Механізми:

M1 – серверне обладнання;

M2 – сенсори (тепловізійні камери);

M3 – апаратні й програмні засоби забезпечення з'єднання.

Результати:

R1 – температура джерела займання;

R2 – позиція джерела займання;

R3 – зображення з теплових камер.

Умовні позначення на уточнюючій діаграмі (рис 4.5) відповідають позначенням наведеним для відповідної контекстної діаграми.

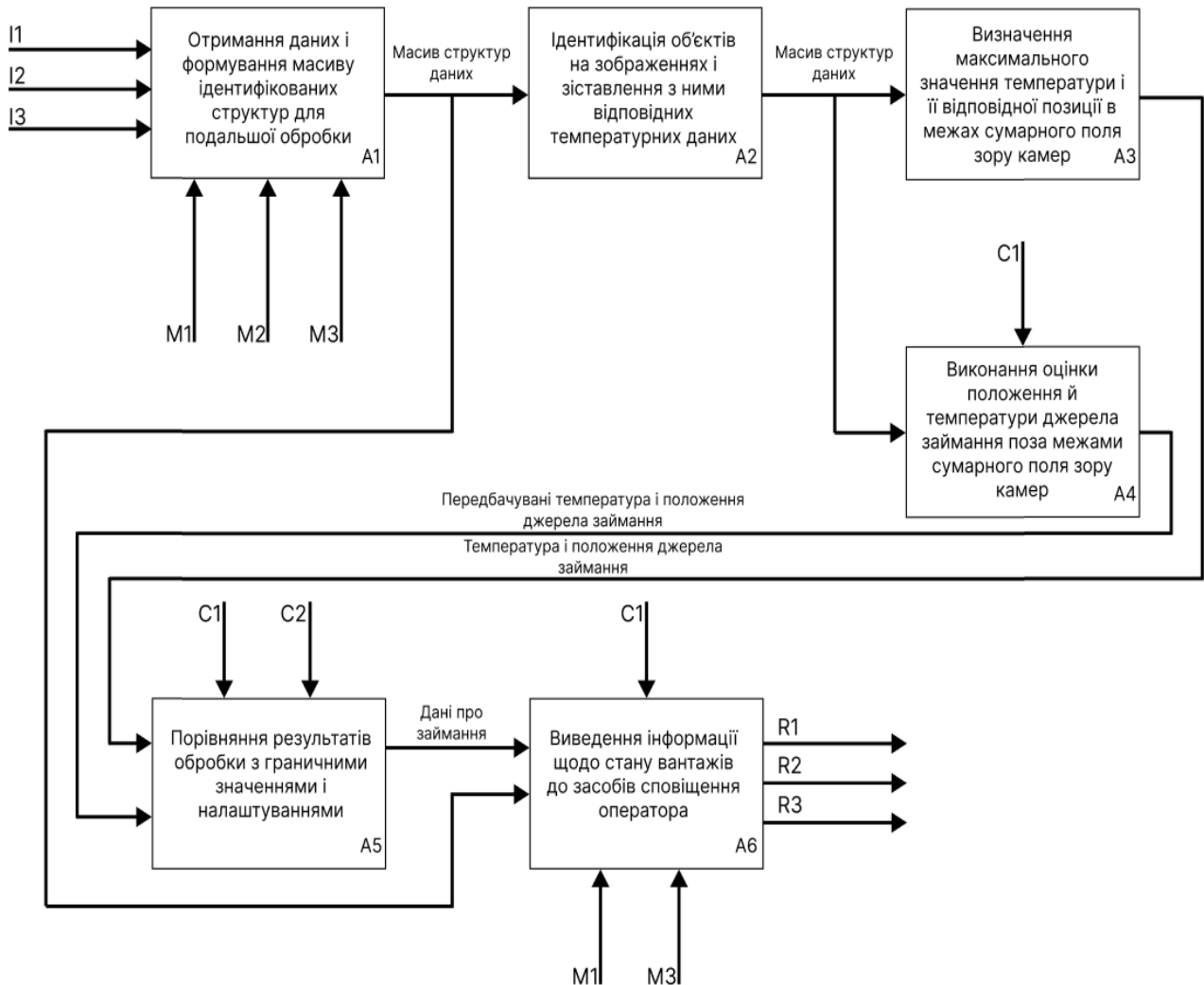


Рис. 4.5 – Уточнююча діаграма системи моніторингу температурного стану контейнерних вантажів в загальному вигляді

Таким чином, надалі виникає необхідність встановлення безпосередньо алгоритму визначення максимального значення температури джерела займання і його відповідної позиції в межах сумарного поля зору теплових камер, а також алгоритму оцінки положення й температури джерела займання для контейнерів поза межами поля зору тепловізорів.

4.3. Побудова загального алгоритму обробки даних

З метою реалізації наведених функціональних залежностей, необхідно детальніше визначити відповідні алгоритми обробки даних і побудувати діаграму класів, у відповідності до якої має базуватись така реалізація. В цьому контексті може бути використано мову графічного опису для об'єктного моделювання UML (Unified Modeling Language) [77]–[79].

UML-діаграма класів являє собою схему структури ієрархії класів, їх взаємозв'язків, кооперацій, атрибутів, методів та інтерфейсів. Її метою є графічне представлення статичної структури декларативних елементів системи класів для об'єктно-орієнтованого аналізу й проектування. UML може бути використано для візуалізації, специфікації, конструювання і документування програмних систем. В цьому контексті, термін «клас» слід розуміти як ключовий елемент об'єктно-орієнтованого програмування, що визначає атрибути (поля) і методи (функції) набору об'єктів (екземплярів класу). Всі екземпляри класу мають спільну поведінку й набір атрибутів. На діаграмі класи представлені у вигляді блоків, що містять в собі по декілька сегментів, а саме: ім'я класу у верхній частині, атрибути (поля) в середній і методи класу в нижній частині блоку (рис. 4.6).

Ім'я класу повинно відрізняти його від інших класів і являє собою текстову строку, що може містити в собі літери, цифри й інші символи, окрім крапки та двокрапки. В загальному випадку ім'я класу починається з великої літери («верблюдячий регістр»).

Атрибут – це іменоване поле класу, що описує діапазон значень, котрі може приймати екземпляр атрибута. Якщо клас не має атрибутів, відповідна секція залишається пустою. Атрибути зазвичай задаються типом, ім'ям, а також областю видимості: знак «+» відповідає публічним членам класу (public), «#» – захищеним (protected), а «-» відповідає приватним (private) членам.

Для позначення методів класу слід використовувати їх назви, параметри й типи значень, що ними повертаються. Область видимості метода позначається тими ж символами, що й для атрибутів.

При зображенні класу на діаграмі не є обов'язковим відображення всіх його атрибутів і методів, а тільки ключових для його конкретного подання.

Також в UML визначені відношення (зв'язки) для класів. Відношення – це логічна взаємодія між сутностями, що відображені на діаграмі класів. Відношення класів можуть бути визначені декількома типами: асоціація, залежність, агрегація, композиція, наслідування (узагальнення) і реалізація.



Рис. 4.6 – Приклад блоку UML-діаграми класів з позначеннями відношень

Асоціація – це такий структурний взаємозв'язок між елементами моделі, що позначає деяке відношення об'єктів одного до об'єктів іншого класів.

Залежність – семантично являє собою зв'язок між двома елементами моделі, в якому зміна одного незалежного елемента може привести до зміни іншого (залежного) елемента моделі.

Агрегація є різновидом асоціації, що являє собою структурний взаємозв'язок цілого з його частинами. Наприклад, коли один клас є колекцією інших.

Композиція, в свою чергу, є різновидом агрегації, коли час існування окремих елементів співпадає з часом існування цілого. Тобто, якщо колекцію (або контейнер) було видалено, то і їх зміст також буде видалено.

Наслідування (узагальнення) представляє, що один з двох пов'язаних класів (нащадок) є окремим випадком іншого (батьківського класу).

Реалізація є таке відношення між елементами, коли один елемент (клієнт) реалізує поведінку іншого (постачальника).

Таким чином, UML-діаграма класів для системи моніторингу температурного стану в рамках даного дослідження, враховуючи функціональну модель представлену на діаграмах рис. 4.4 і рис. 4.5, може бути побудована у наступному вигляді (рис. 4.7):

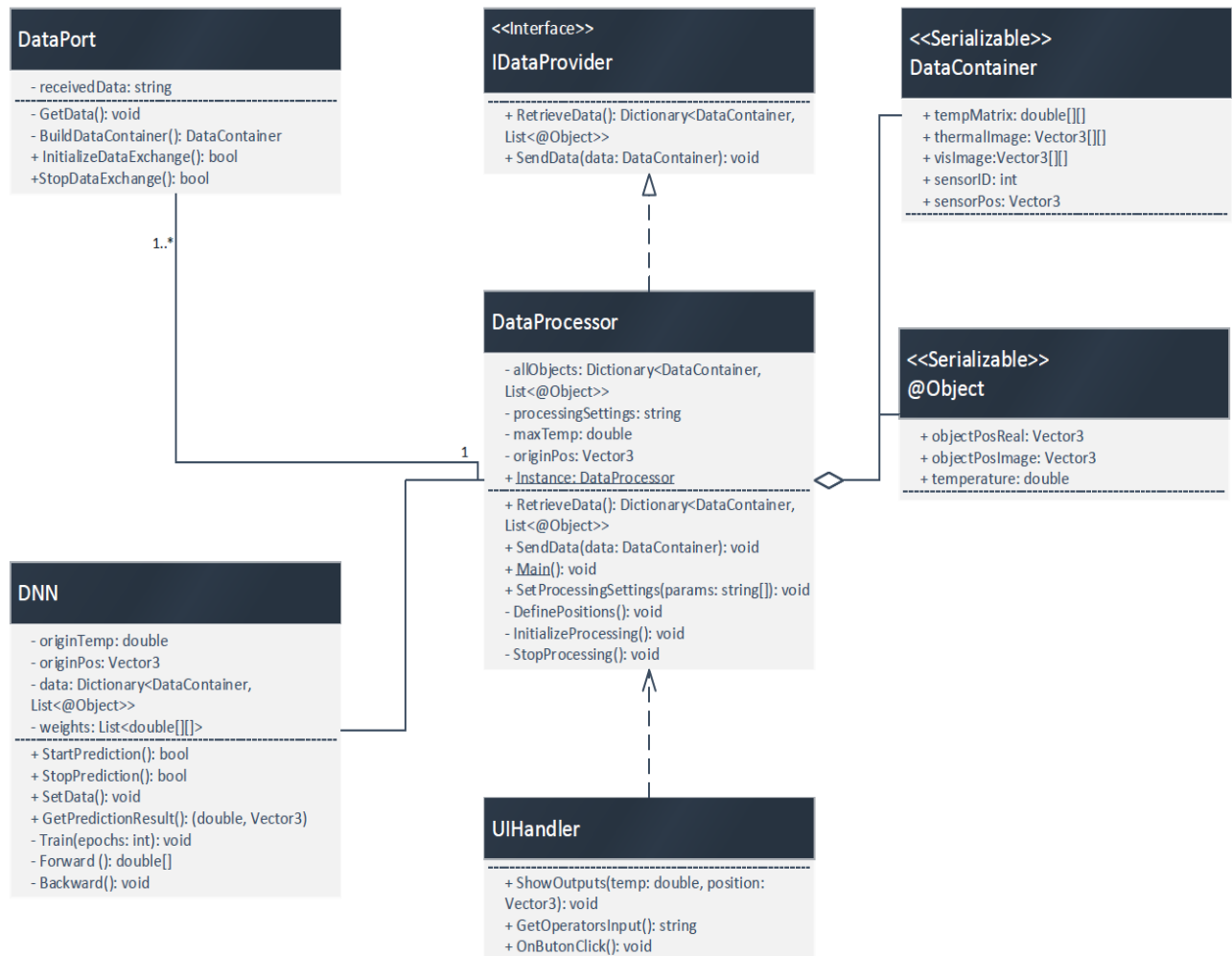


Рис. 4.7 – UML-діаграма класів системи моніторингу температурного стану при перевезенні контейнерних вантажів

В даному контексті, блок-схема алгоритму програмного забезпечення для системи моніторингу температурного стану контейнерних вантажів в загальному вигляді представлена на рис. 4.8.

На представленій діаграмі класів (рис. 4.7) позначені шість основних класів для забезпечення функціонування системи, а саме:

- DataPort – клас, що забезпечує обмін даними з підключеними сенсорами (тепловізорами).

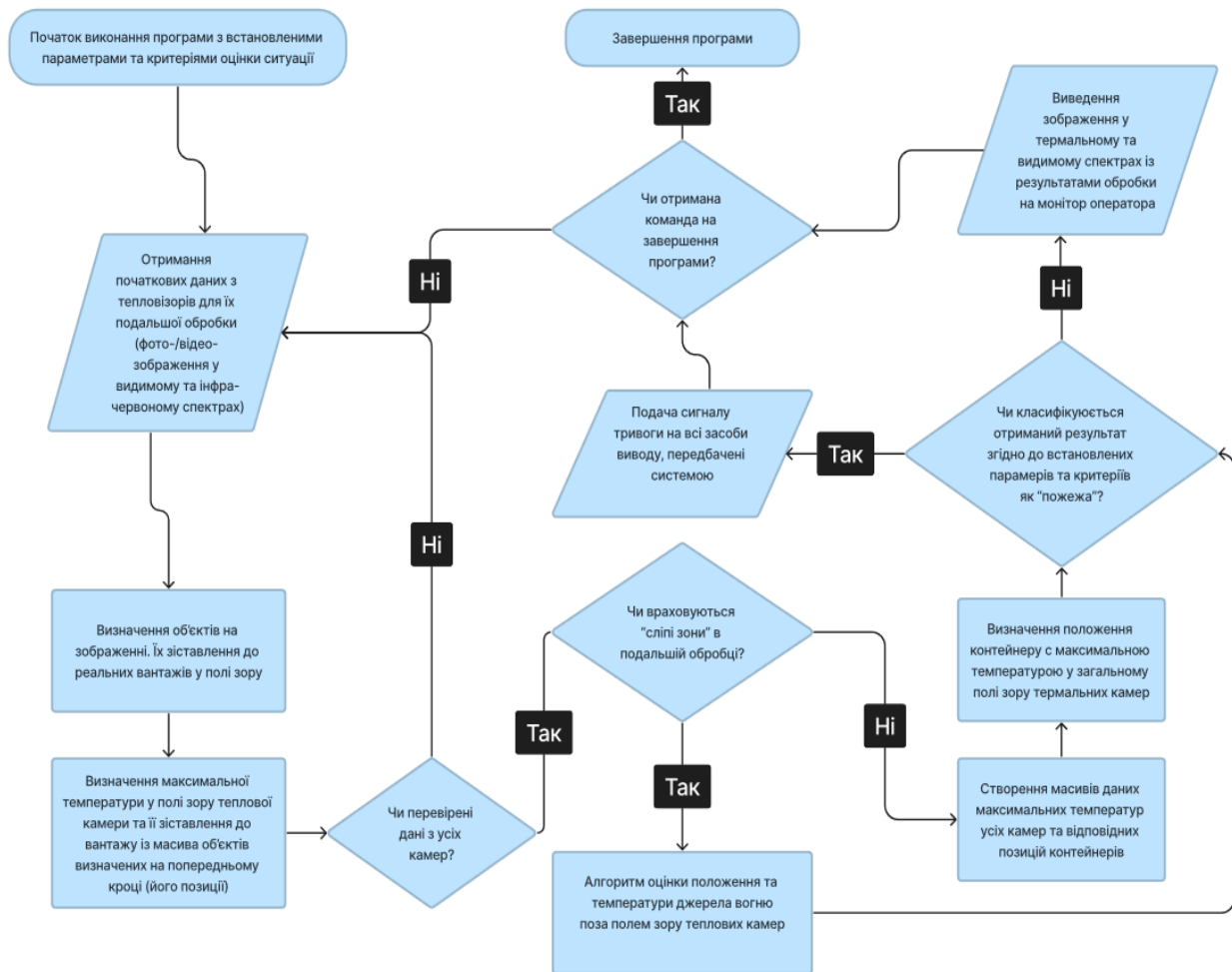


Рис. 4.8 – Блок-схема алгоритму програмного забезпечення для оцінки виникнення пожежі

- `DataProcessor`, що містить в собі публічний статичний метод `Main()`, який є точкою входу для виконання програми, й націлений на загальне керування встановленими алгоритмом ПЗ. Даний клас реалізує інтерфейс `IDataProvider` й використовує об'єкти класів `DataContainer` і `@Object`, в якості елементів колекції типу словника (`Dictionary`), за допомогою якого встановлюється відповідність між даними сенсору й визначеною колекцією об'єктів (в даному випадку контейнерів) для кожної конкретної пари зображень, що є полями класу `DataContainer` й відповідають двовірним масивам типу `Vector3`.

- Клас `UIHandler` відповідає за взаємодію ПЗ з користувачем (оператором) і вивід результатів обчислення на засоби сповіщення (пр., монітор комп'ютеру).

Слід відзначити, що такі елементи, як кнопки, текстові поля, тощо, які можуть бути попередньо впроваджені до складу використовуваних в ході розробки ПЗ фреймворків (пр., Windows Forms .NET [80]) або інших платформ розробки (пр., Unity [81]), не додавались й не враховувались при будівництві зазначеної діаграми класів.

- Клас DNN (від Digital Neural Network – цифрова нейронна мережа) виконує роль оцінки положення й температури потенційного джерела займання, що може знаходитися поза межами поля зору тепловізорів. Таким чином, виникає необхідність більш детального розгляду питання вибору й застосування цифрової нейронної мережі в контексті даного дослідження.

4.4. Побудова алгоритму оцінки стану вантажів у «сліпих зонах» спільного поля зору тепловізорів з використанням методів нейронних мереж

Оскільки завдання визначення температури контейнерів поза межами сумарного поля зору тепловізорів передбачає розв’язання деякої залежності від змінних, що, в свою чергу, залежать від багатьох факторів, таких як ступінь завантаженості контейнерів, тип вантажу, їх розміщення (у вантажному трюмі чи на палубі), умови вентиляції вантажного простору, теплопровідність, тощо, де їх визначення може виявитись складним завданням, а при певних умовах навіть нерозв’язним через відсутність необхідних і достатніх вхідних даних, пропонується використання нейронної мережі в цьому зв’язку. В контексті поставленої задачі, в якості оцінки стану вантажів у «сліпих зонах» спільного поля зору тепловізорів пропонується виконувати прогнозування позиції й температури потенційного джерела займання, що знаходиться в межах такої «сліпої зони».

Нейронні мережі – один із напрямків у сфері штучного інтелекту, заснований на спробах відтворити нервову систему людини, а саме її здатність до навчання і виправлення помилок, що повинно дозволити моделювати, хоч і досить грубо, роботу людського мозку [16], [82]. Хоча концепція штучних нейронних мереж відома ще з минулого століття, сьогодні вона знайшла нове дихання завдяки

розвитку сучасних комп'ютерних технологій, програмно-апаратних ресурсів і можливостей. Штучні нейронні мережі пов'язані з багатьма дисциплінами: нейрофізіологією, математикою, статистикою, фізикою, інформатикою й інженерією. Завдяки здатності до навчання вони знаходять своє застосування в різних сферах, таких як моделювання, аналіз часових рядів, розпізнавання образів, обробка сигналів, вирішення завдань керування і прогнозування, тощо. Слід відзначити, що різні дослідження вже пропонували й/або переглядали концепцію моделей цифрових нейронних мереж (ЦНМ або DNN – digital neural network, або ANN – artificial neural network), які застосовуються або можуть бути застосовані у морській галузі.

Так автономне управління судном і прогнозування руху судна є широко досліджуваної сферою вже більше 30 років. Наприклад, в роботі [83] розглядалася автономна суднова навігація в каналах з використанням нейронної мережі, що складається з адаптивного критичного елемента (АКЕ) і адаптивного пошукового елемента (АПЕ). АПЕ відповідав за вивчення зони каналу, тоді як АКЕ оцінював продуктивність АПЕ, намагаючись передбачити можливі збої в навігації. Розроблена модель продемонструвала задовільні результати через реалізацію її імітаційного моделювання з графічним зворотним зв'язком.

Для прогнозування траєкторії суден було розроблено комбіновану модель довгострокової короткочасної пам'яті (МДКП) на основі зашумлення (DBSCAN) для розширення рекурентної нейронної мережі (РНМ) з метою прогнозування траєкторії судна [84]. Отримані прогнози запропонованої моделі показали перевагу на 2% над іншими моделями в дослідженні.

Нелінійна авторегресійна екзогенна мережа (NARX) була використана в якості ядра системи прогнозування руху судна в дослідженні [85]. Переваги довгострокової здатності мережі NARX до прогнозування було реалізовано за допомогою стратегії гібридного навчання, а експериментальні результати, в свою чергу, продемонстрували її ефективність для прогнозування руху судна.

Використання багатошарового перцептрона (БШП) обговорювалося в дослідженні [86] для реалізації прогнозування руху судна в заданих умовах. З

метою посилення оптимізації і багатокритеріального автоматичного проектування суден з точки зору швидкого й одночасного аналізу багатьох проектних рішень за однаковий часовий інтервал у роботі [87] представлено реалізацію нейронної мережі для оцінки маневрених якостей судна.

Перспективи застосування ЦНМ також знайшли відображення в моніторингу стану швартовних тросів. Наприклад, дослідження [88] використовувало ЦНМ для ефективного аналізу даних відгуку часових рядів, які використовуються для виявлення пошкоджень. Результати запропонованого підходу підтвердили ефективність моделі у порівнянні з результатами, отриманими в [89]. У роботах [90]–[94] розроблено автоматичний контролер швартування за допомогою ЦНМ.

Використання нейронних мереж досліджувалось і в контексті систем пожежної сигналізації. Так, наприклад, в роботах [5], [6], [95], представлені різні моделі в цьому контексті, що реалізують різні алгоритми ЦНМ. Наприклад, дослідження [6] описує систему, засновану на сіро-нечітких алгоритмах. Алгоритм виявлення пожежі, який використовує піроелектричний інфрачервоний датчик руху і ЦНМ, запропоновано в [5]. Дані, зібрані з датчика, оброблюються для подальшого навчання нейронної мережі. Згідно з описаним дослідженням, така модель показала достатньо ефективні результати під час випробувань і була здатна виявляти не тільки відкрите полум'я, але й рух людини. У дослідженні [95] представлені відповідно набори даних лабораторних експериментів для подальшої їх обробки за допомогою методів машинного навчання.

Базовим елементом цифрової нейронної мережі є нейрон. В цьому контексті, нейрон – це обчислювальна одиниця, яка отримує інформацію, здійснює над нею прості обчислення і передає її далі. Загальна структурна схема j -го нейрона мережі представлена на рис. 4.9: штучний нейрон має n вхідних сигналів $x_{j,i}$, де $i = 1 \dots n$, відповідно до кожного з яких встановлюється вага $w_{j,i}$, на яку помножується i -й сигнал. Після цього всі зважені сигнали $x_{j,i} \cdot w_{j,i}$ перетворюються суматором у зважену суму [96].

З метою формування вихідного сигналу використовують функцію активації, що перетворює отриману зважену суму до вихідного значення нейрону y_j . В біологічних нейронних мережах функцією активації приймається деяка абстракція, що представляє собою швидкість збудження потенційної дії в клітці [97]. В найбільш простій формі дана функція має бінарний вигляд, тобто нейрон або збуджується, або ні.

В такому контексті, функція активації може бути представлена ступінчастою функцією Хевісайда [98], [99]:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}, \quad (4.7)$$

яка в загальному випадку не визначена при $x = 0$, хоча і може бути довизначена в даній точці деяким числом (пр., $f(0) = 1$) для вмісту усіх точок дійсної вісі до області визначення функції.

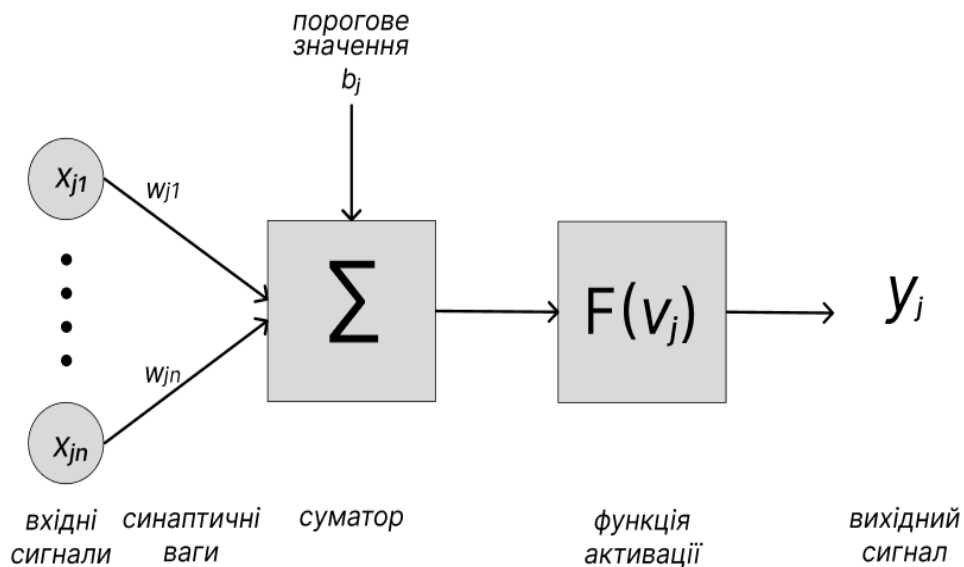


Рис. 4.9 – Модель нейрона

Однак така функція активації має свої недоліки. Наприклад, роздивимось наступну ситуацію, коли розроблена модель повинна вирішувати чи був активований нейрон. В такому випадку, ступінчаста функція може точно вивести результат: 1 або 0. Однак, якщо є необхідність використання великої кількості нейронів для обробки декількох класів об'єктів, може виникнути ситуація, коли

активованими виявляться декілька нейронів. Тоді виникне невизначеність стосовно отриманого результату. Таким чином, виникає необхідність не лише визначати чи є активованим нейрон в бінарному сенсі, а й отримати проміжкові значення функції активації.

Використання лінійної функції в якості функції активації вирішує проблему використання ступінчастої функції в даному контексті, однак також має свої переваги і недоліки. На відміну від ступінчастої функції, вона надає можливість отримання деякого діапазону значень на виході, що вирішує проблему класифікації великої кількості класів. Однак, по-перше, при її використанні неможливо застосування методу зворотного розповсюдження помилки для реалізації навчання мережі. Оскільки така реалізація потребує отримання похідної від функції активації – для лінійної функції вона є константою й не залежить від вхідних значень, а отже при оновленні ваг неможливо сказати чи зменшилась помилка на даному кроці, або ні. По-друге, у випадку багатошарової нейронної мережі, вихідні значення нейронів формують лінійну комбінацію, результатом якої є лінійна функція. Таким чином, фінальна функція активації на останньому шарі залежить лише від вхідних значень на першому шарі, а отже будь-яка кількість шарів може бути замінена лише одним шаром. В такому разі не має сенсу використання багатошарової мережі.

Таким чином, однією з найбільш поширених функцій, що застосовуються в якості функцій активації в ЦНМ є сігмоїда, а саме логістична функція [100] (рис. 4.10):

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-v_j}}, \quad (4.8)$$

де:

y_j – вихід j -го нейрону;

v_j – зважена сума всіх синаптичних входів j -го нейрону з додаванням його відповідного порогового значення. Порогове значення (bias) може

використовуватись для зміщення функції активації вздовж осі абсцис в якості додаткового інструменту підвищення ефективності навчання мережі.

Логістична функція, є нелінійною аналоговою функцією активації, що обмежена двома горизонтальними асимптотами ($y = 1$ і $y = 0$) й прямує до них, при прямуванні аргументу до $\pm\infty$. Таким чином, її використання вирішує вище зазначені проблеми застосування функцій активації у ЦНМ.

Слід відзначити, що існують й інші типи функцій активації, найбільш поширеними, серед інших, також є функція гіперболічного тангенсу, ReLU (від англ., «rectified linear unit»), Leaky ReLU, тощо. Кожна з них має свої переваги і недоліки, а також особливості застосування в залежності від обраного типу навчання нейронної мережі, кількості класів даних, що підлягають обробці, кількості шарів ЦНМ і т.д. Оскільки дана робота не направлена на глибоке вивчення нейронних мереж, а в рамках встановленого завдання існує необхідність визначення лише двох класів даних, а саме температури і її відповідної позиції, використання логістичної функції вважається достатнім в цьому контексті.

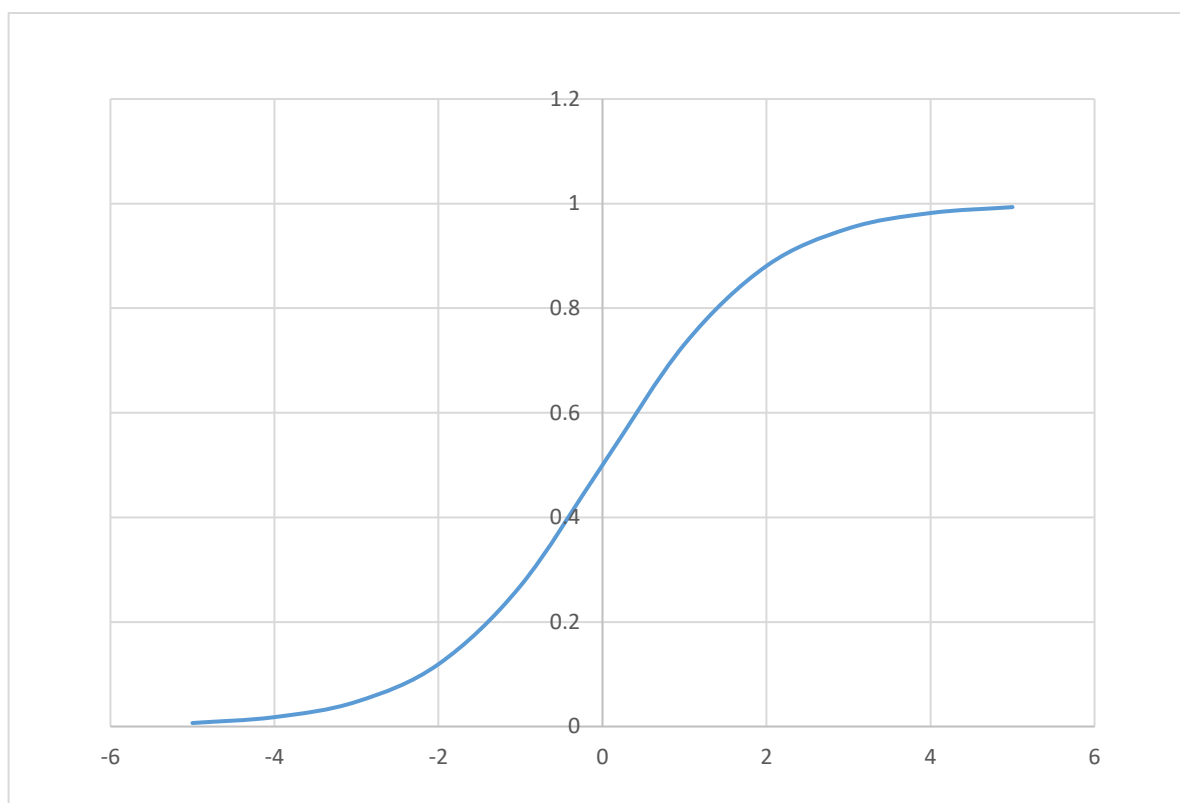


Рис. 4.10 – Графік логістичної функції

Можливість навчання – одна з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. У процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними і вихідними даними. Це означає, що у разі успішного навчання мережа зможе повернути правильний результат на підставі даних, які були відсутні у навчальній вибірці, а також неповних і/або «зашумлених», частково пошкоджених даних. Технічно, навчання ЦНМ полягає у знаходженні коефіцієнтів зв'язків (синапсів) між нейронами.

ЦНМ можуть бути класифіковані за різними ознаками [100]–[102]: наприклад, за кількістю шарів виділяють одношарові й багатошарові мережі; за напрямком розповсюдження сигналів – мережі прямого розповсюдження, із зворотнім зв'язком (рекурентні), тощо; за типом вхідної інформації – аналогові, бінарні, образні; і т.д. В той же час, за типом вирішуваних завдань, серед інших, можна виділити наступні типи ЦНМ:

- багатошаровий перцептрон (БШП) – один з найпростіших типів ЦНМ, що здатен вирішувати завдання класифікації, прогнозування й розпізнавання образів;
- рекурентна нейронна мережа (РНМ) – це такі ЦНМ, архітектура яких дозволяє ефективно виконувати обробку послідовних даних: аналізу людської мови, текстів, перекладів, тощо;
- згорткова нейронна мережа (ЗНМ) – мережа, архітектура якої дозволяє ефективно реалізувати розпізнавання образів: пр., об'єктів на зображеннях і відео, тому часто використовується у реалізації комп'ютерного зору;
- генеративні моделі – нейронні мережі, що використовуються для генерації нових даних, наприклад, зображень, музики чи тексту.

В рамках даного дослідження пропонується використання багатошарового перцептрону (рис. 4.11) через його відносно нескладну реалізацію і відповідність встановленому завданню щодо оцінки температури і положення контейнерних вантажів поза межами сумарного поля зору тепловізорів.

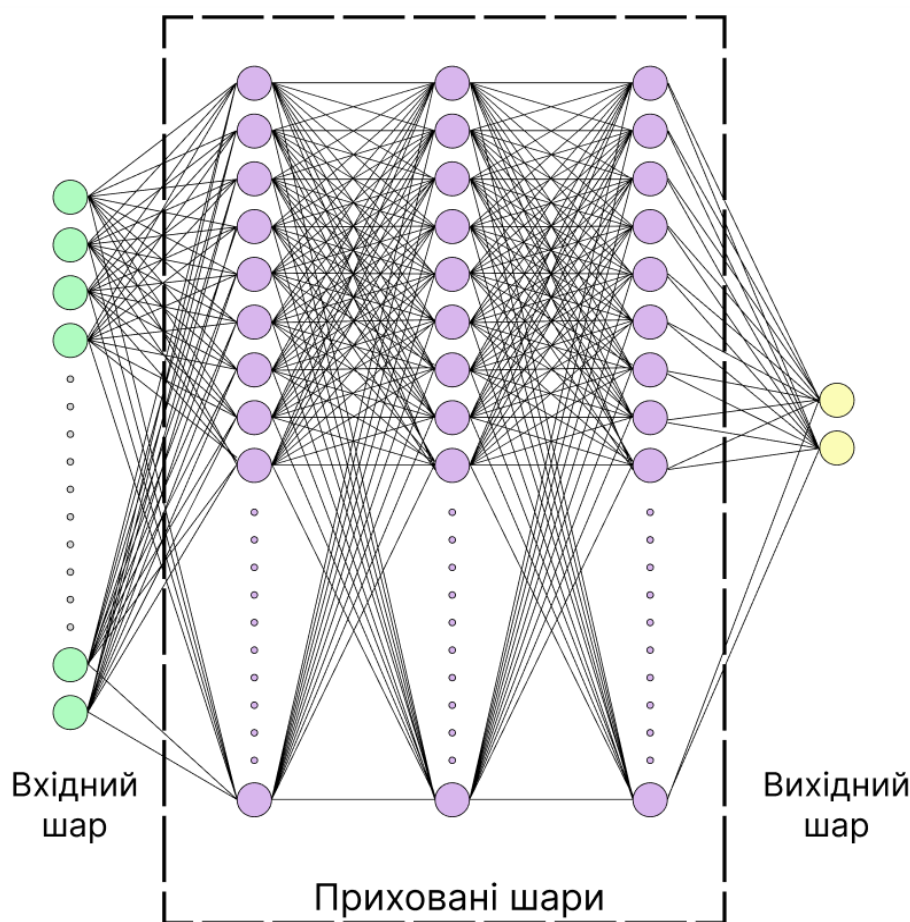


Рис. 4.11 – Модель багат шарового перцептрон

Як видно з рис. 4.11, багат шаровий перцептрон містить декілька шарів нейронів, а саме розділений на вхідний, вихідний і приховані шари. Нейрони вхідного шару являють собою набори вхідних даних, а нейрони вихідного – результати роботи мережі. В свою чергу, приховані шари виконують саме обчислювальні операції й налаштовуються в процесі навчання нейронної мережі.

Таким чином, на вхідний шар нейронної мережі пропонується передавати значення максимальних температур й відповідних до них позицій контейнерів, що визначаються на кожному окремому тепловізорі. Кількість прихованих шарів й відповідна до кожного з них кількість нейронів встановлюється в процесі навчання ЦНМ, що повинно бути спрямовано на отримання в результаті її роботи значень температури й відповідної позиції для такого контейнера-джерела займання, який розташовано поза межами поля зору тепловізорів.

Навчання БШП пропонується виконувати методом зворотного розповсюдження помилки [96], [103], [104]. Слід відзначити, що порівняльна

характеристика використання різних типів нейронних мереж і методів навчання в контексті вирішення зазначеного завдання виходить за рамки даного дослідження й може бути виконана окремо з метою оптимізації запропонованого алгоритму.

Метод зворотного розповсюдження помилки передбачає реалізацію прямого і зворотного проходження сигналів через усі шари ЦНМ (рис. 4.12). Під час прямого проходження, вхідні дані надсилаються до нейронів з подальшим поширенням по всій мережі, що призводить до генерації набору вихідних сигналів, які можуть бути інтерпретовані в якості реакції ЦНМ на початковий вхід. Сигнал виправлення помилок, в свою чергу, формується вирахуванням фактичного вихідного сигналу від бажаного результату під час зворотного проходу, тобто поширюється в напрямку протилежному синаптичним зв'язкам.

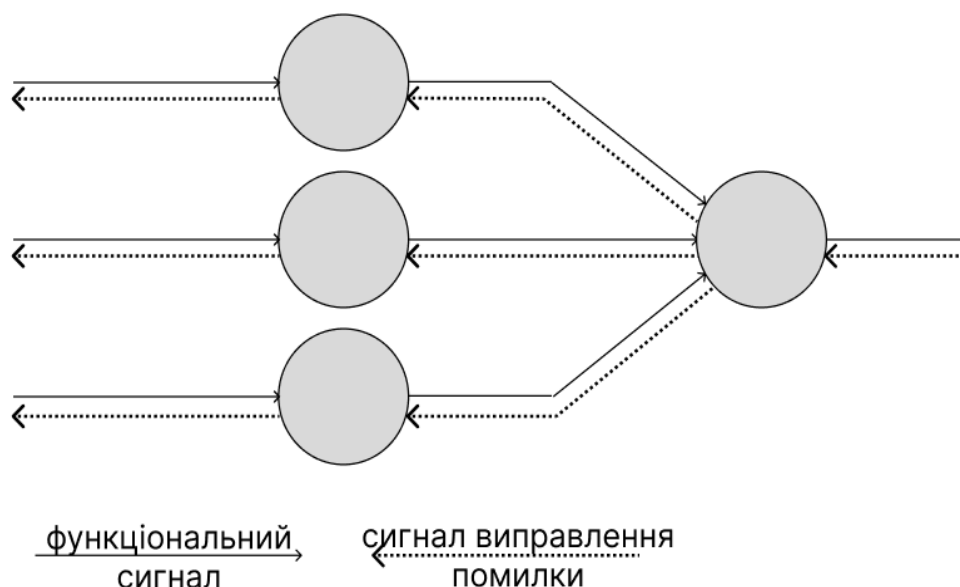


Рис. 4.12 – Пряме і зворотне проходження сигналів

Для реалізації методу зворотного розповсюдження помилки необхідно мати значення на вихідних й вхідних шарах ЦНМ, тобто мати навчальний набір даних [96], [100]. Для навчання мережі в рамках даного дослідження, можуть використовуватись набори даних, отримані з симуляційного середовища, призначеного для виконання імітаційного моделювання. Таким чином, за наявності прикладів для навчання мережі можна отримати функцію її помилки E методом найменших квадратів:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j,p} (a_{j,p}^{(N)} - o_{j,p}^{(N)})^2, \quad (4.9)$$

де:

$a_{j,p}$ – бажана відповідь j -го нейрону вихідного шару N для p -го образу навчального набору даних;

$o_{j,p}$ – фактичний вивід j -го нейрону вихідного шару N для p -го образу навчального набору даних.

Модифікація ваг, в свою чергу, може бути реалізована методом стохастичного градієнтного спуску. Таким чином, базуючись на кожній групі правильних відповідей, кожна вага $w_{j,i}$ має бути змінена на величину $\Delta w_{j,i}$:

$$\Delta w_{j,i}^{(n)} = -\eta \frac{\delta E}{\delta w_{j,i}}, \quad (4.10)$$

де:

$w_{j,i}$ – синаптична вага, що поєднує j -й нейрон n -го шару ЦНМ з i -м нейроном $(n - 1)$ шару;

η – коефіцієнт швидкості навчання ЦНМ.

Враховуючи внутрішню структуру нейрону, за правилом ланцюжка частинна похідна функції помилки з (4.10) може бути визначена наступним чином:

$$\frac{\delta E}{\delta w_{j,i}} = \frac{\delta E}{\delta y_j} \cdot \frac{dy_j}{dv_j} \cdot \frac{\delta v_j}{\delta w_{j,i}}, \quad (4.11)$$

де:

y_j – вихід j -го нейрону;

v_j – зважена сума вхідних сигналів j -го нейрону.

Другий множник формули (4.11) є похідною функції активації. З цього слідує вимога диференційності функції активації вздовж всієї вісі абсцис для її

використання в даному алгоритмі. Таким чином, для логістичної функції другий множник може мати наступний вигляд:

$$\frac{dy_j}{dv_j} = \frac{e^{-v_j}}{(1 + e^{-v_j})^2}. \quad (4.12)$$

Третій множник формули (4.11) дорівнює вихідному сигналу y_i з $(n - 1)$ шару ЦНМ, оскільки в багатошаровій мережі сигнал потрапляє с виходу нейрону попереднього шару до входу поточного. Таким чином, зважена сума вхідних сигналів j -го нейрону може бути перезаписана наступним чином:

$$v_j^{(n)} = \sum_{i=0}^Q y_i^{(n-1)} \cdot w_{j,i}^{(n)}, \quad (4.13)$$

де:

Q – кількість нейронів у $(n - 1)$ шарі мережі;

$y_i^{(n-1)}$ – i -ий вхід j -го нейрону шару n , що пов'язаний з вихідним сигналом i -го нейрону $(n - 1)$ шару мережі.

Якщо ввести проміжну змінну $\delta_j^{(n)}$, що дорівнює першим двом множникам формули (4.11), то при розкладі першого множника за приростом помилок у $(n + 1)$ шарі в результаті можемо отримати рекурсивну формулу для розрахунку значень $\delta_j^{(n)}$ із значень $\delta_k^{(n+1)}$ і $w_{j,k}^{(n+1)}$ $(n + 1)$ шару ЦНМ:

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot w_{j,k}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{dy_j}{dv_j}. \quad (4.14)$$

Слід відзначити, що для вихідного шару нейронної мережі, значення $\delta_j^{(n)}$ можна знайти за формулою:

$$\delta_j^{(n)} = (a_j^{(N)} - o_j^{(N)}) \cdot \frac{dy_j}{dv_j}. \quad (4.15)$$

Таким чином, формула (4.10) може бути представлена у вигляді:

$$\Delta w_{j,i}^{(n)} = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot y_i^{(n-1)}. \quad (4.16)$$

Коректування ваг мережі для поточної ітерації T , базуючись на попередній ітерації $(T - 1)$ може бути виконано за формулою:

$$w_{j,i}^{(n)}(T) = w_{j,i}^{(n)}(T - 1) + \Delta w_{j,i}^{(n)}(T). \quad (4.17)$$

Отже, алгоритм навчання нейронної мережі за допомогою методу зворотного розповсюдження помилки може бути зведений до наступної послідовності:

- ініціалізація вагових матриць малими випадковими величинами;
- надання векторів даних на входи мережі для розрахунку відповідних вихідних сигналів за формулами (4.13) і (4.8);
- у випадку, якщо помилка мережі більша необхідного значення – зупинка виконання алгоритму, інакше – перехід до наступного кроку;
- розрахунок значень за формулами (4.15) і (4.16) для вихідного шару ЦНМ;
- розрахунок значень за формулами (4.14) і (4.16) в напрямку протилежному синаптичним зв'язкам для усіх інших шарів ЦНМ;
- коректування ваг ЦНМ за формулою (4.17).

Наведений алгоритм може виконуватись циклічно й відповідно до заданої кількості епох (ітерацій повного циклу навчання з усієї множини навчальних даних), за виключенням першого пункту послідовності.

Таким чином, використання температурних даних щодо контейнерів в межах сумарного поля зору тепловізійних камер з їх відповідними позиціями у вантажному просторі, за умови коректного налаштування й навчання відповідної до встановленого завдання нейронної мережі, може допомогти у вирішенні питання оцінки стану контейнерних вантажів у «сліпих зонах» спільного поля зору тепловізорів.

4.5. Висновки до четвертого розділу

В даному розділі було розглянуто питання визначення схеми розміщення тепловізорів у вантажному просторі контейнерного судна, встановлена

залежність для мінімально необхідної кількості камер в цьому контексті й запропоновано архітектурні рішення для системи моніторингу за температурним станом контейнерних вантажів із використанням декількох тепловізорів.

В цьому контексті, також було побудовано загальний алгоритм роботи зазначеної системи, зокрема з точки зору програмного забезпечення, що представлено за допомогою схем та діаграм IDEF0 і UML. Оскільки реалізація такої системи може зустріти деякі складнощі, зокрема пов'язані з виникненням «сліпих зон» в межах сумарного поля зору тепловізійних камер, виникає необхідність у вирішенні завдання щодо оцінки температурного стану вантажів поза його межами, а саме визначення джерела займання у «сліпій зоні» сумарного поля зору тепловізорів. Таким чином, в рамках даного дослідження з цією метою було запропоновано алгоритм із використанням цифрової нейронної мережі, а саме багатошарового перцептрону, через його відносно нескладну реалізацію і відповідність встановленому завданню. Навчання мережі, в цьому контексті, пропонується виконувати методом зворотного розповсюдження помилки.

Зміст даного розділу викладено в роботах [9], [13], [15], [16], [18], [20].

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ ІЗ ДЕКІЛЬКОМА ТЕПЛОВІЗОРАМИ

5.1. Формування імітаційної моделі

Незважаючи на те, що існує низка досліджень щодо моделювання теплообміну й відповідних імітаційних систем, придатної моделі, яка б дозволяла проведення експерименту в контексті даної роботи, а саме для верифікації алгоритмів системи моніторингу за температурним станом контейнерних вантажів із залученням тепловізорів, знайдено не було. В цьому аспекті були розглянуті дослідження щодо процесів теплообміну [105]–[109], застосування методів обчислювальної гідродинаміки (CFD) [110]–[112], інфрачервоної термографії [113]–[118]. Так, наприклад, в дослідженні [116], що пов'язано із вивченням можливостей застосування тепловізорів в контексті підвищення рівня безпеки під час керування транспортними засобами вночі, було виконано моделювання за допомогою середовища розробки Unity. В свою чергу, в роботі [107] викладено основи для моделювання теплових систем й охоплено різні методи в цьому контексті із зазначенням їх переваг і недоліків в залежності від встановленого завдання. У роботі [105] обговорюються основні методи проектування для двох-рідинних теплообмінників. Аналіз моделювання і симуляції явищ теплообміну, виконаного в [119], привертає увагу до використання методів і засобів імітаційного моделювання із залученням мови програмування C++, MATLAB, Simulink, Modelica, тощо з метою вирішення проблем завдань теплообміну. В роботі [111] застосовуються різні методи моделювання, зокрема обчислювальної гідродинаміки, для симуляції процесу плівкового охолодження потоку, а в [110] представлено новий метод моделювання сполученого теплообміну із поєднанням моделювання потоку методом нестационарного усередненого за Рейнольдсом Нав'є-Стокса (URANS) зі сталою теплопровідністю в матеріалах. Дослідження [118] оцінює здатність

інфрачервоних термографів ефективно функціонувати в середовищі з високими температурами. Основні функції коригування зображення в тепловізійних системах досліджено в статті [115], де надано алгоритми моделювання функції коригування зображення тепловізійної системи за допомогою MATLAB. Резюмуючи розглянуті дослідження, можна надійти висновку про широке застосування та достатню ефективність різних методів моделювання для імітації реальних процесів й попередньої оцінки нових методів і систем, з залученням різноманітних сучасних середовищ розробки й програмних інструментів.

Таким чином, придатна до проведення експерименту імітаційна модель може бути сформована із застосуванням засобів середовища Unity і мови програмування C#, а її концепцію пропонується базувати, виходячи з основ теорії теплообміну.

В цьому контексті, температурне поле $T(x_i; \tau)$ – сукупність значень температури в усіх точках розрахункової області і у часі, де x_i – координата точки, м; τ – час, с. У декартовій системі ортогональна координата x_i набуває вигляду $x_i = x, y, z$. В залежності від числа координат розрізняють тривимірні, двовимірні, одновимірні і нульвимірні (однорідні) температурні поля [53]. Температурне поле, що змінюється в часі, називається нестационарним температурним полем, а поле, яке не змінюється, – відповідно стаціонарним.

Згідно до теорії теплообміну виділяють три основних способи процесу теплопередачі: теплопровідність (кондукція), конвекція і теплове випромінювання (радіаційний теплообмін) [53].

Теплопровідність (кондукція) – спосіб передачі тепла шляхом взаємодії мікрочастинок тіла (атомів, молекул, іонів і електронів у металах) у змінному температурному полі. Теплопровідність здійснюється в твердих, рідких і газоподібних тілах і відсутня у вакуумі. У твердих тілах теплопровідність є єдиним способом теплопередачі.

Конвекція – це спосіб передачі тепла шляхом переміщення макрооб'ємів флюїду із області з однією температурою в область з іншою. При цьому флюїд з більш високою температурою переміщується в область низьких температур, а з

області низьких температур – в область високих. У вакуумі також неможлива конвекція тепла. Конвекція завжди пов'язана з кондукцією, оскільки макрооб'єми рідини складаються з мікрочастинок і існують нерівномірно в просторі температурного поля. Конвективний теплообмін – це процес теплопередачі із залученням як конвекції, так і кондукції, й вже не є елементарним способом теплопередачі.

Теплове випромінювання – це спосіб передачі тепла в просторі в результаті поширення електромагнітних хвиль, енергія яких при взаємодії з речовиною перетворюється на тепло. У природі і в техніці всі три способи теплообміну можуть відбуватися одночасно або поєднуватися один з одним. Такий теплообмін розглядається як комплексний теплообмін.

Поділ загального процесу теплопередачі на елементарні явища (теплопровідність, конвекцію і теплове випромінювання) здійснюється загалом з методологічних міркувань. Однак, незважаючи на те, що насправді ці явища взаємопов'язані і часто супроводжують одне одного, у практичних розрахунках поділ таких складних процесів не завжди можливий і/або доцільний. Таким чином, зазвичай результат сукупної дії окремих елементарних явищ приписують тільки одному з них. Таким чином, таке явище буде розглядатися як головне, тоді як вплив другорядних зазвичай позначається лише на кількісних характеристиках основного.

Для формування моделі у першому наближенні, а також для уникнення будь-яких додаткових проблем, які можуть виникнути під час моделювання поза межами встановленого завдання, було визначено наступні початкові умови:

- змодельовані контейнери приймаються порожніми за умовами задачі;
- вантажним простором імітаційної моделі приймається вантажний трюм;
- імітований вантажний трюм повинен бути завантажений лише 40-футовими одиницями, щоб покрити один вантажний відсік лише одним вантажним контейнером у напрямку вздовж судна;
- теплообмін з елементами конструкції імітованого вантажного трюму не враховується під час моделювання.

Таким чином, при розміщенні джерела займання в одному з контейнерів імітованого вантажного трюму процес теплопередачі між вантажними одиницями можна розділити на наступні етапи:

- 1) передача тепла між джерелом займання і флюїдом всередині контейнеру (повітря);
- 2) теплообмін всередині флюїду (повітря);
- 3) теплообмін між флюїдом (повітрям) і стінкою контейнера;
- 4) теплопередача через стінку контейнера;
- 5) теплообмін між стінкою і навколишнім середовищем (повітря);
- 6) теплообмін у навколишньому середовищі (повітря);
- 7) передача тепла між навколишньої середою і стінкою сусіднього контейнеру;
- 8) теплопередача через стінку контейнера;
- 9) передача тепла між стінкою та флюїдом всередині контейнера (повітря).

Етапи 2 – 9 слід повторювати до завершення процесу теплообміну між контейнерними одиницями. Спрощена діаграма процесу теплообміну між вантажними контейнерами для горизонтальної вісі у площині паралельній до площини мідель-шпангоута схематично наведена на рис. 5.1.

Таким чином, моделювання описаного процесу теплообміну для вирішення встановленого завдання може бути зведено до розв'язання задачі теплообміну через плоску стінку, яка зазвичай складається з:

- передачі тепла від гарячої рідини (в даному випадку повітря) до відповідної плоскої стінки (в даному випадку кожної сторони контейнера);
- кондукція через плоску стінку;
- передача тепла від плоскої стінки до холодної рідини (в даному випадку повітря).

Отже, для вирішення завдання теплообміну в даному контексті етапи 1 – 9 можуть бути перегруповані до наступного вигляду:

- теплообмін між джерелом вогню і внутрішнім флюїдом першого контейнера;

- передача тепла через стінку першого контейнера і до зовнішнього флюїду;

передача тепла від зовнішнього до внутрішнього флюїдів через стінку іншого контейнера.

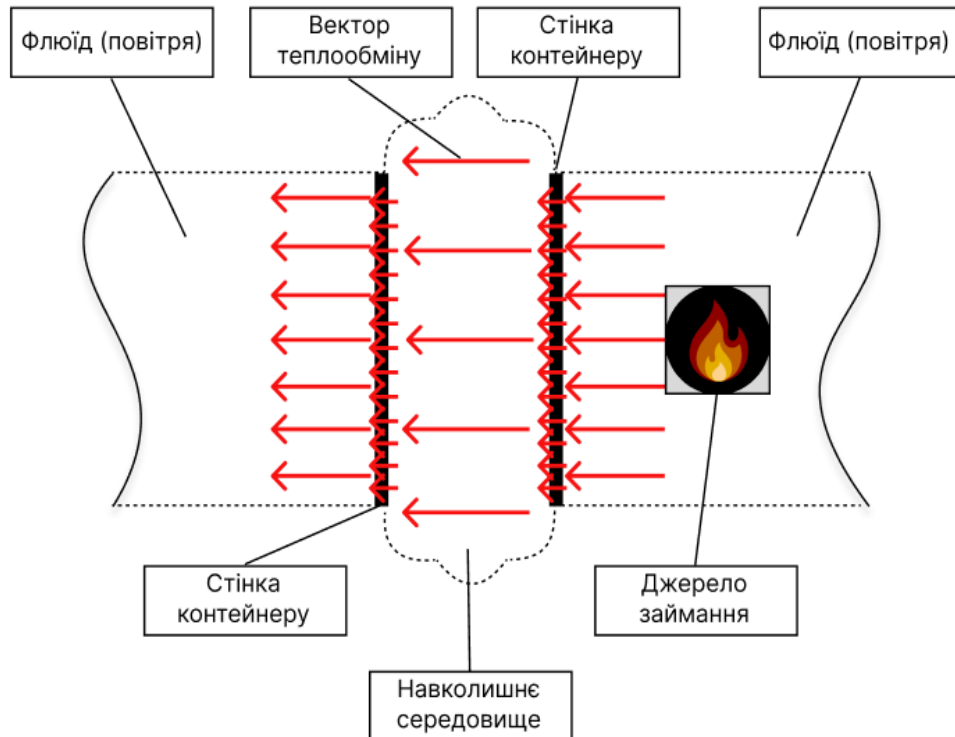


Рис. 5.1 – Спрощена діаграма теплообміну між вантажними контейнерами для однієї вісі температурного поля

Оскільки температурне поле описаної моделі змінюється протягом часу, то теплообмін для кожної стінки слід розглядати як нестационарний процес. Таким чином, у випадку, коли температура рідини різко підвищується, це можна описати відповідно до рис. 5.2, де:

T'_{f1} – температура гарячого флюїду на початковому етапі, [K];

T_{f2} – температура холодного флюїду, [K];

T'_{p1} і T'_{p2} — температури поверхонь стінки на початковому етапі, [K];

T''_{p1} і T''_{p2} — температури поверхонь стінки на кінцевій стадії, [K];

T''_{f1} – підвищена температура гарячого флюїду, [K];

δ – товщина стінки, [м];

λ – теплопровідність стінки, [Вт/(м·K)];

$$\frac{\partial \Theta}{\partial F_o} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{k-1}{X} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial X}; \quad (5.1)$$

- початкові умови:

$$\Theta_0 = \frac{T_f - T_0}{T_f - T_0} = 1; \quad (5.2)$$

- граничні умови:

а) на внутрішній границі:

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial X} \right|_{X=0} = 0; \quad (5.3)$$

б) на зовнішній границі:

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial X} \right|_{X=R} = Bi \cdot \Theta_W, \quad (5.4)$$

де:

$$\Theta = \frac{T_f - T}{T_f - T_0} - \text{безрозмірна температура; } X = \frac{x_1}{R} - \text{безрозмірна координата;}$$

R – визначальний розмір тіла, [м]; $Bi = \alpha \cdot R / \lambda_p$ – число Біо; λ_p – коефіцієнт теплопровідності твердого тіла, [Вт/(м · К)]; $F_o = a \cdot \tau / R^2$ – число Фур'є – безрозмірний час; k – коефіцієнт форми тіла; x_1 – перша координата в ортогональній системі координат, $x_1 = x$ для декартової системи координат, [м]; a – коефіцієнт температуропровідності, [м²/с]; α – коефіцієнт теплопередачі, [Вт/(м²·К)]; τ – час процесу, [с]; T_f – температура середовища, [К]; T_0 – початкова температура стінки, [К].

Температурне поле в процесі нагрівання стінки контейнеру в поперечній площині й у часі, що знаходиться в середовищі з постійною температурою T_f і заданим коефіцієнтом тепловіддачі α , представлене на рис. 5.3: а) зміна

температури стінки контейнера у поперечній площині; б) зміна температури на поверхні стінки та в її центрі у часі.

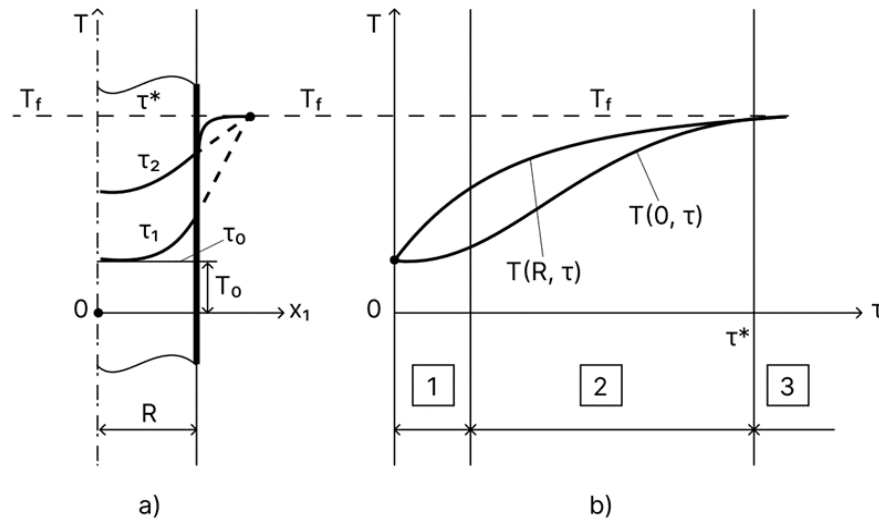


Рис. 5.3 – Температурне поле із врахуванням граничних умов третього роду

У цьому випадку процес нагрівання (охолодження) проходить три етапи:

- 1) початковий період, який триває до $F_o < 1/3 k$;
- 2) регулярний період, що починається з $F_o \geq 1/3 k$;
- 3) стан теплової рівноваги, що починається в момент τ^* і при якому температура тіла по всьому поперечному перерізу стає рівною температурі поверхні тіла T_p .

Аналітичний розв'язок граничної задачі нестационарної теорії теплопровідності (5.1) – (5.4) вперше був отриманий Фур'є і для стінки контейнера (при її розгляді в якості нескінченної пластини) може бути представлений наступним чином [53], [120], [121]:

$$\Theta(X, F_o) = N_w \cos(\mu_1 \cdot X) \exp(-\mu_1^2 \cdot F_o) \quad (5.5)$$

де:

N_w – коефіцієнт форми простого тіла;

μ_1 – перший корінь характеристичного рівняння диференціального рівняння теплопровідності (5.1).

Таким чином, температуру в тепловому осередку ($X = 0$) й на поверхні стінки ($X = 1$) за регулярний період можна визначити за відповідними формулами:

$$\Theta(0, F_o) = N_w \exp(-\mu_1^2 \cdot F_o) \quad (5.6)$$

$$\Theta(1, F_o) = N_w \cos(\mu_1) \exp(-\mu_1^2 \cdot F_o) \quad (5.7)$$

5.2. Тривимірне моделювання середовища і системи моніторингу температурного стану контейнерних вантажів

Моделювання середовища і алгоритмів системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів пропонується виконувати методами об'єктно-орієнтованого програмування із застосуванням засобів й інструментів середовища розробки Unity і мови програмування C#.

Для виконання імітаційного моделювання було створено тривимірну модель 40-футового контейнера, що представлена на рис. 5.4. Кожна сторона змодельованого контейнера має термічний шар (thermal layer), що розділений на кілька сегментів, які можуть змінювати свій колір в залежності від поточного значення температури, визначеного для відповідного сегменту (рис. 5.5). В цьому контексті слід відзначити, що, оскільки в рамках даного дослідження метою експерименту є верифікація запропонованих методу й алгоритмів для досягнення безперервного спостереження за станом вантажів контейнерного судна з використанням даних від тепловізорів, а не дослідження саме фізики теплових процесів, то такі відповідні залежності можуть бути спрощені з метою підвищення продуктивності симуляції.

В свою чергу, для ініціалізації процесів теплообміну в розробленій симуляції, всередині одного з контейнерів розміщується джерело займання (рис. 5.6), що представляє собою об'єкт який першим у ланці змінює свою температуру і колір безпосередньо в залежності від значення повзунка температури у графічному інтерфейсі.

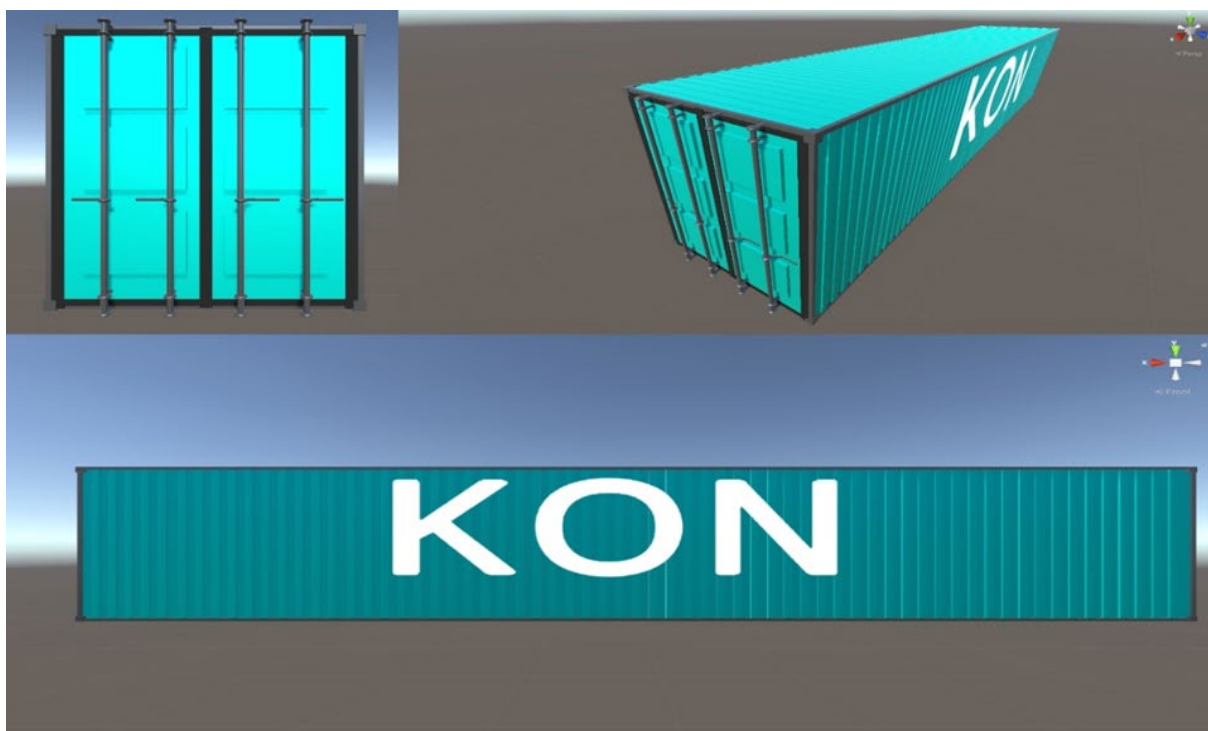


Рис. 5.4 – Тривимірна модель вантажного контейнеру

Значення температур об'єктів в межах даного імітаційного моделювання вимірюються в градусах Цельсія.

З метою імітації вантажного простору використано тривимірну модель вантажного трюму контейнерного судна (рис. 5.7) місткістю в 48 вантажних одиниць.

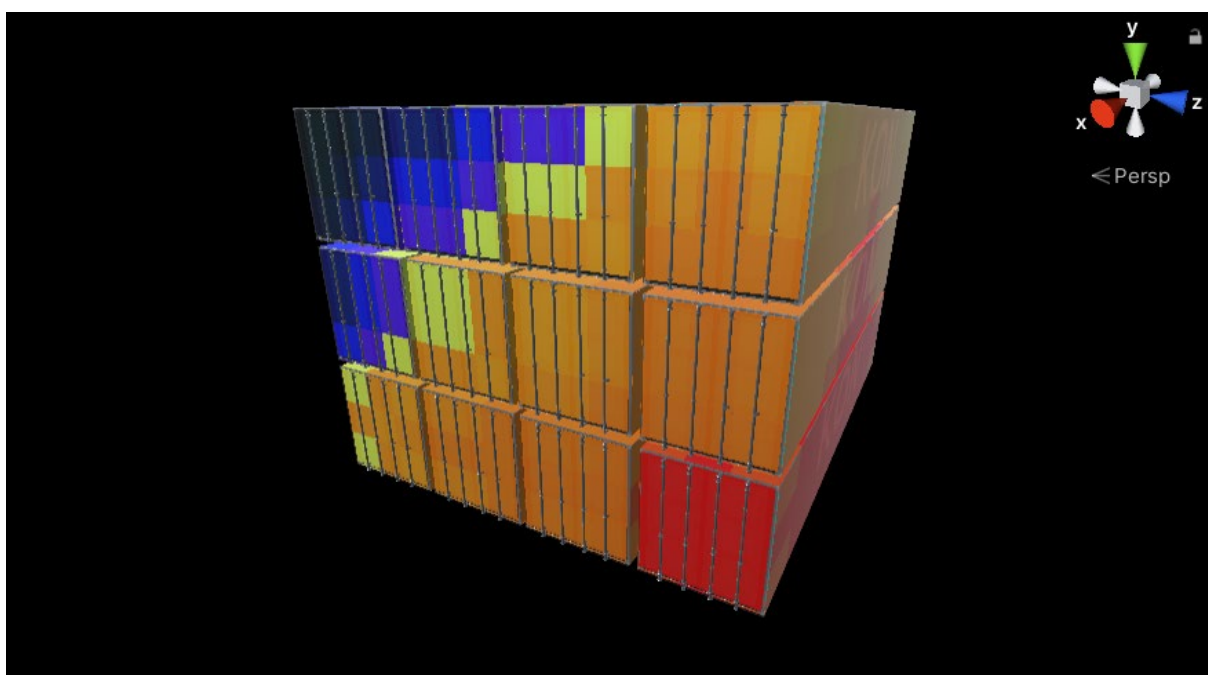


Рис. 5.5 – Симуляція теплообміну між вантажними контейнерами

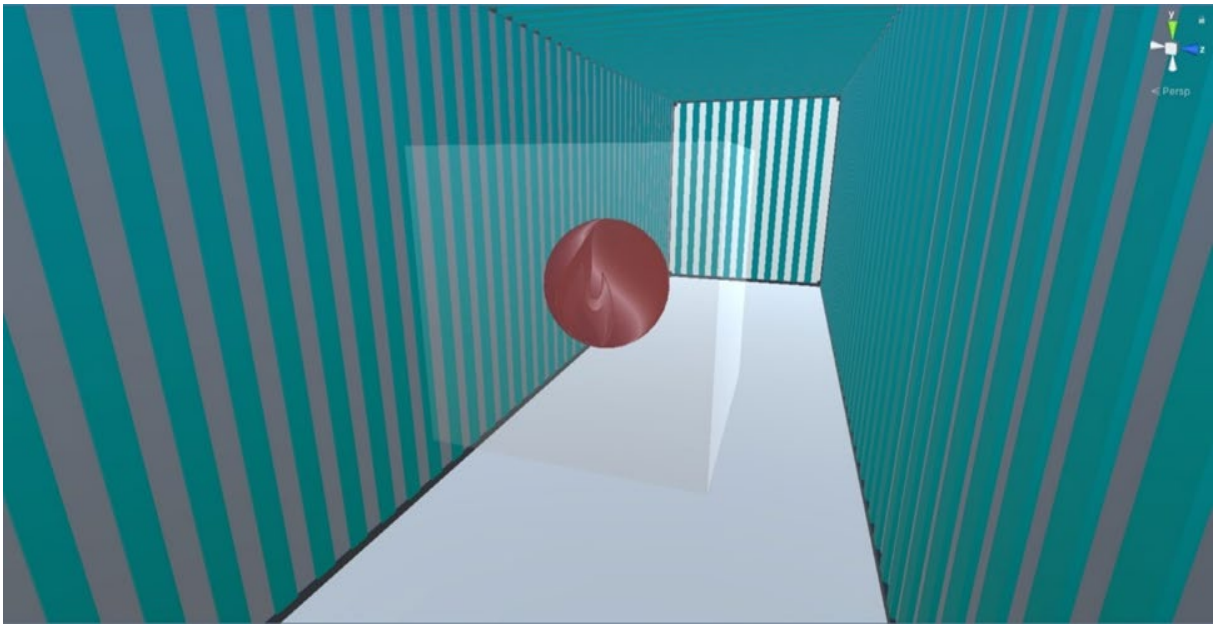


Рис. 5.6 – Джерело займання всередині вантажного контейнеру в рамках імітаційного моделювання

Процес теплообміну в рамках розробленої симуляції в умовах розміщення вантажів у контейнерному трюмі представлено на рис. 5.8 у площині паралельній площині мідель-шпангоуту.

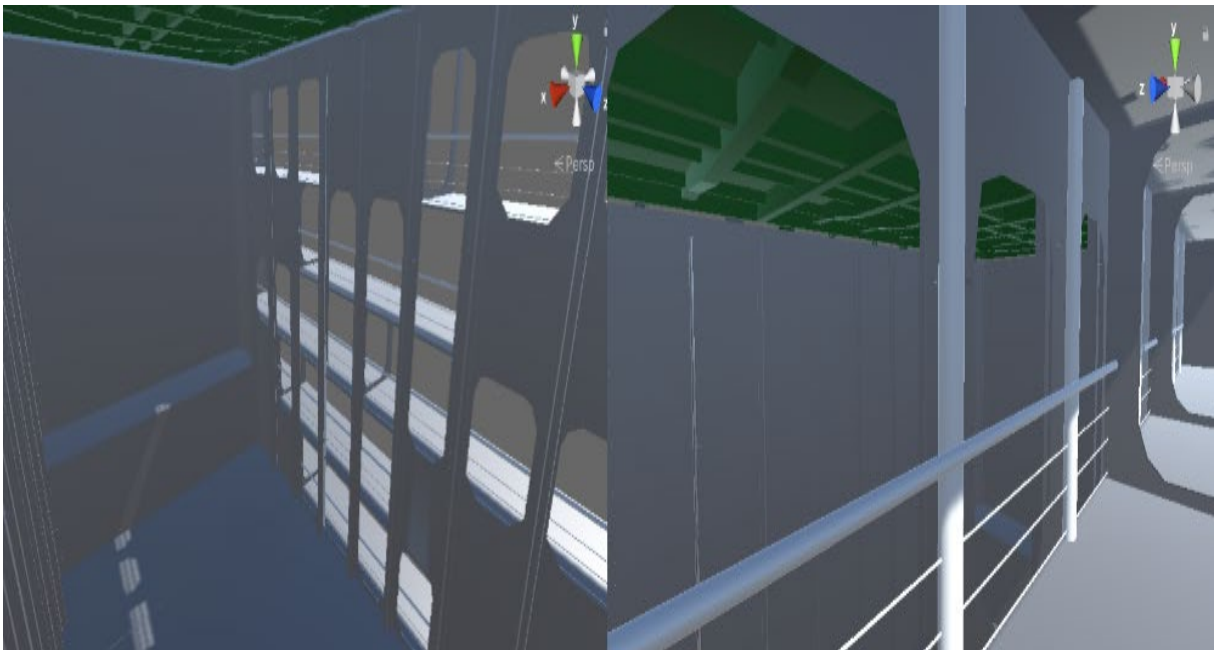


Рис. 5.7 – Тривимірна модель трюму контейнерного судна

Також слід зазначити, що конфігурація трюму і схема розташування контейнерів може бути змінена в залежності від завдання.

Кольорова палітра, що була використана в ході симуляції, представлена на рис. 5.9. Значення температур $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ були встановлені в якості мінімального й максимального граничних значень шкали температур відповідно і прийняті задовільними в рамках встановленого завдання.

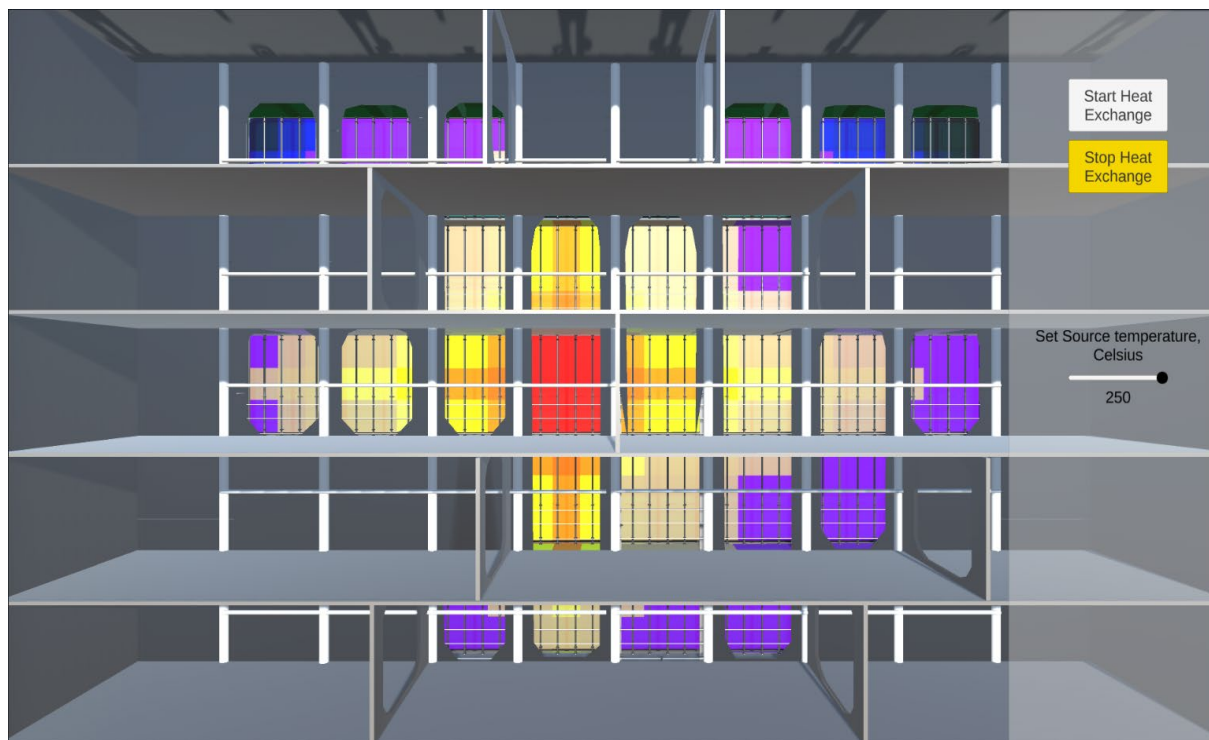


Рис. 5.8 – Імітаційне моделювання теплообміну між контейнерами у трюмі

Зазначені граничні значення температур також можуть бути змінені, в залежності від умов дослідження.

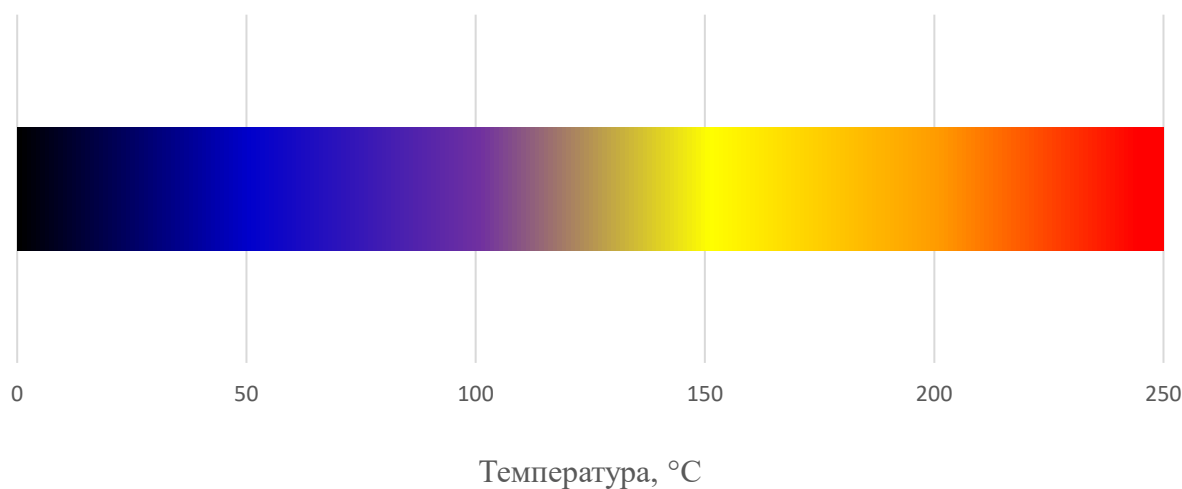


Рис. 5.9 – Кольорова палітра симуляції теплообміну

5.3. Оцінка ефективності розроблених методу і алгоритмів моніторингу температурного стану контейнерних вантажів

Схема розміщення тепловізорів й вантажних контейнерів з їх відповідними номерами, позначеннями переборок й контейнерів поза межами поля зору спостереження в площині паралельній до площини мідель-шпангоута представлена на рис. 5.10. Зазначена схема містить сорок контейнерів, що пронумеровані послідовно зліва направо від 0 до 39, і сім тепловізійних камер.

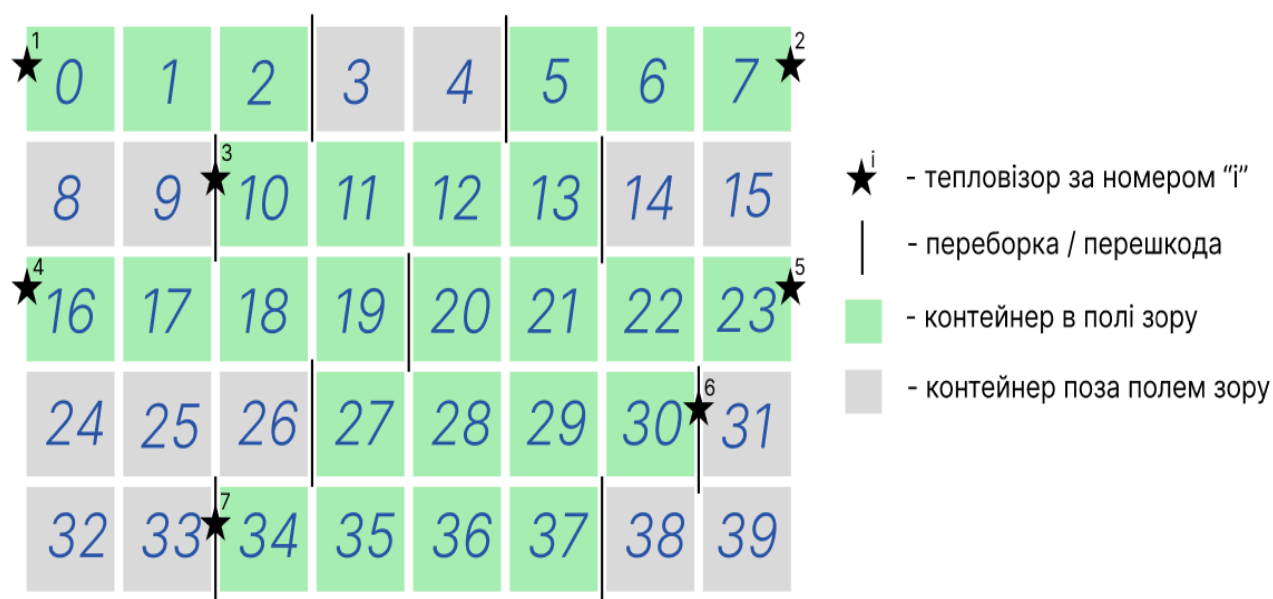


Рис. 5.10 – Схема розміщення тепловізорів для проведення імітаційного моделювання

Для реалізації даної схеми розміщення контейнерів, по одному ряду вантажних місць симульованого вантажного трюму з кожного борту залишаються «незавантаженими».

При використанні тепловізійного обладнання, що відповідає характеристикам наведеним у таблиці 3.2, стандартній ширині контейнера за таблицею 4.1 і $d_{max}^{cam} = 1,9$ м, кількість контейнерів в полі зору одного тепловізору за формулою (4.2) приблизно дорівнює чотирьом одиницям (рис. 5.11). Таким чином, для кожного тепловізору на схемі (рис. 5.10) визначено не більше чотирьох контейнерів.

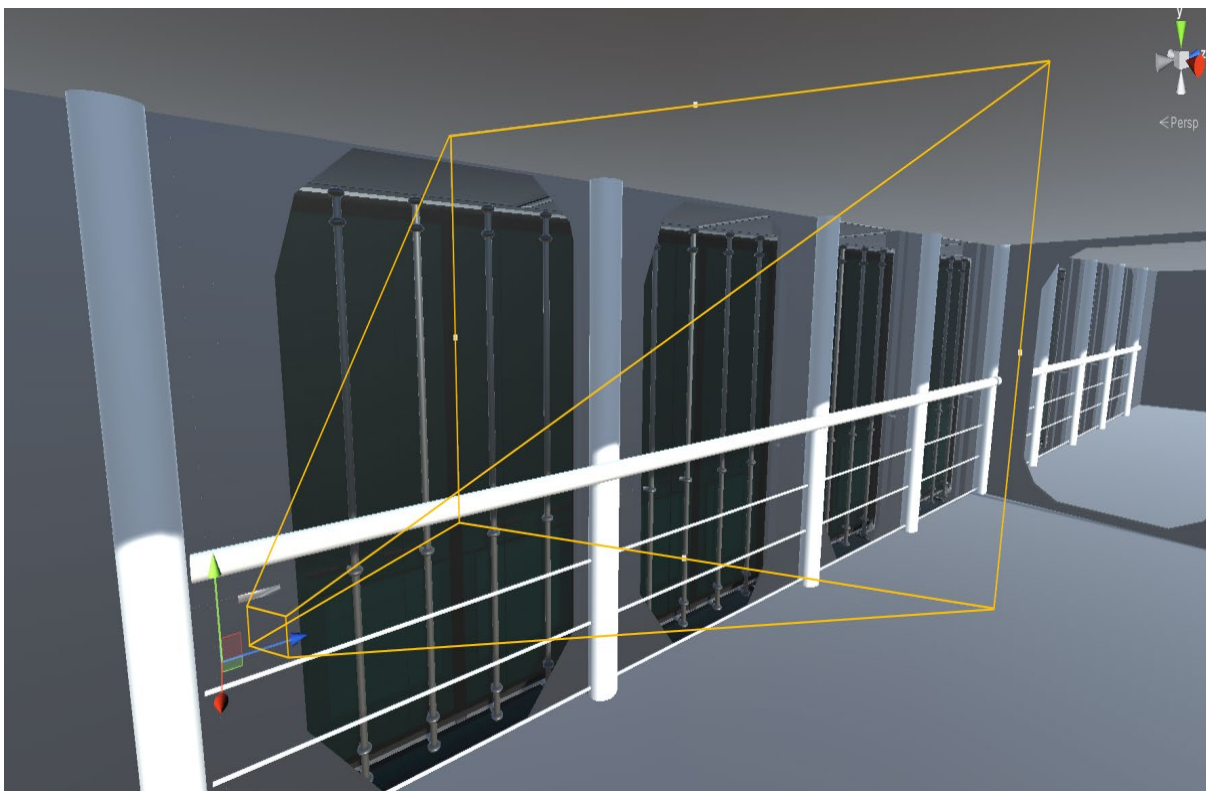


Рис. 5.11 – Поле зору камери у середовищі Unity

Вид кожної з семи камер у відповідності до загального вигляду симуляції теплообміну з рис. 5.8 представлено на рис. 5.12.

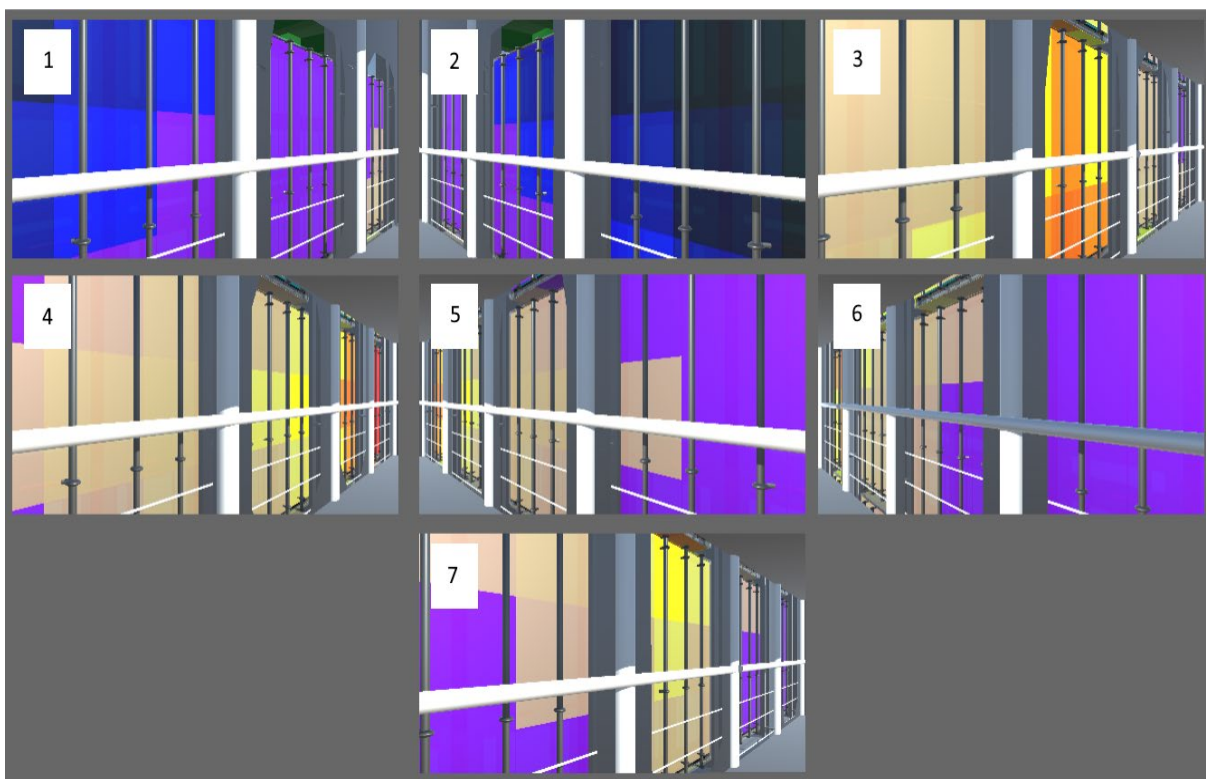


Рис. 5.12 – Зображення видів зі встановлених в симуляції камер

Таким чином, для симуляції процесу обробки зображень, вид кожної з камер проектується на окрему текстуру, а не виводиться напряму до дисплею. Зображення кожної такої текстури оброблюється у відповідності до представлених у попередніх розділах алгоритмів. Отримані в результаті обробки дані відображуються у консолі редактора Unity, а також можуть бути виведені до окремих елементів графічного інтерфейсу. Приклад відображення сповіщень для камери №4 представлено на рис. 5.13.

Визначені значення температур для кожного контейнера, що знаходиться в межах поля зору його відповідної камери (рис. 5.12), згідно до симуляції, що в загальному вигляді представлена на рис. 5.8, зведено до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Визначені температури контейнерів відповідних камер

Камера №	Параметр	Значення			
1	Температура, °C	70.64	86.4	111.12	-
	Контейнер №	0	1	2	-
2	Температура, °C	86.4	70.64	37.49	-
	Контейнер №	5	6	7	-
3	Температура, °C	115.14	203.48	115.14	111.12
	Контейнер №	10	11	12	13
4	Температура, °C	111.71	129.37	203.48	250
	Контейнер №	16	17	18	19
5	Температура, °C	203.48	129.37	111.71	110.33
	Контейнер №	20	21	22	23
6	Температура, °C	203.48	115.14	111.12	86.4
	Контейнер №	27	28	29	30
7	Температура, °C	111.12	129.37	111.12	86.4
	Контейнер №	34	35	36	37

Приклад повідомлення про займання для сповіщення оператора наведено на рис. 5.14.

У відношенні використання нейронної мережі для оцінки стану контейнерів поза межами сумарного поля зору тепловізорів, в ході експерименту було встановлено, що для отримання найбільш ефективних результатів необхідні дані від принаймні трьох тепловізорів поблизу контейнера, що перевіряється.

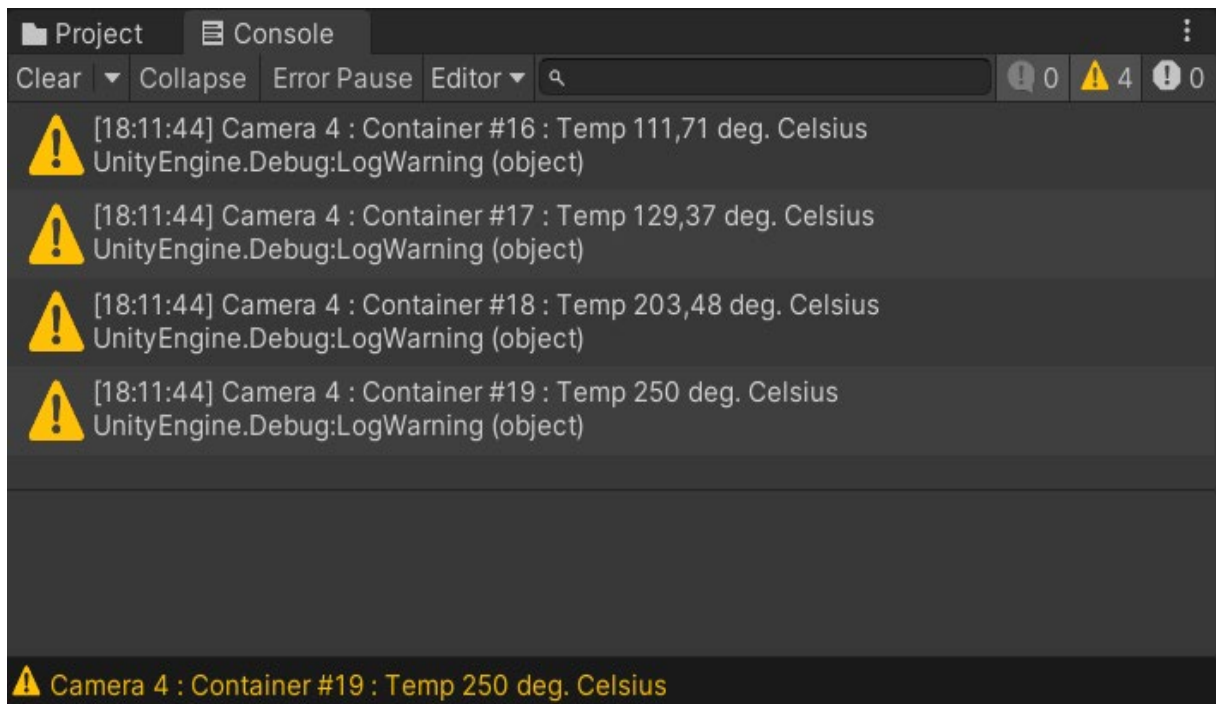


Рис. 5.13 – Сповіщення про зафіксовані температури для контейнерів у полі зору камери №4

Також, для отримання найбільш точних результатів зазначені тепловізори повинні бути розташовані таким чином, щоб контейнер, який підлягає оцінці, знаходився як можна ближче до середини трикутника, укладеного цими тепловізорами.

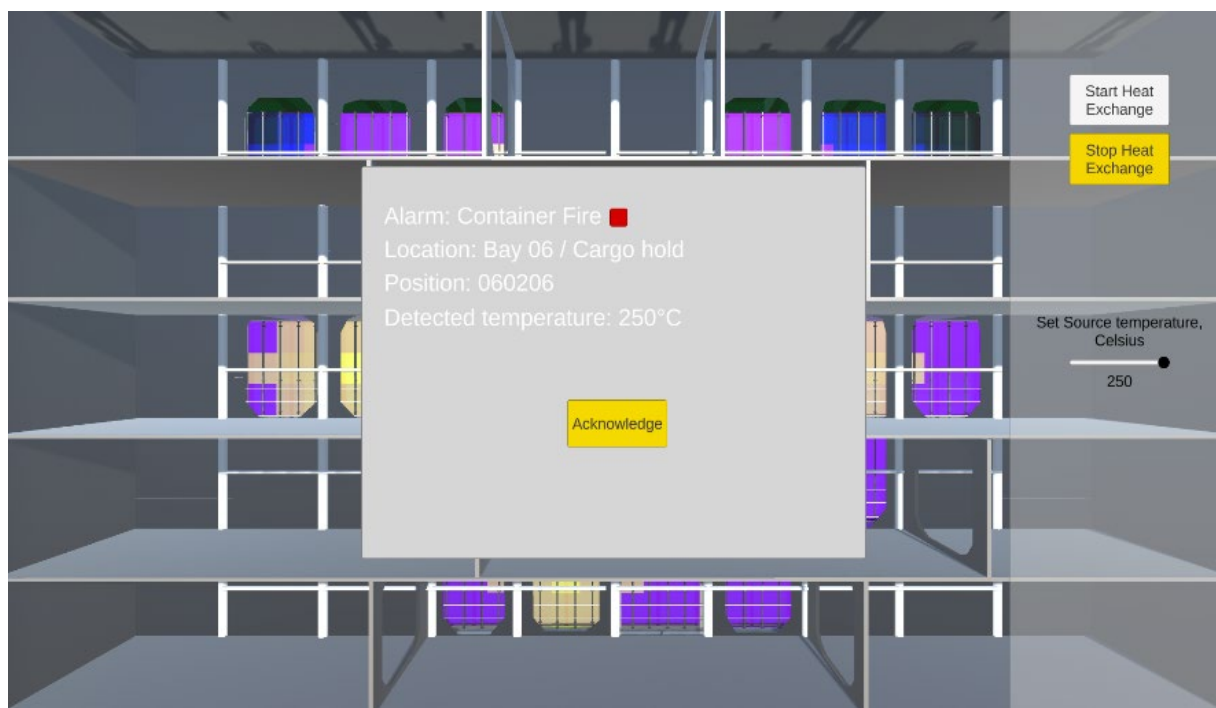


Рис. 5.14 – Сповіщення про займання

Для використання запропонованої у попередньому розділі нейронної мережі необхідно попередньо виконати нормалізацію вхідних даних:

$$n_i = \frac{(x - x_{\min}) \cdot (d_2 - d_1)}{x_{\max} - x_{\min}} + d_1, \quad (5.8)$$

де:

n_i – нормалізовані дані;

x – дані, що підлягають нормалізації;

$[x_{\min}; x_{\max}]$ – інтервал, якому належать дані x ;

$[d_1; d_2]$ – інтервал, до якого повинен належати результат обчислення.

Оскільки вихідні значення ЦНМ також є нормалізованими і належать до інтервалу $[0; 1]$, їх початкову форму можна отримати, виразивши x з формули (5.8):

$$x = \frac{(n_i - d_1) \cdot (x_{\max} - x_{\min})}{d_2 - d_1} + x_{\min}. \quad (5.9)$$

Навчання перцептронну проводилося з використанням сімдесяти п'яти наборів даних, отриманих з розробленого імітаційного середовища й було направлено на виявлення саме джерела займання поза межами сумарного поля зору тепловізорів. Результати п'яти серій вимірювань з даними від трьох найближчих до шуканого джерела займання тепловізорів, що отримані після навчання мережі, зведено до таблиці 5.2. В трьох із п'яти представлених випадків температурна похибка за модулем не перевищує значення 5°C , а в інших складає $0,02^{\circ}\text{C}$ і $-8,21^{\circ}\text{C}$ відповідно, тобто загалом за модулем не перевищує 10°C . Оскільки важливість розташування камер відносно позиції контейнера, що підлягає оцінці, вже було зазначено, слід, таким чином, підкреслити, що лише в трьох із п'яти представлених серій вимірювань ЦНМ була здатна точно спрогнозувати положення джерела займання. В решті серій точність визначення позиції контейнера поза межами поля зору не перевищувала значення двох одиниць в будь-якому напрямку.

Таблиця 5.2 – Результати роботи ЦНМ

№	Параметри	Значення			Джерело	Результат ЦНМ
1	Камера №	1	3	4	-	-
	Температура, °C	150.38	78.56	150.11	165.00	167.33
	Контейнер №	0	10	16	8	8
2	Камера №	4	7	6	-	-
	Температура, °C	127.57	126.78	64.76	138.00	133.02
	Контейнер №	16	34	27	32	26
3	Камера №	6	5	7	-	-
	Температура, °C	98.76	80.18	80.00	112.00	103.79
	Контейнер №	30	23	37	39	30
4	Камера №	3	2	1	-	-
	Температура, °C	110.34	109.98	101.75	120.00	124.13
	Контейнер №	12	5	2	4	4
5	Камера №	7	6	4	-	-
	Температура, °C	180.31	180.45	181.10	214.00	218.38
	Контейнер №	34	27	18	26	26

5.4. Висновки до п'ятого розділу

В даному розділі було сформовано імітаційну модель із тривимірним середовищем для виконання імітаційного моделювання роботи системи моніторингу за температурним станом контейнерних вантажів у відповідності до методу і алгоритмів запропонованих у попередніх розділах.

Проведене імітаційне моделювання включає в себе використання тривимірних моделей контейнерів, вантажного трюму, джерела-займання й моделі теплообміну для виконання симуляції. Незважаючи на певні недоліки розробленого імітаційного середовища, а саме, наприклад, низьку роздільну здатність термічного шару моделі контейнеру у порівнянні з роздільною

здатністю зображення реального тепловізору, швидкість й крок реакції моделі на зміну температури, тощо, його функціонал вважається достатнім для вирішення встановлених в рамках даного дослідження завдань.

За результатами проведеного імітаційного моделювання можна зробити висновок, що запропоновані в попередніх розділах розроблені метод й алгоритми щодо організації неперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів із використанням тепловізорів можуть бути використані для реалізації відповідної системи. Таким чином, було перевірено метод ідентифікації джерела займання в полі зору одиничного тепловізору в межах вантажного простору контейнеровозу; алгоритм обробки температурних даних контейнерних вантажів в системі із декількома тепловізорами й алгоритм визначення джерела займання поза межами сумарного поля зору тепловізорів із використанням нейронної мережі; визначено схему розміщення контейнерів у симуляції із врахуванням параметрів тепловізійного модуля використовуваного під час натурних спостережень.

Основним недоліком для реалізації запропонованих алгоритмів є залежність схеми розміщення тепловізорів від конструктивних особливостей вантажного простору судна у кожному окремому випадку. Також зазначена залежність пов'язана з можливим виникненням «сліпих зон» у сумарному полі зору тепловізорів, що потребує вирішення завдання прогнозування стану контейнерів поза межами такого поля зору. Запропонований для вирішення даного завдання алгоритм передбачає використання цифрових нейронних мереж. Обраний в даному дослідженні тип мережі в цьому контексті, а саме багат шаровий перцептрон, незважаючи на відносно нескладну реалізацію, за результатами експерименту продемонстрував можливість застосування зазначеного алгоритму. Однак, в цьому аспекті слід зазначити необхідність подальшого дослідження в даному напрямку, зокрема впровадження більш архітектурно складних мереж й алгоритмів, методів навчання ЦНМ, тощо.

З іншого боку, за результатами даного імітаційного моделювання також можна надійти висновку про необхідність подальшого дослідження з точки зору

вивчення чутливості реакції запропонованої системи в реальних умовах й використання тепловізійних модулів з різними характеристиками, їх впливу на формування відповідної схеми розміщення, зокрема в залежності від конструктивних особливостей вантажного простору в кожному окремому випадку.

Зміст даного розділу викладено в роботах [9], [10], [13], [15]–[18], [20].

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Із зростанням розмірів суден, зокрема на контейнерному флоті, виникають нові виклики для забезпечення безпеки морських перевезень і судноплавства. Згідно до огляду аварійності в галузі, для вирішення завдань безпеки, серед інших, актуальними є питання, що пов'язані із займанням вантажів. Особливої уваги в даному контексті потребують питання перевезення спеціальних, а саме небезпечних вантажів.

Відповідно до представленої в роботі статистичної інформації, 58% із 36 сприяючих факторів у дванадцяти повідомленнях, пов'язаних із випадками пожежі/вибуху, стосуються аварійних дій на борту під час реагування на надзвичайні ситуації, несправності обладнання і/або його монтажу/проекту, а також некоректно задекларованої або відсутньої інформації стосовно небезпечних вантажів. Крім того, слід відзначити, що надмірно велика кількість і щільність контейнерів на палубі й у трюмах, а також обмежений простір між штабелями і елементами конструкції судна означає, що будь-яку пожежу або вибух у контейнерах, розміщених, наприклад, всередині штабелю, дуже важко виявити на ранній стадії, контролювати і гасити.

Водночас, комерційні проблеми, такі як зменшення кількості екіпажів на борту, часто переважають над питаннями безпеки. Такий факт підтверджується на практиці: кількості екіпажів суден при їх місткості від 3000 TEU до 20000 TEU варіюються незначно або взагалі не відрізняються. Таким чином, сукупність зазначених й інших факторів призводить до ряду проблем, як, наприклад, зростання навантаження на судові екіпажі, що, в свою чергу, провокує підвищення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема, посилення шкідливого впливу людського фактору. Слід зазначити, що високий рівень навантаження поширюється на всі сфери діяльності екіпажів: від обслуговування судна, його обладнання і механізмів, до спостереження й контролю за безпекою транспортного процесу як загалом, так і в окремих аспектах. В цьому контексті, необхідно ще раз підкреслити важливість особливої уваги для спеціальних вантажів, оскільки їх перевезення, в

особливості небезпечних вантажів, несе в собі невід’ємні ризики, які можуть призвести до надзвичайних ситуацій, що ставлять під загрозу не лише судно і його вантажі, а й, що значно важливіше, життя людей.

Враховуючи зазначене, виникає необхідність у впровадженні нових, зокрема, технічних й організаційних заходів для забезпечення безперервного спостереження, а також контролю, за станом вантажів з метою забезпечення безпеки морських перевезень. Таким чином, напрямок даного дослідження, що полягає в удосконаленні процесу моніторингу за температурним станом контейнерних вантажів в контексті забезпечення безпеки морських перевезень, є актуальним і перспективним науковим напрямком.

2. Формулювання вирішеної наукової задачі та її значення для науки і практики. В результаті вирішення головної наукової задачі отримано метод та модель системи оцінки і автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів й відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв.

У дисертаційній роботі:

- вперше розроблено метод визначення контейнера-джерела займання, а саме його температури й позиції, в полі зору одиничного тепловізору при спостереженні деякої кількості контейнерів у вантажному просторі контейнерного судна, що забезпечує визначення позиції контейнера-джерела займання та його температури в межах поля зору тепловізору, що розташовано у трюмі або на палубі контейнерного судна, за допомогою обробки зображень видимого й інфрачервоного спектрів та залежностей між координатними системами об’єктів спостереження й їх відповідних зображень;

- вперше запропоновано параметри й залежності, необхідні для складання схеми розміщення тепловізорів в межах вантажного простору контейнерного судна, з урахуванням судових умов перевезення вантажів та особливостей такої схеми, що при розрахунку кількості тепловізорів дозволяють врахувати кількість контейнерів в межах «сліпої зони» сумарного поля зору тепловізорів, загальну

кількість контейнерів у вантажному просторі й кількість контейнерів в полі зору одиничного тепловізору;

- вперше розроблено алгоритми обробки температурних даних та оцінки стану вантажів, зокрема у «сліпих зонах» спільного поля зору деякої кількості тепловізорів, в контексті системи безперервного спостереження за температурним станом контейнерних вантажів, що дозволяють визначити значення температур в межах сумарного поля зору тепловізорів з прив'язкою до ідентифікованих об'єктів спостереження (контейнерів), визначити джерело-займання, зокрема у «сліпій зоні» зазначеного сумарного поля зору з використанням цифрової нейронної мережі.

Наукова значимість даного дисертаційного дослідження полягає у розробці нового методу оцінки й автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів та відповідної ідентифікації джерела займання при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв, а практична цінність зумовлена тим, що результати дослідження можуть бути використані при розробці й удосконаленні судових систем пожежної безпеки, моніторингу та контролю за станом контейнерних, зокрема небезпечних, вантажів.

В свою чергу, економічна ефективність результатів даного дисертаційного дослідження полягає в тому, що автоматизований процес неперервного спостереження за температурним станом вантажів може відігравати значну роль у впровадженні превентивних та інших заходів для запобігання виникненню й протидії аварійній ситуації, та, як наслідок, може зменшити матеріальні витрати і негативний екологічний ефект на довкілля.

Отриманим науковим результатам даної дисертаційної роботи притаманна наукова новизна, що також захищена патентом на корисну модель [20].

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Основні теоретичні і практичні результати, отримані в даному дисертаційному дослідженні, можуть бути впроваджені на контейнерні судна з метою забезпечення безпеки морських перевезень. Реалізація їх зв'язку з існуючими пожежними системами, зокрема пожежогасіння, дозволяє використовувати запропоновані методи й алгоритми не

тільки у системах інформаційного забезпечення, що виконують безперервне автоматизоване спостереження й оцінку температурного стану вантажів в реальному часі, а й надає можливості в удосконаленні існуючих й розробці нових систем і методів контролю за вантажами. Узгодження результатів обробки даних запропонованих алгоритмів із, наприклад, судновими системами позиціонування й супутникового зв'язку можуть стати корисним інструментом для автоматизованого сповіщення судноплавних компаній та інших відповідних служб й організацій, що може стати важливим елементом для вживання вчасних та ефективних мір з метою зниження наслідків аварійних ситуацій, або, за деякими умовами, їх повного запобігання. В умовах сучасного технологічного розвитку систем зв'язку, також може бути налаштована трансляція вихідних даних, зокрема зображення у інфрачервоному й видимому спектрах в реальному часі, до відповідних департаментів судноплавних компаній, а самі вихідні дані, за необхідності, також можуть бути використані під час розслідувань.

Оскільки в контексті забезпечення безпеки морських перевезень особливої уваги потребують питання транспортування небезпечних вантажів, розміщення тепловізорів у вантажному просторі судна може бути узгоджено, наприклад, з призначеними до перевезення небезпечних вантажів зонами, зокрема для певних їх класів, визначеними у відповідних судових документах (пр., Document of Compliance for the Carriage of Dangerous Goods), а також, в свою чергу, може спрощувати врахування відповідних розташувань під час складання вантажного плану.

Окрім того, отримані результати даного дисертаційного дослідження можуть бути використані в процесі навчання й підвищення кваліфікації судових екіпажів.

Подальше дослідження в даному напрямку може бути націлене на розробку методів автоматизованого контролю стану вантажів; визначення найбільш оптимальних для використання у судових умовах пристроїв термографічного спостереження; удосконалення запропонованих методу й алгоритмів моніторингу, як, наприклад, застосування більш складних алгоритмів нейронних мереж для оцінки стану вантажів за межами спільного поля зору тепловізорів; визначення

оптимальних налаштувань для специфічних умов перевезення вантажів, а також подальшу інтеграцію запропонованої моделі й методу до відповідних суднових систем.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісними показниками результатів даної дисертаційної роботи є можливість використання запропонованих методу й алгоритмів для забезпечення безпеки морських перевезень і судноплавства; модель системи, що може здійснювати моніторинг температурного стану контейнерних вантажів, й пожежної безпеки.

Кількісними показниками є температури вантажів контейнерного судна, що є об'єктами спостереження в полі зору тепловізорів; параметри тепловізорів й схеми їх розміщення у вантажному просторі контейнерного судна, а саме елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування, кількість контейнерів у полі зору тепловізорів, кількість «сліпих зон» такого поля зору, необхідна кількість тепловізорів, тощо; позиції вантажів в координатних системах судна, вантажного простору й їх зображень.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів. З метою перевірки наукової гіпотези даного дисертаційного дослідження, що сформульована як можливість використання термографічних пристроїв в контексті удосконалення процесів моніторингу температурного стану вантажів контейнерного судна й відповідної ідентифікації джерела займання в реальному часі, були проведені відповідні натурні спостереження під час реальних рейсів на т/х «Cap San Artemissio», т/х «Thalassa Doxa» й т/х «Thalassa Mana».

Верифікація розроблених методу й алгоритмів виконана засобами імітаційного моделювання із застосуванням засобів й інструментів середовища розробки Unity і мови програмування C#. З цією метою, в рамках виконання зазначеної симуляції були використані тривимірні моделі контейнерів й вантажного трюму, а також реалізовано візуалізацію процесу імітованого теплообміну.

Таким чином, обґрунтовується достовірність отриманих результатів даного дисертаційного дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] “Industry’s struggle with container ship fires continues.” Allianz, Aug. 2018 [Online]. Available: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/expert-risk-articles/container-ship-fires.html>
- [2] “Call for Better Fire Fighting Systems on Container Ships.” The Maritime Executive, 2017 [Online]. Available: <https://maritime-executive.com/article/call-for-better-fire-fighting-systems-on-container-ships>
- [3] F. G. Callesen, M. Blinkenberg-Thrane, J. R. Taylor, and I. Kozine, “Container ships: fire-related risks,” *Journal of Marine Engineering & Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 262–277, Jan. 2019, doi: 10.1080/20464177.2019.1571672.
- [4] Q. Zhang, Y. C. Wang, C. Soutis, and M. Gresil, “Development of a fire detection and suppression system for a smart air cargo container,” *The Aeronautical Journal*, vol. 125, no. 1283, pp. 205–222, Oct. 2020, doi: 10.1017/aer.2020.89.
- [5] K. L. B. L. Xavier and V. K. Nanayakkara, “Development of an Early Fire Detection Technique Using a Passive Infrared Sensor and Deep Neural Networks,” *Fire Technology*, vol. 58, no. 6, pp. 3529–3552, Oct. 2022, doi: 10.1007/s10694-022-01319-x.
- [6] H. C. Kuo and H. K. Chang, “A real-time shipboard fire-detection system based on grey-fuzzy algorithms,” *Fire Safety Journal*, vol. 38, no. 4, pp. 341–363, Jun. 2003, doi: 10.1016/s0379-7112(02)00088-7.
- [7] “The HydroPen System.” Viking Life-Saving Equipment, 2019 [Online]. Available: <https://hydropenfire.com>
- [8] A. Schulz-Heimbeck, “A step change in fire safety on board containerships.” DNV, Jan. 2021 [Online]. Available: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/A-step-change-in-fire-safety-on-board-containerships.html>
- [9] В. В. Конон, “Оцінка особливостей системи термографічного моніторингу стану контейнерних вантажів із залученням натурних спостережень,” in *Матеріали науково-технічної конференції “Судноводіння, морські перевезення*

та технології” (NST-2022) 17-18 листопада 2022 р., НУ «ОМА», Одеса, 2022, pp. 162–164.

[10] V. Konon, “Image Processing Method for Cargo Container Identification in a Stack Within the Cargo Temperature Control and Fire Safety System on Container Ships,” *Polish Maritime Research*, vol. 30, no. 2, pp. 114–120, 2023, doi: 10.2478/pomr-2023-0027.

[11] N. Konon and V. Konon, “Risk analysis of the container fleet in the context of the maritime operations’ safety improvement,” *Shipping & Navigation*, vol. 34, no. 1, pp. 79–92, May 2023, doi: 10.31653/2306-5761.34.2023.79-92.

[12] V. Konon and V. Savchuk, “Infrared thermography in the context of fire safety in container transportation by sea,” *Shipping & Navigation*, vol. 33, no. 1, pp. 43–53, Dec. 2022, doi: 10.31653/2306-5761.33.2022.43-53.

[13] V. V. Konon and V. D. Savchuk, “Data processing algorithm within cargo temperature control on containerships,” in *Materials of the 15th international scientific and practical conference “MODERN INFORMATION AND INNOVATION TECHNOLOGIES IN TRANSPORT” (MINTT-2023)*, May 24-25, 2023, Kherson, 2023, pp. 124–126.

[14] В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Ризики при перевезенні вантажів у контейнерах,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» 15-16 листопада 2018 р.*, НУ «ОМА», Одеса, 2018, С. 298–302.

[15] В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Контроль за тепловим станом вантажів при перевезенні в контейнерах,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація»*. 14-15 листопада 2019 р., НУ «ОМА», Одеса, 2020, С. 169–172.

[16] V. Konon and N. Konon, “Application Perspective of Digital Neural Networks in the Context of Marine Technologies,” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 16, no. 4, pp. 743–747, 2022, doi: 10.12716/1001.16.04.16.

[17] V. Konon, N. Konon, and V. Savchuk, “Simulation modelling of a heat exchange process between the containerized cargoes,” *Journal of Maritime Research*, vol. 20, no. 1, pp. 23–29, Apr. 2023, doi: 10.5281/ZENODO.7949965.

[18] В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Використання тепловізорів для контролю в рейсі за небезпечними вантажами в контейнері,” *Матеріали науково-технічної конференції «транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація. 12-13 листопада 2020 р., НУ «ОМА», Одеса, 2021, С. 115–118.*

[19] В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Огляд судових систем пожежної безпеки та контролю за контейнерними вантажами,” *Modern research in world science. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference*, Lviv, 2022, pp. 419–423.

[20] Суднова система пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів : пат. 153965 Україна : (2023.01) G08B 17/12, (2006.01) B63B 25/00. № u 2022 04770 ; заявл. 08.12.2022; опубл. 27.09.2023, Бюл. № 39 (кн. 1). 140 с.

[21] EMSA, “European maritime safety report 2022.” European Maritime Safety Agency, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022 [Online]. Available: <https://emsa.europa.eu/publications/item/4735-emsafe-report.html>

[22] J. Ellis, “Undeclared dangerous goods — Risk implications for maritime transport,” *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 9, no. 1, pp. 5–27, Apr. 2010, doi: 10.1007/bf03195163.

[23] EMSA, “Safety Analysis of Data Reported in EMCIP - Analysis on Marine Casualties and Incidents involving Container Vessels,” European Maritime Safety Agency, Sep. 2020 [Online]. Available: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/4276-safety-analysis-of-data-reported-in-emcip-analysis-on-marine-casualties-and-incidents-involving-container-vessels.html>

[24] “CMA Djakarta.” Cedre, 2010 [Online]. Available: <https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/CMA-Djakarta>

[25] “Hanjin Pennsylvania.” Cedre, 2009 [Online]. Available: <https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Hanjin-Pennsylvania>

[26] “Shipper and Container Operator liable for explosion on MSC Flaminia.” Shipping and Freight Resource, 2018 [Online]. Available: <https://www.shippingandfreightresource.com/shipper-and-container-operator-liable-for-explosion-on-msc-flaminia/>

[27] M. Hand, “Efforts to put out a blaze in containers onboard the Maersk Kampala are continuing five days after fire broke.” Seatrade Maritime News, 2013 [Online]. Available: <https://www.seatrade-maritime.com/europe/firefighting-efforts-maersk-kampala-continue>

[28] M. Voytenko, “Container ship CCNI ARAUCO fire: Sep 04 afternoon Update, 2016.” FleetMon, Germany, 2016 [Online]. Available: <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2016/14647/mega-container-ship-ccni-arauco-explosion-and-fire/>

[29] “Containership ‘Kamala’ On Fire Off Japan.” gCaptain, 2015 [Online]. Available: <https://gcaptain.com/containership-kamala-on-fire-off-japan/>

[30] M. Voytenko, “Hanjin Green Earth fire update May 9, 2015.” FleetMon, Germany, 2015 [Online]. Available: <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2015/7479/hanjin-green-earth-fire-update-may-9>

[31] “X-Press Pearl.” Cedre, 2021 [Online]. Available: <https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/X-Press-Pearl>

[32] R. Sirilal and A. Illmer, “X-Press Pearl: The ‘toxic ship’ that caused an environmental disaster.” BBC News, 2021 [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/world-asia-57395693>

[33] N. Konon and O. Pipchenko, “Analysis of marine accidents involving container ships,” *Shipping & Navigation*, vol. 32, no. 2, pp. 46–55, Dec. 2021, doi: 10.31653/2306-5761.32.2021.46-55.

[34] E. Murdoch and D. Tozer, *A Master’s Guide to Container Securing*, 2nd Edition. London: The Standard & Lloyd’s Register, 2012.

[35] “Explosion and fire on board CMV PUNJAB SENATOR in hold No. 6 on 30 May 2005 on the way to Sri Lanka,” Federal Bureau of Maritime Casualty investigation (BSU), Hamburg, 2006 [Online]. Available: https://www.bsu-bund.de/SharedDocs/pdf/EN/Investigation_Report/2006/Investigation_Report_187_05.pdf?__blob=publicationFile&v=1

[36] “Fire and explosion on board the MSC Flaminia on 14 July 2012 in the Atlantic and the ensuing events,” Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation (BSU), Hamburg, 2014 [Online]. Available: http://www.bsu-bund.de/SharedDocs/pdf/EN/Investigation_Report/2014/Investigation_Report_255_12.pdf?__blob=publicationFile

[37] “Fire of the cargo aboard the container ship CMA CGM Rossini on 15 June 2016, in the port of Colombo.,” Le Bureau d’enquêtes sur les événements de mer, 2017 [Online]. Available: https://www.bea-mer.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/beamers-fr_cma_cgm_rossini_2016.pdf

[38] *SOLAS consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates: incorporating all amendments in effect from 1 January 2020*, Consolidated edition 2020, Seventh edition. London: International Maritime Organization, 2020.

[39] *FSS code: international code for fire safety systems*, 3rd edition. London: International Maritime Organization, 2015.

[40] *Fire training manual including fire safety operations*, 2nd ed. Broadstone, UK: I.C.Brindle & Co. Ltd., 2011.

[41] “Optical smoke detector: James A Best, Irving Ellner assigned to Cerberus AG,” *Environment International*, vol. 17, no. 1, p. XIX–XX, 1991, doi: [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(91\)90414-L](https://doi.org/10.1016/0160-4120(91)90414-L).

[42] T. X. Tung and J.-M. Kim, “An effective four-stage smoke-detection algorithm using video images for early fire-alarm systems,” *Fire Safety Journal*, vol. 46, no. 5, pp. 276–282, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.firesaf.2011.03.003.

[43] X. Cheng, J. Wu, X. Yuan, and H. Zhou, "Principles for a video fire detection system," *Fire Safety Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 57–69, Jul. 1999, doi: 10.1016/s0379-7112(98)00047-2.

[44] H. Wang, Y. Zhang, and X. Fan, "Rapid Early Fire Smoke Detection System Using Slope Fitting in Video Image Histogram," *Fire Technology*, vol. 56, no. 2, pp. 695–714, Aug. 2019, doi: 10.1007/s10694-019-00899-5.

[45] "SMART Containers: Cargo Tracking And Control." APL [Online]. Available: <https://www.apl.com/services/smart-containers>

[46] "REFCON Vessels and Terminal Monitoring. Emerson Climate Technologies." Emerson Climate Technologies [Online]. Available: <https://climate.emerson.com/en-gb/products/controls-monitoring-systems/proact-transport-monitoring/refcon>

[47] J. Sa-gyo, R. Ki-soo, and L. Sang-ho, "Fire detection system of ship," KR102235875B1, Apr. 05, 2021 [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/KR102235875B1/en?q=KR102235875B1>

[48] K. Murakami, K. Yasunaga, T. Sato, and H. Hamada, "Fire detection system of ship and local fire extinguishing system in ship's engine room," JP2002269651A, Sep. 20, 2002 [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/JP2002269651A/en?q=JP2002269651A>

[49] L. Ui-yong, "System for the fire warning and the corresponding method," KR100901784B1, Jun. 11, 2009 [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/KR100901784B1/en?q=KR100901784B1>

[50] S. Kim, "Intelligent flame detection device and method using infrared thermography," WO2018190478A1, Oct. 18, 2018 [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/WO2018190478A1/en?q=WO2018190478A1>

[51] L. Ui-yong, "Infrared thermal image fire detector and corresponding fire detection method," KR101148799B1, May 24, 2012 [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/KR101148799B1/en?q=KR101148799B1>

[52] *Fire training manual including fire safety operational booklet: fire equipment, fire fighting techniques, and information and instruction for the safe*

operation of ship and cargo in relation to fire safety, Third edition. Dorset, England: I C Brindle & Co Ltd., 2017.

[53] J. P. Holman, *Heat transfer*, 10th ed. Boston: McGraw Hill Higher Education Boston, 2010.

[54] M. Vollmer and K.-P. Möllmann, *Infrared thermal imaging : fundamentals, research and applications*, Second edition. Weinheim: Wiley-VCH Weinheim, 2018.

[55] A. Berg, *Detection and Tracking in Thermal Infrared Imagery*. Linköping University Electronic Press, 2016 [Online]. Available: doi: 10.3384/lic.diva-126955

[56] “Image Acquisition Toolbox.” Mathworks [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/image-acquisition.html>

[57] “Thermography Pocket Guide: Theory – Practice – Tips & Tricks,” 2022. [Online]. Available: <https://static-int.testo.com/media/1d/b7/21fc65abbea1/Pocket-Guide-Thermography-EN.pdf>

[58] “Lambert’s Cosine Law. Lectures.” Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA [Online]. Available: <https://groups.csail.mit.edu/graphics/classes/6.837/F00/Lecture16/>

[59] D. F. Rogers, *Procedural Elements of Computer Graphics*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997.

[60] “Camera Field of View.” Teledyne Photometrics [Online]. Available: <https://www.photometrics.com/learn/camera-basics/camera-field-of-view>

[61] В. О. Пеньков, “Фотограмметрія,” Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2019.

[62] Ю. Г. Кордуба, Є. І. Смірнов, *Фотограмметрія: Навчальний посібник*. Київ, 2007.

[63] П. Г. Доля, "Математичні методи обробки зображень. Алгебраїчні методи обробки монохромних цифрових зображень." Механіко – Математичний Факультет Харківського національного університету, 2013.

[64] П. Г. Доля, "Математичні методи обробки зображень. Методи обробки кольорових цифрових зображень." Механіко – Математичний Факультет Харківського національного університету, 2013.

- [65] R. C. Gonzalez, *Digital Image processing using MATLAB*, 1st Edition. Pearson Education Inc. / Prentice Hall, 2004.
- [66] Somanath Rohidas Langute and Nagaraj V. Dharwadkar, “Adaptive Image Steganography Using Pixel Intensity Difference,” *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology (IJIERT)*, ICCCES-16, 2016, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1469366>.
- [67] S. Eppel and T. Kachman, “Computer vision-based recognition of liquid surfaces and phase boundaries in transparent vessels, with emphasis on chemistry applications” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/261988613_Computer_vision-based_recognition_of_liquid_surfaces_and_phase_boundaries_in_transparent_vessels_with_emphasis_on_chemistry_applications
- [68] *Міжнародна конвенція про безпечні контейнери (Редакція від 04.11.1993)*. Женева: Міжнародна морська організація, 1972 [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_013#Text
- [69] *ISO 830:1981. Freight containers — Vocabulary*. Technical Committee : ISO/TC 104 Freight containers, 1981.
- [70] *ISO 668:2020. Series 1 freight containers — Classification, dimensions and ratings. Edition 7*. Technical Committee: ISO/TC 104/SC 1 General purpose containers Secretariat: AFNOR, France, 2020.
- [71] *ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and software engineering — System life cycle processes*. Technical Committee : ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering, 2023.
- [72] A. Pyster *et al.*, Eds., *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 1.0*. Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology, 2012 [Online]. Available: <https://www.sebokwiki.org>
- [73] “Integrated DEFinition Methods (IDEF).” Knowledge Based Systems, Inc. (KBSI) [Online]. Available: <https://www.idef.com>
- [74] F. Ahmed, S. Robinson, and A. A. Tako, “Using the structured analysis and design technique (SADT) in simulation conceptual modeling,” in *Proceedings of the*

Winter Simulation Conference 2014, 2014, pp. 1038–1049, doi: 10.1109/WSC.2014.7019963.

[75] “IDEFØ Function Modelling Method.” Knowledge Based Systems, Inc. (KBSI) [Online]. Available: https://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/

[76] “Structured Analysis & Design Technique (SADT),” in *Manufacturing Management and Technology Guide*, Value Driven Design, 2015 [Online]. Available: <http://www.valuedrivendesign.co.uk/managementguide/04.04.aspx>

[77] “Елементи UML.” KDE [Online]. Available: <https://docs.kde.org/trunk5/uk/umbrello/umbrello/uml-elements.html>

[78] “What is UML.” OMG, 2005 [Online]. Available: <https://www.uml.org/what-is-uml.htm>

[79] “What is Unified Modeling Language (UML)?” Visual Paradigm [Online]. Available: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/what-is-uml/>

[80] “Desktop Guide (Windows Forms .NET).” Microsoft [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-7.0>

[81] “Unity Engine.” Unity Technologies [Online]. Available: <https://unity.com>

[82] A. K. Jain, J. Mao, and K. M. Mohiuddin, “Artificial neural networks: a tutorial,” *Computer*, vol. 29, no. 3, pp. 31–44, 1996, doi: 10.1109/2.485891.

[83] M. Starnenkovich, “An application of artificial neural networks for autonomous ship navigation through a channel,” in *Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, 1991, doi: 10.1109/vnis.1991.205794.

[84] C.-H. Yang, G.-C. Lin, C.-H. Wu, Y.-H. Liu, Y.-C. Wang, and K.-C. Chen, “Deep Learning for Vessel Trajectory Prediction Using Clustered AIS Data,” *Mathematics*, vol. 10, no. 16, p. 2936, Aug. 2022, doi: 10.3390/math10162936.

[85] G. Li, B. Kawan, H. Wang, and H. Zhang, “Neural-network-based modelling and analysis for time series prediction of ship motion,” *Ship Technology Research*, vol. 64, no. 1, pp. 30–39, 2017, doi: 10.1080/09377255.2017.1309786.

- [86] R. Zăgan, M. G. Chițu, and E. Manea, “Ship Manoeuvrability Prediction Using Neural Networks Analysis,” *Advanced Materials Research*, vol. 1036, pp. 946–951, Oct. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1036.946.
- [87] T. Abramowski, “Application of artificial neural networks to assessment of ship manoeuvrability qualities,” *Polish Maritime Research*, vol. 15, no. 2, pp. 15–21, Apr. 2008, doi: 10.2478/v10012-007-0059-0.
- [88] K. Lee, M. Chung, S. Kim, and D. H. Shin, “Damage detection of catenary mooring line based on recurrent neural networks,” *Ocean Engineering*, vol. 227, pp. 1088–1098, May 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.108898.
- [89] M. Chung, S. Kim, K. Lee, and D. H. Shin, “Detection of damaged mooring line based on deep neural networks,” *Ocean Engineering*, vol. 209, p. 107522, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107522>.
- [90] Y. A. Ahmed and K. Hasegawa, “Automatic Ship Berthing using Artificial Neural Network Based on Virtual Window Concept in Wind Condition,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 24, pp. 286–291, Sep. 2012, doi: 10.3182/20120912-3-bg-2031.00059.
- [91] Y. A. Ahmed and K. Hasegawa, “Automatic ship berthing using artificial neural network trained by consistent teaching data using nonlinear programming method,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 10, pp. 2287–2304, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.engappai.2013.08.009.
- [92] Y. A. Ahmed and K. Hasegawa, “Implementation of Automatic Ship Berthing using Artificial Neural Network for Free Running Experiment,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 33, pp. 25–30, 2013, doi: <https://doi.org/10.3182/20130918-4-JP-3022.00036>.
- [93] Y. A. Ahmed and K. Hasegawa, “Consistently Trained Artificial Neural Network for Automatic Ship Berthing Control,” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 9, no. 3, pp. 417–426, 2015, doi: 10.12716/1001.09.03.15.
- [94] Y. A. Ahmed, M. A. Hannan, and K. H. Siang, “Artificial Neural Network controller for automatic ship berthing: challenges and opportunities,” *Marine Systems &*

Ocean Technology, vol. 15, no. 4, pp. 217–242, Oct. 2020, doi: 10.1007/s40868-020-00089-x.

[95] A. Nazir, H. Mosleh, M. Takruri, A.-H. Jallad, and H. Alhebsi, “Early Fire Detection: A New Indoor Laboratory Dataset and Data Distribution Analysis,” *Fire*, vol. 5, no. 1, p. 11, Jan. 2022, doi: 10.3390/fire5010011.

[96] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation (3rd Edition)*, 3rd Edition. Prentice Hall, 2009.

[97] A. L. Hodgkin and A. F. Huxley, “A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve,” *The Journal of Physiology*, vol. 117, no. 4, pp. 500–544, Aug. 1952, doi: 10.1113/jphysiol.1952.sp004764.

[98] M. D. Binder, N. Hirokawa, and U. Windhorst, Eds., “Heaviside Function,” in *Encyclopedia of Neuroscience*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1821–1821.

[99] P. Kainen, V. Kůrková, and A. Vogt, “Best approximation by Heaviside perceptron networks,” *Neural Networks*, vol. 13, no. 7, pp. 695–697, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00056-3).

[100] O. A. Montesinos López, A. Montesinos López, and J. Crossa, “Fundamentals of Artificial Neural Networks and Deep Learning,” in *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction*, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 379–425 [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-89010-0_10

[101] L. Alzubaidi *et al.*, “Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions,” *Journal of Big Data*, vol. 8, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.1186/s40537-021-00444-8.

[102] J. Brownlee, “When to use MLP, CNN, and RNN neural networks.” *Machine Learning Mastery*, Aug. 2022 [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/when-to-use-mlp-cnn-and-rnn-neural-networks/>

[103] P. Xiao, *Practical Java Programming for IoT, AI, and Blockchain*. John Wiley & Sons Incorporated, 2019.

- [104] M. Budinich, "Some notes on perceptron learning," in *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1993, pp. 371–376 vol.1, doi: 10.1109/ICNN.1993.298585.
- [105] C. Ezgi, "Basic Design Methods of Heat Exchanger," in *Heat Exchangers - Design, Experiment and Simulation*, Apr. 2017, doi: 10.5772/67888.
- [106] C. Koren, R. Vicquelin, and O. Gicquel, "High-Fidelity Multiphysics Simulation of a Confined Premixed Swirling Flame Combining Large-Eddy Simulation, Wall Heat Conduction and Radiative Energy Transfer," in *Volume 5C: Heat Transfer*, Jun. 2017, doi: 10.1115/gt2017-64844.
- [107] P. Majumdar, "Simulation of Thermal Systems," in *Design of Thermal Energy Systems*, John Wiley & Sons, Ltd, 2021, pp. 528–561 [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118956922.ch9>
- [108] S. M. S. Murshed and M. L. M. Lopes, "Introductory Chapter: An Overview of Design, Experiment and Numerical Simulation of Heat Exchangers," in *Heat Exchangers - Design, Experiment and Simulation*, Apr. 2017, doi: 10.5772/intechopen.68472.
- [109] S. Naik, "Basic Aspects of Gas Turbine Heat Transfer," in *Heat Exchangers - Design, Experiment and Simulation*, Apr. 2017, doi: 10.5772/67323.
- [110] T. Yamane and Y. Tanaka, "A Method for Conjugate Heat Transfer With Unsteady RANS Simulation," in *Volume 5A: Heat Transfer*, Jun. 2014, doi: 10.1115/gt2014-25582.
- [111] F. Yu and S. Yavuzkurt, "Simulation of Film Cooling Heat Transfer and Simulation Improvement With a Modified DES Turbulence Model," in *Volume 8A: Heat Transfer and Thermal Engineering*, Nov. 2018, doi: 10.1115/imece2018-86887.
- [112] L. L. Castro, A. Aranda, and G. Urquiza, "Analysis of Heat Transfer in an Experimental Heat Exchanger Using Numerical Simulation," in *Numerical Simulation - From Brain Imaging to Turbulent Flows*, Aug. 2016, doi: 10.5772/63957.
- [113] S. Edmondson, "Infrared Thermography," in *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd, 2017, pp. 1–14 [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118476406.emoe582>

- [114] F. Hou, Y. Zhang, Y. Zhou, M. Zhang, B. Lv, and J. Wu, "Review on Infrared Imaging Technology," *Sustainability*, vol. 14, no. 18, p. 11161, Sep. 2022, doi: 10.3390/su141811161.
- [115] H. Zhang, "Study on Image Adaption Simulation Algorithm in Thermal Imaging System," in *2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, May 2018, doi: 10.1109/imcec.2018.8469413.
- [116] L. Nie, N. Chen, and R. Mourant, "Simulation of Infrared Thermal Imaging in a Virtual Environment Driving Simulator," in *ICTIS 2011*, Jun. 2011, doi: 10.1061/41177(415)224.
- [117] B. Tai and X. Hao, "Research on temperature measurement simulation experiment based on infrared thermal image," in *Advanced Optical Imaging Technologies III*, Oct. 2020, doi: 10.1117/12.2575745.
- [118] Z. Liqin, C. Lei, and F. JinDong, "Simulation of the detection ability of infrared imaging system in high thermal environment," in *Sixth Symposium on Novel Optoelectronic Detection Technology and Applications*, Apr. 2020, doi: 10.1117/12.2563556.
- [119] M. M. A. Rafique, "Modeling and Simulation of Heat Transfer Phenomena," in *Heat Transfer Studies and Applications*, Jul. 2015, doi: 10.5772/61029.
- [120] P. von Böckh, *Heat transfer basics and practice: basics and practice*. Springer, 2012.
- [121] A. F. Mills, *Heat and Mass Transfer*. Routledge, 2018.

ДОДАТОК А

Таблиця значень коефіцієнту випромінювання для різних типів поверхонь

Представлена у [1] таблиця значень коефіцієнту випромінювання ε для різних типів поверхонь наведена на рис. 1А та 2А. Згідно до зазначених у вказаному вище джерелі рекомендацій, дана таблиця може бути використана в якості керівництва з налаштування коефіцієнта випромінювання ε для виконання інфрачервоних вимірювань й пропонує значення такого коефіцієнту для деяких матеріалів. Оскільки коефіцієнт випромінювання змінюється залежно від температури та властивостей поверхні, наведені тут значення слід розглядати лише як рекомендації для вимірювання температурних умов або різниць. Щоб виміряти абсолютне значення температури, необхідно визначити точну випромінювальну здатність матеріалу.

Material (material temperature)	Emissivity
Aluminium, rolled blank (170 °C)	0.04
Aluminium, not oxidized (25 °C)	0.02
Aluminium, not oxidized (100 °C)	0.03
Aluminium, heavily oxidized (93 °C)	0.20
Aluminium, highly polished (100 °C)	0.09
Brass, oxidized (200 °C)	0.61
Brick, mortar, plaster (20 °C)	0.93
Brickwork (40 °C)	0.93
Cast iron, oxidized (200 °C)	0.64
Chrome (40 °C)	0.08
Chrome, polished (150 °C)	0.06
Clay, burnt (70 °C)	0.91
Concrete (25 °C)	0.93
Copper, slightly tarnished (20 °C)	0.04
Copper, oxidized (130 °C)	0.76
Copper, polished (40 °C)	0.03
Copper, rolled (40 °C)	0.64
Cork (20 °C)	0.70
Cotton (20 °C)	0.77

Рис. 1А – Значення коефіцієнту випромінювання ε для різних типів поверхонь

Material (material temperature)	Emissivity
Glass (90 °C)	0.94
Granite (20 °C)	0.45
Gypsum (20 °C)	0.90
Human being (36 °C)	0.98
Ice, smooth (0 °C)	0.97
Iron, emery-ground (20 °C)	0.24
Iron with casting skin (100 °C)	0.80
Iron with rolling skin (20 °C)	0.77
Lead (40 °C)	0.43
Lead, oxidized (40 °C)	0.43
Lead, grey oxidized (40 °C)	0.28
Marble, white (40 °C)	0.95
Oil paints (all colours) (90 °C)	0.92-0.96
Paint, blue on aluminium foil (40 °C)	0.78
Paint, black, matt (80 °C)	0.97
Paint, yellow, 2 coats on aluminium foil (40 °C)	0.79
Paint, white (90 °C)	0.95
Paper (20 °C)	0.97
Plastics: PE, PP, PVC (20 °C)	0.94
Porcelain (20 °C)	0.92
Radiator, black, anodized (50 °C)	0.98
Rubber, hard (23 °C)	0.94
Rubber, soft, grey (23 °C)	0.89
Sandstone (40 °C)	0.67
Steel, heat-treated surface (200 °C)	0.52
Steel, oxidized (200 °C)	0.79
Steel, cold-rolled (93 °C)	0.75-0.85
Transformer paint (70 °C)	0.94
Wood (70 °C)	0.94
Zinc, oxidized	0.1

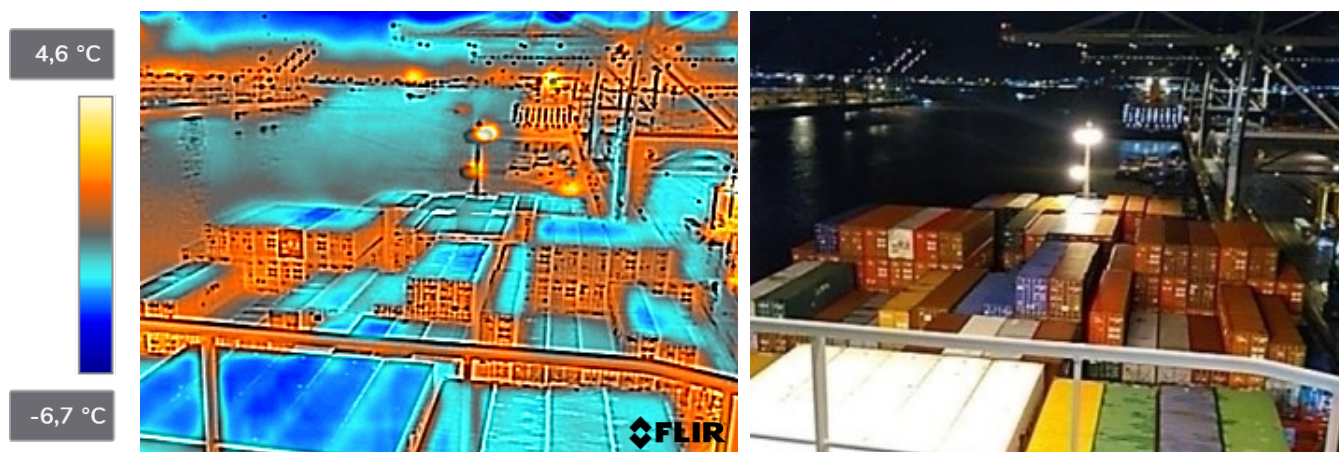
Рис. 2А – Продовження таблиці з рис. 1А

ДОДАТОК Б

Звіти натурних спостережень



Звіт про натурні спостереження



Parameters		File information		Camera information	
Emissivity	0,85	File size	461 KB	Range	120,0 °C
Reflected temp.	-3,0 °C	Width	640	Range min.	-20,0 °C
Ext. optics temp.	26,8 °C	Height	480		
Ext. optics trans.	0,83	Minimum	-6,4 °C		
		Maximum temp.	19,8 °C		
		Avg. temp.	-1,0 °C		



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	-3,0 °C
Ext. optics temp.	27,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	445 KB
Width	640
Height	480
Minimum	-8,9 °C
Maximum temp.	7,3 °C
Avg. temp.	-2,0 °C

Camera information

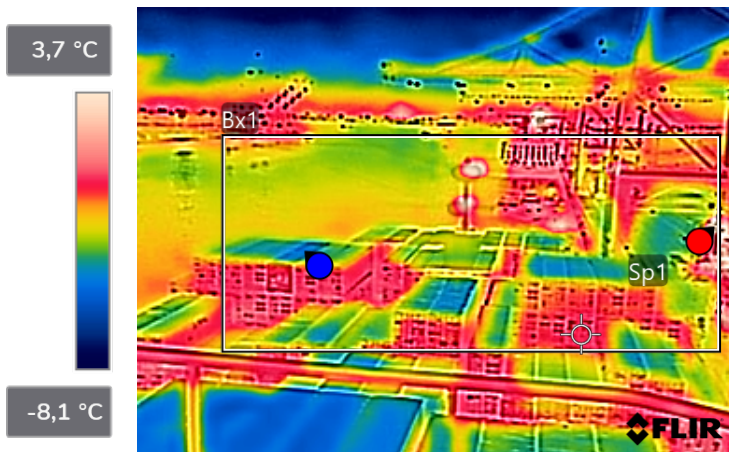
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	-3,5 °C
Sp2	0,2 °C
Sp3	0,2 °C
Sp4	-0,2 °C
Sp5	-2,1 °C
Sp6	-3,4 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	-3,0 °C
Ext. optics temp.	27,2 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	430 KB
Width	640
Height	480
Minimum	-8,5 °C
Maximum temp.	6,5 °C
Avg. temp.	-2,0 °C

Camera information

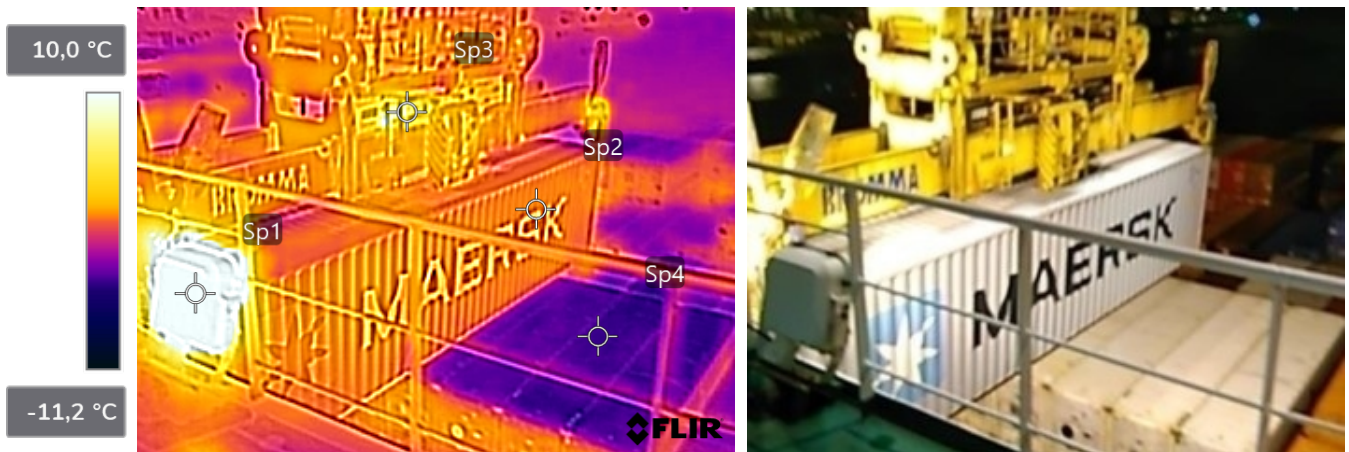
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

	Bx1
Max	6,5 °C
Avg	-1,4 °C
Min	-4,3 °C
Sp1	0,0 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	-3,0 °C
Ext. optics temp.	27,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	366 KB
Width	640
Height	480
Minimum	-4,5 °C
Maximum temp.	68,6 °C
Avg. temp.	1,6 °C

Camera information

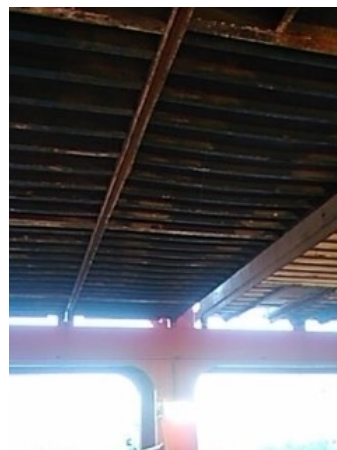
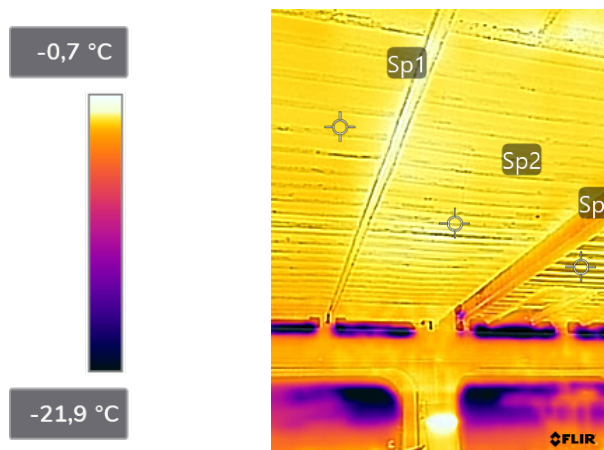
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp2	1,2 °C
Sp3	5,6 °C
Sp4	-4,0 °C
Sp1	57,7 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	6,0 °C
Ext. optics temp.	14,2 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	347 KB
Width	480
Height	640
Minimum	-30,7 °C
Maximum temp.	0,6 °C
Avg. temp.	-3,9 °C

Camera information

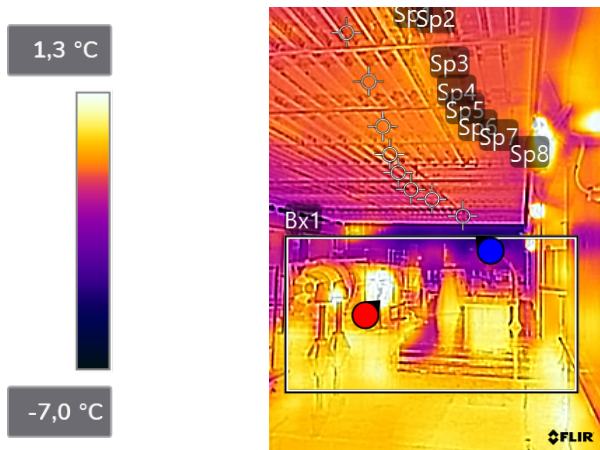
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	-2,5 °C
Sp2	-2,2 °C
Sp3	-2,5 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	6,0 °C
Ext. optics temp.	14,7 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	405 KB
Width	480
Height	640
Minimum	-4,9 °C
Maximum temp.	10,6 °C
Avg. temp.	-0,8 °C

Camera information

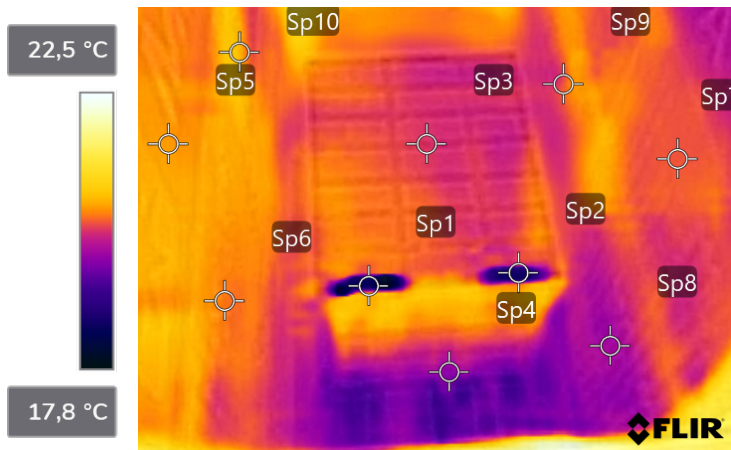
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	-1,1 °C
Sp2	-0,9 °C
Sp3	-0,9 °C
Sp4	-0,9 °C
Sp5	-1,2 °C
Sp6	-1,2 °C
Sp7	-1,3 °C
Sp8	-1,7 °C
Bx1	
Max	4,9 °C
Avg	-0,7 °C
Min	-4,8 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,94
Reflected temp.	22,0 °C
Ext. optics temp.	27,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	273 KB
Width	640
Height	480
Minimum	18,0 °C
Maximum temp.	22,3 °C
Avg. temp.	20,3 °C

Camera information

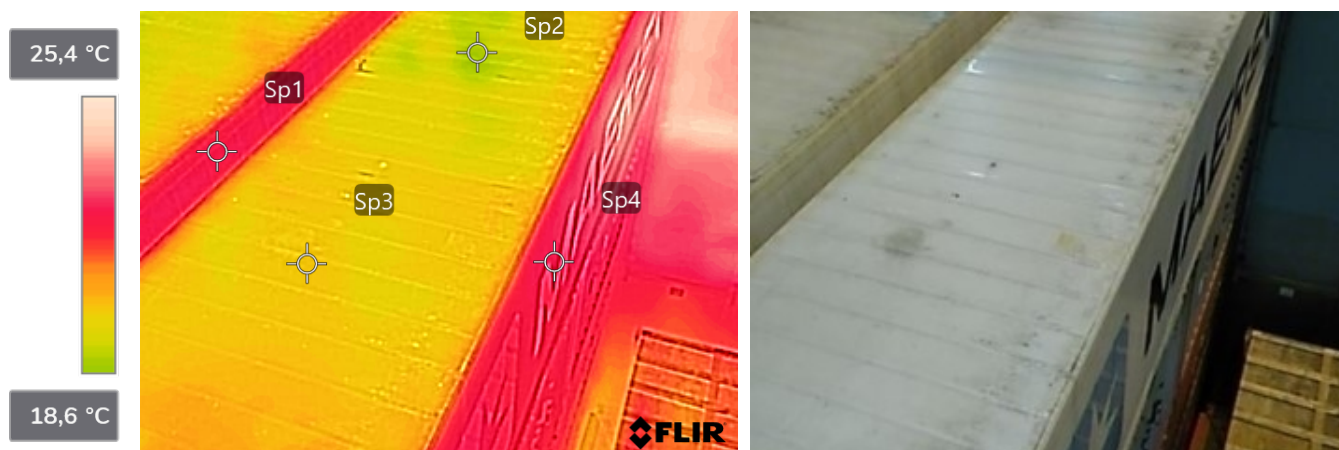
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	18,6 °C
Sp2	18,7 °C
Sp3	20,2 °C
Sp4	19,7 °C
Sp5	20,6 °C
Sp6	20,5 °C
Sp7	20,3 °C
Sp8	19,8 °C
Sp9	20,3 °C
Sp10	20,7 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	22,0 °C
Ext. optics temp.	27,8 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	329 KB
Width	640
Height	480
Minimum	18,8 °C
Maximum temp.	24,8 °C
Avg. temp.	21,2 °C

Camera information

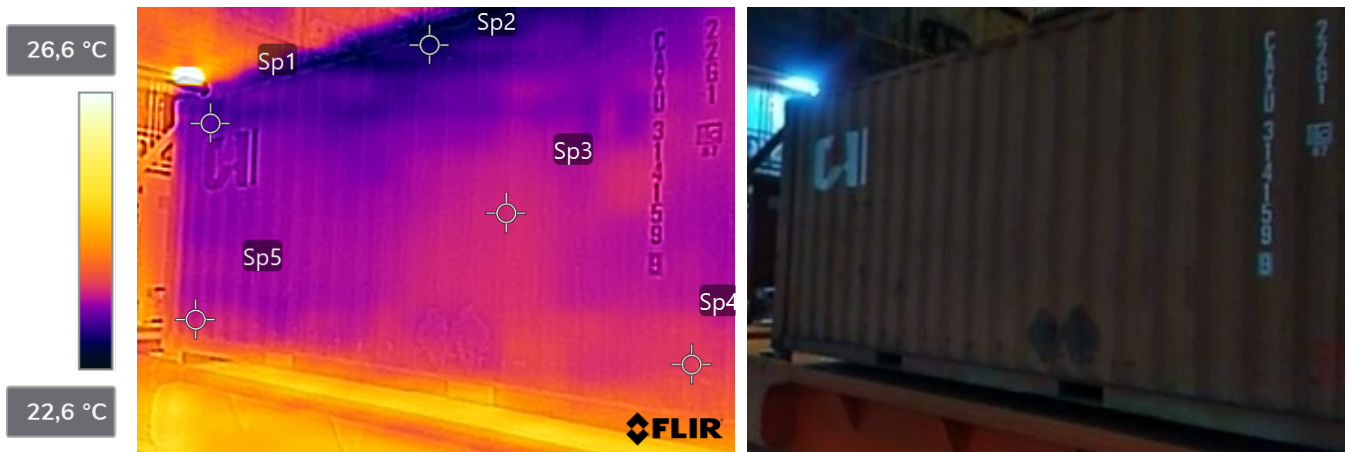
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	22,6 °C
Sp2	18,9 °C
Sp3	20,2 °C
Sp4	22,6 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,78
Reflected temp.	21,0 °C
Ext. optics temp.	29,2 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	276 KB
Width	640
Height	480
Minimum	22,8 °C
Maximum temp.	28,8 °C
Avg. temp.	23,8 °C

Camera information

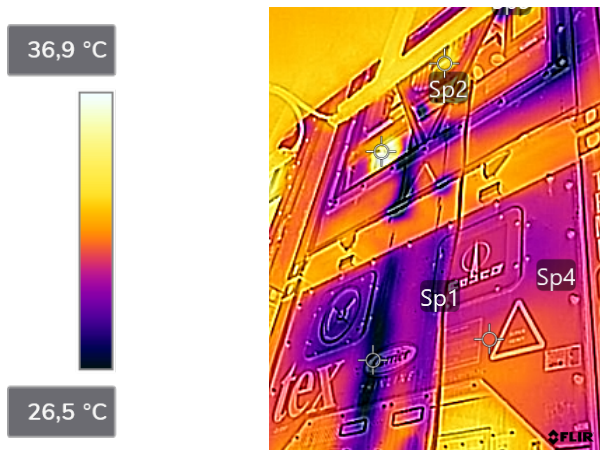
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	23,3 °C
Sp2	23,0 °C
Sp3	23,7 °C
Sp4	23,8 °C
Sp5	23,7 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	30,0 °C
Ext. optics temp.	36,3 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	482 KB
Width	480
Height	640
Minimum	23,4 °C
Maximum temp.	37,3 °C
Avg. temp.	30,8 °C

Camera information

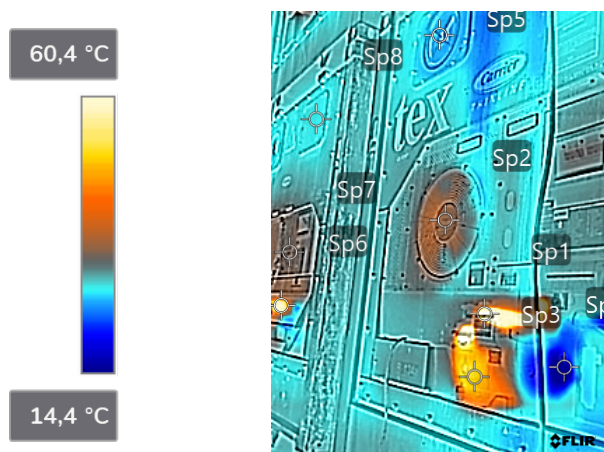
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	26,7 °C
Sp2	35,5 °C
Sp3	33,3 °C
Sp4	31,1 °C



Звіт про натурні спостереження

**Parameters**

Emissivity	0,80
Reflected temp.	30,0 °C
Ext. optics temp.	36,6 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	503 KB
Width	480
Height	640
Minimum	7,8 °C
Maximum temp.	83,2 °C
Avg. temp.	32,5 °C

Camera information

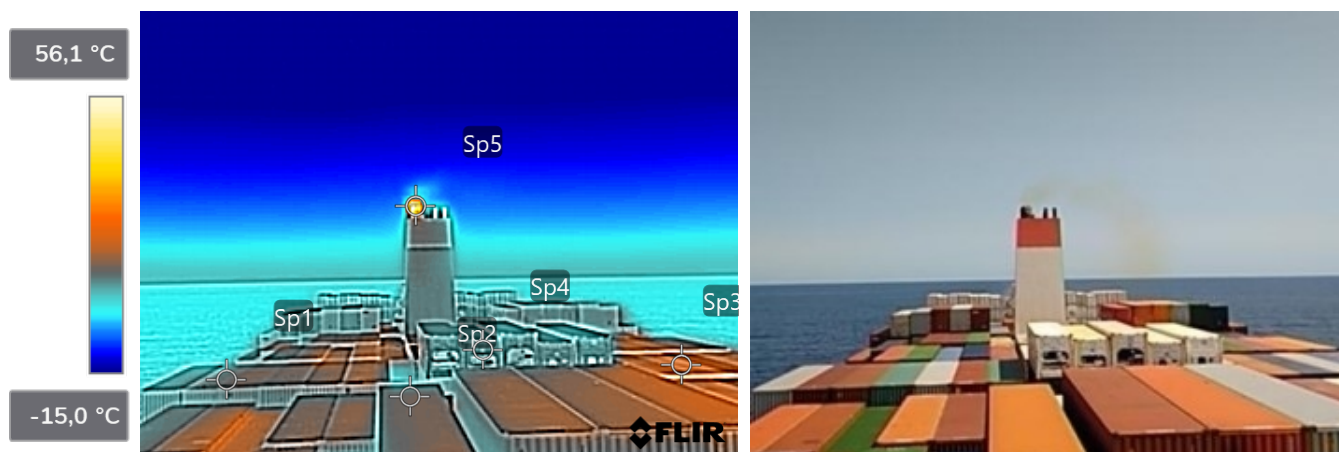
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp6	61,1 °C
Sp7	35,9 °C
Sp8	30,7 °C
Sp1	77,6 °C
Sp2	37,2 °C
Sp3	52,2 °C
Sp4	8,5 °C
Sp5	28,2 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,90
Reflected temp.	18,0 °C
Ext. optics temp.	24,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	288 KB
Width	640
Height	480
Minimum	-22,0 °C
Maximum temp.	53,7 °C
Avg. temp.	1,4 °C

Camera information

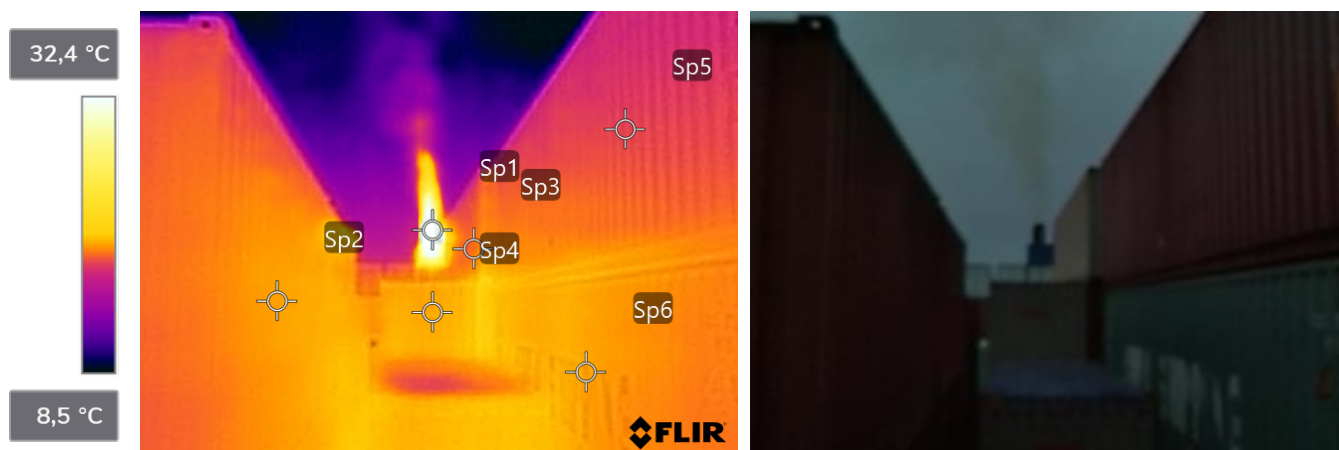
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	16,9 °C
Sp2	17,8 °C
Sp3	24,1 °C
Sp4	14,2 °C
Sp5	50,5 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	20,0 °C
Ext. optics temp.	30,4 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	209 KB
Width	640
Height	480
Minimum	7,7 °C
Maximum temp.	89,9 °C
Avg. temp.	18,3 °C

Camera information

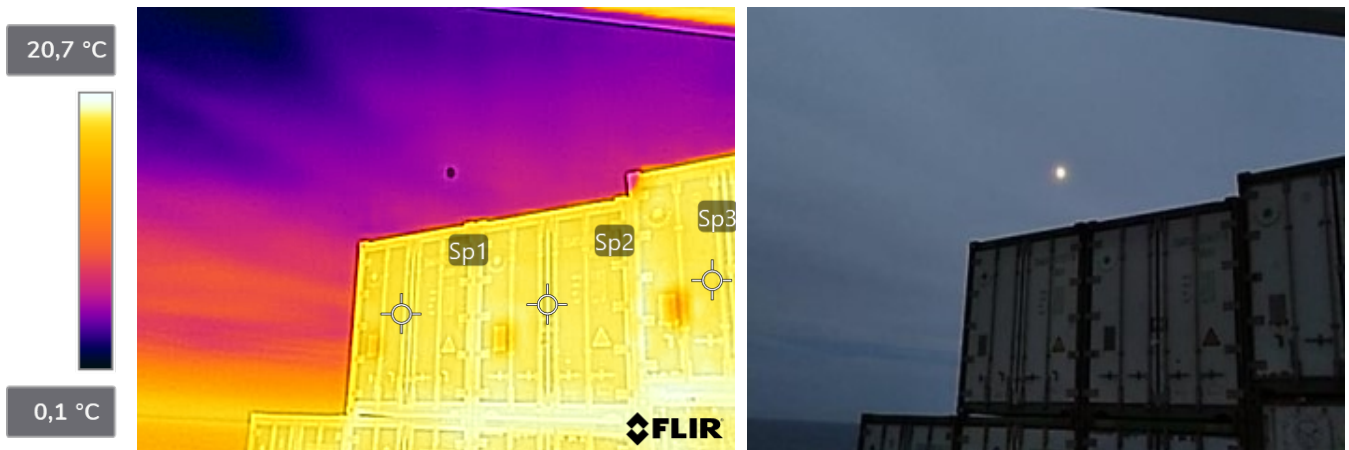
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	87,8 °C
Sp2	20,3 °C
Sp3	19,6 °C
Sp4	20,4 °C
Sp5	18,7 °C
Sp6	20,3 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	20,0 °C
Ext. optics temp.	30,0 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	245 KB
Width	640
Height	480
Minimum	0,6 °C
Maximum temp.	20,0 °C
Avg. temp.	11,0 °C

Camera information

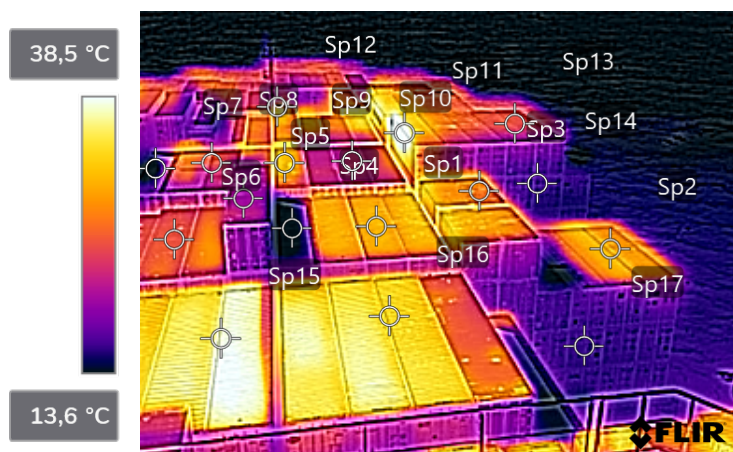
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	19,0 °C
Sp2	19,1 °C
Sp3	18,9 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	29,0 °C
Ext. optics temp.	26,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	520 KB
Width	640
Height	480
Minimum	11,6 °C
Maximum temp.	40,1 °C
Avg. temp.	22,5 °C

Camera information

Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

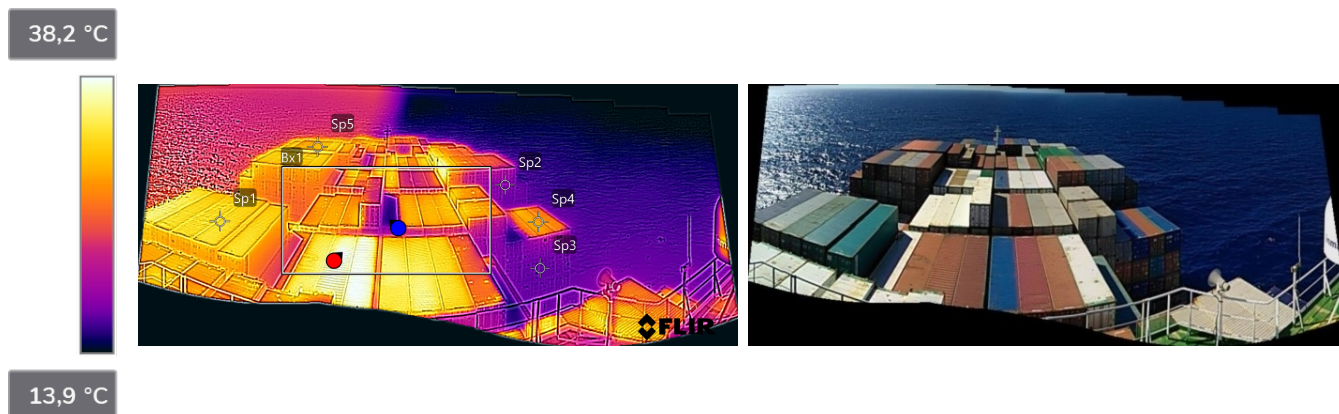
Sp1	31,7 °C
Sp2	31,1 °C
Sp3	28,2 °C
Sp4	13,2 °C
Sp5	20,5 °C
Sp6	26,0 °C
Sp7	13,2 °C
Sp8	26,0 °C
Sp9	32,4 °C
Sp10	23,8 °C
Sp11	39,9 °C
Sp12	30,0 °C
Sp13	25,8 °C
Sp14	16,2 °C
Sp15	37,7 °C
Sp16	33,9 °C
Sp17	16,0 °C

Документ згенеровано за допомогою програмного забезпечення

FLIR Thermal Studio від FLIR®



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	28,0 °C
Ext. optics temp.	26,8 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	625 KB
Width	960
Height	419
Minimum	13,4 °C
Maximum temp.	38,1 °C
Avg. temp.	22,1 °C

Camera information

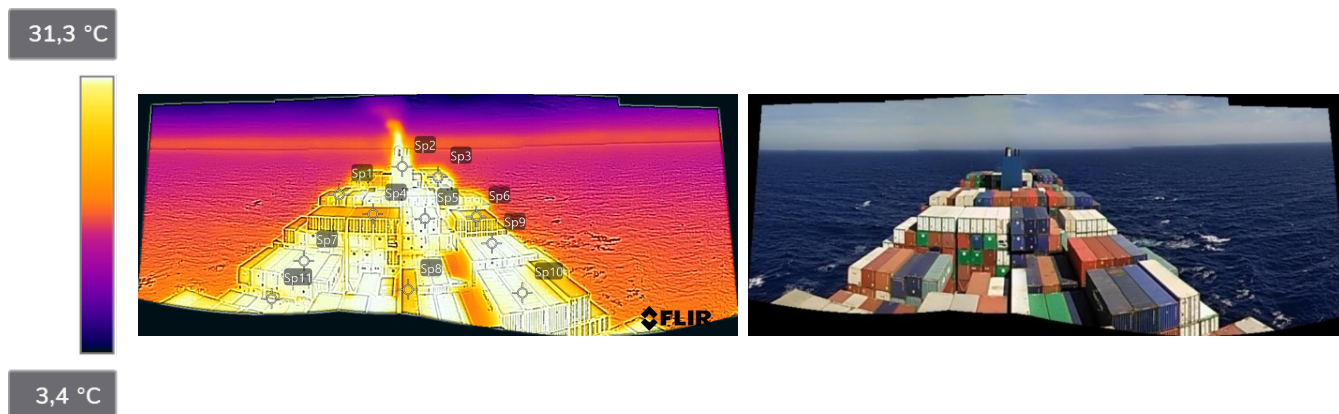
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	33,4 °C
Sp2	18,6 °C
Sp3	17,5 °C
Sp4	30,0 °C
Sp5	31,0 °C
Bx1	
Max	38,0 °C
Avg	28,9 °C
Min	15,6 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,85
Reflected temp.	25,0 °C
Ext. optics temp.	28,9 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	472 KB
Width	923
Height	372
Minimum	3,4 °C
Maximum temp.	31,4 °C
Avg. temp.	18,5 °C

Camera information

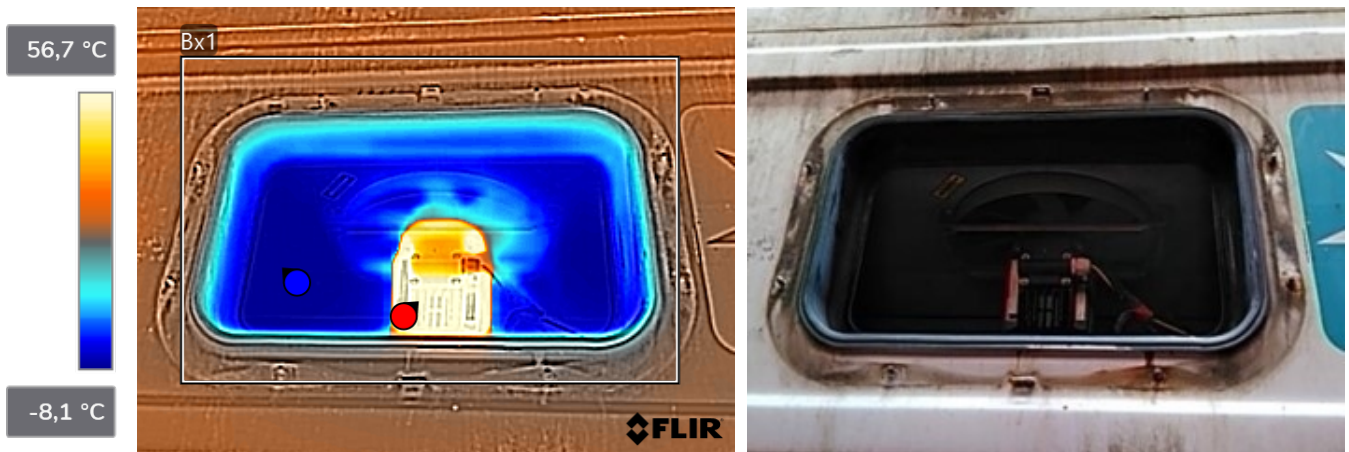
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	30,2 °C
Sp2	31,1 °C
Sp3	30,5 °C
Sp4	23,0 °C
Sp5	31,2 °C
Sp6	28,6 °C
Sp7	31,1 °C
Sp8	26,2 °C
Sp9	31,2 °C
Sp10	31,1 °C
Sp11	30,9 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,78
Reflected temp.	21,0 °C
Ext. optics temp.	27,9 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	372 KB
Width	640
Height	480
Minimum	-9,6 °C
Maximum temp.	78,2 °C
Avg. temp.	22,2 °C

Camera information

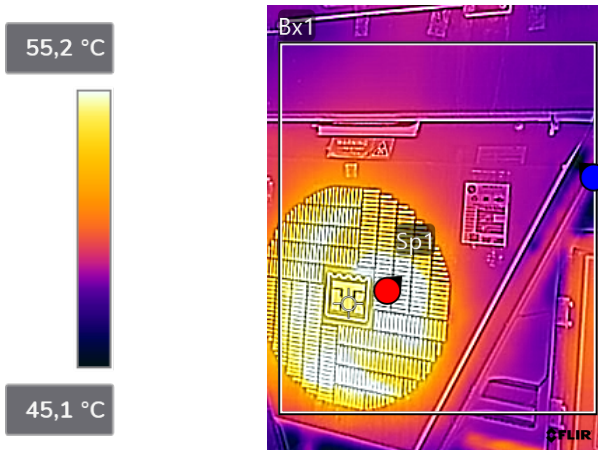
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

	Bx1
Max	78,2 °C
Avg	17,4 °C
Min	-9,6 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,79
Reflected temp.	31,0 °C
Ext. optics temp.	27,9 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	408 KB
Width	480
Height	640
Minimum	43,7 °C
Maximum temp.	59,1 °C
Avg. temp.	50,1 °C

Camera information

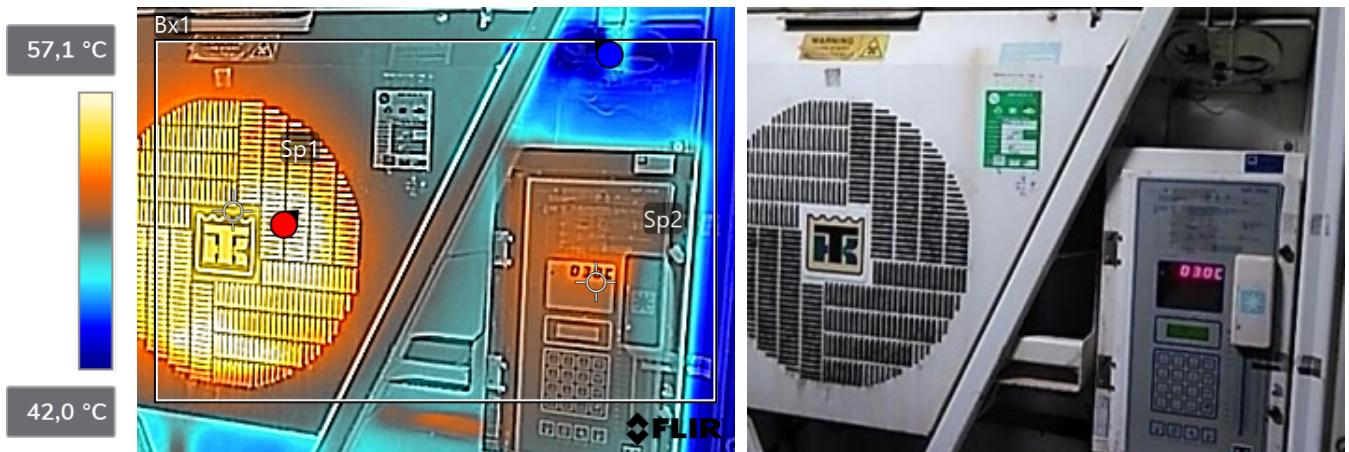
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	54,4 °C
Bx1	
Max	59,1 °C
Avg	50,5 °C
Min	43,7 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,79
Reflected temp.	31,0 °C
Ext. optics temp.	29,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	444 KB
Width	640
Height	480
Minimum	28,7 °C
Maximum temp.	59,5 °C
Avg. temp.	50,1 °C

Camera information

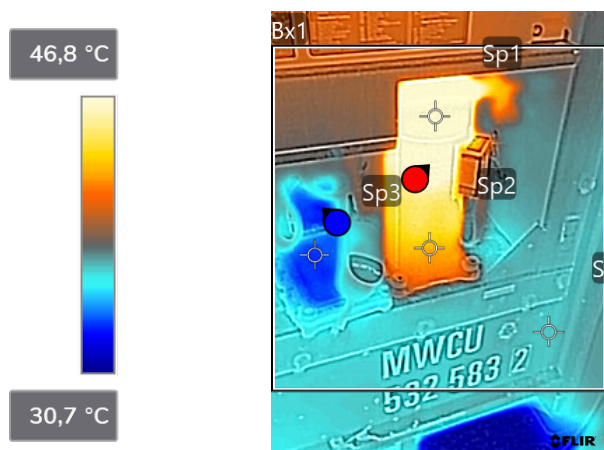
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	55,2 °C
Sp2	51,8 °C
Bx1	
Max	59,5 °C
Avg	50,7 °C
Min	28,8 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,79
Reflected temp.	30,0 °C
Ext. optics temp.	30,7 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	342 KB
Width	480
Height	640
Minimum	30,0 °C
Maximum temp.	48,9 °C
Avg. temp.	38,4 °C

Camera information

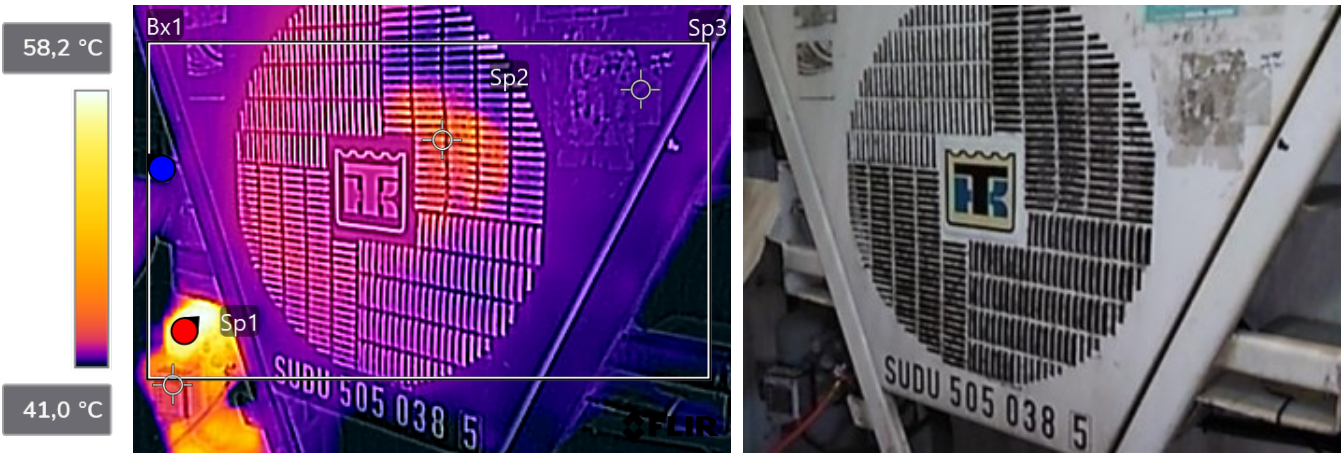
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	47,6 °C
Sp2	42,7 °C
Sp3	33,6 °C
Sp4	37,0 °C
Bx1	
Max	48,9 °C
Avg	38,8 °C
Min	33,2 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters		File information		Camera information	
Emissivity	0,79	File size	412 KB	Range	120,0 °C
Reflected temp.	35,0 °C	Width	640	Range min.	-20,0 °C
Ext. optics temp.	33,3 °C	Height	480		
Ext. optics trans.	0,83	Minimum	39,4 °C		
		Maximum temp.	58,1 °C		
		Avg. temp.	42,0 °C		
Measurements					
Sp1	43,4 °C				
Sp2	43,8 °C				
Sp3	41,5 °C				
	Bx1				
Max	58,1 °C				
Avg	42,1 °C				
Min	39,9 °C				



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,79
Reflected temp.	35,0 °C
Ext. optics temp.	36,7 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	512 KB
Width	640
Height	480
Minimum	37,4 °C
Maximum temp.	51,5 °C
Avg. temp.	45,0 °C

Camera information

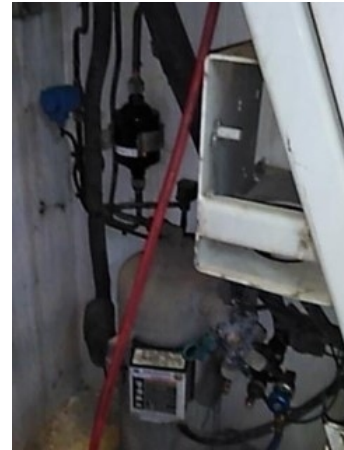
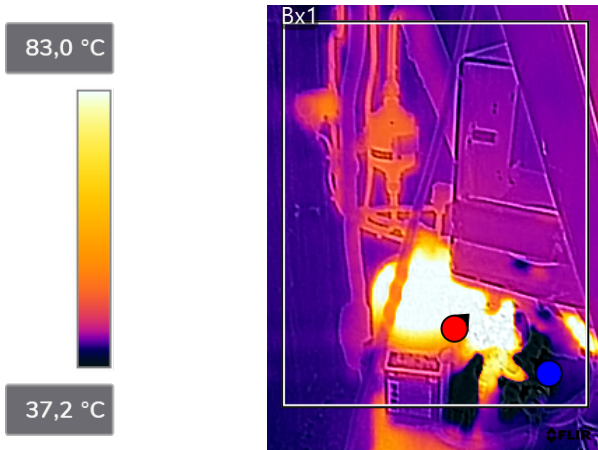
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	50,1 °C
Sp2	48,6 °C
Sp3	45,3 °C
Sp4	41,5 °C
Bx1	
Max	51,5 °C
Avg	45,6 °C
Min	37,5 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,79
Reflected temp.	26,0 °C
Ext. optics temp.	38,9 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	352 KB
Width	480
Height	640
Minimum	17,5 °C
Maximum temp.	90,0 °C
Avg. temp.	45,8 °C

Camera information

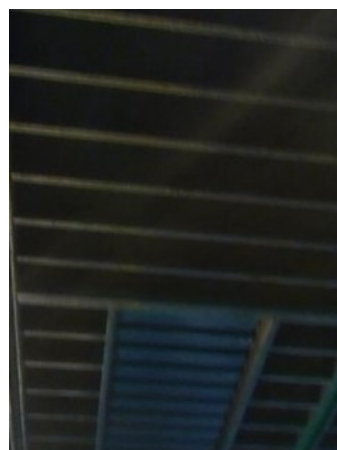
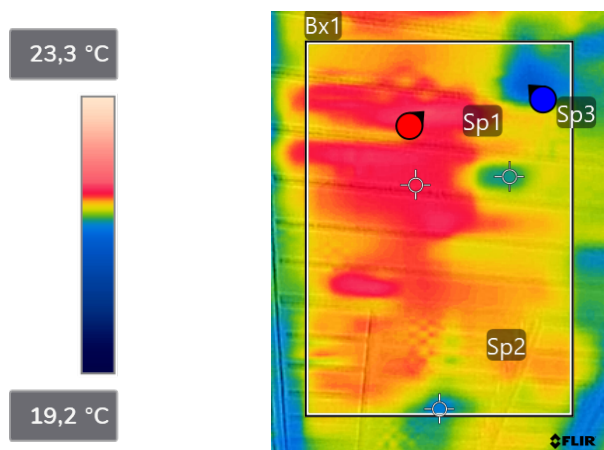
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

	Bx1
Max	90,0 °C
Avg	46,7 °C
Min	17,5 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	22,0 °C
Ext. optics temp.	25,2 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	254 KB
Width	480
Height	640
Minimum	21,1 °C
Maximum temp.	22,0 °C
Avg. temp.	21,7 °C

Camera information

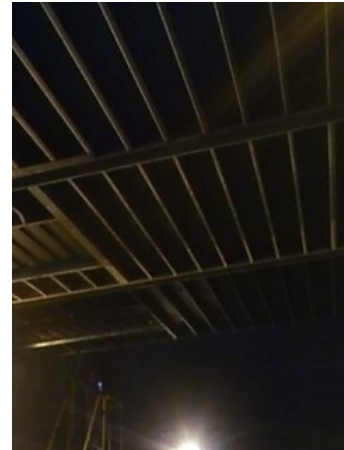
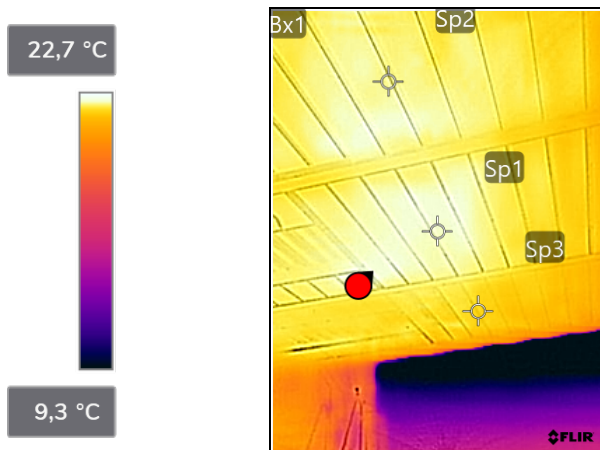
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	21,9 °C
Sp2	21,4 °C
Sp3	21,4 °C
Bx1	
Max	22,0 °C
Avg	21,7 °C
Min	21,1 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	22,0 °C
Ext. optics temp.	26,1 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	286 KB
Width	480
Height	640
Minimum	7,4 °C
Maximum temp.	22,4 °C
Avg. temp.	20,1 °C

Camera information

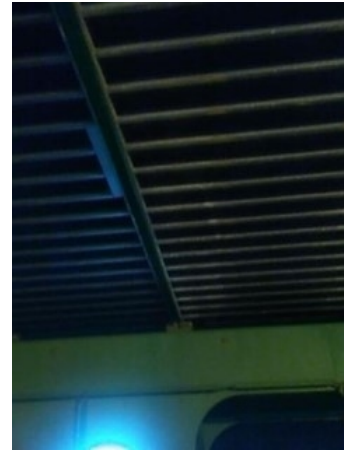
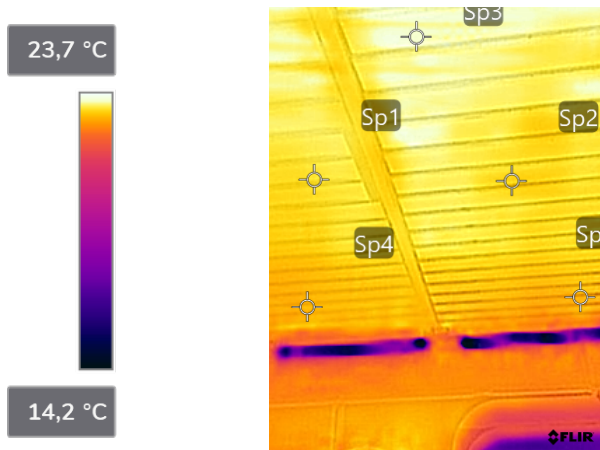
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	22,3 °C
Sp3	21,9 °C
Sp2	22,2 °C
Bx1	
Max	22,4 °C
Avg	20,1 °C
Min	7,4 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	22,0 °C
Ext. optics temp.	26,6 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	286 KB
Width	480
Height	640
Minimum	13,8 °C
Maximum temp.	23,5 °C
Avg. temp.	22,7 °C

Camera information

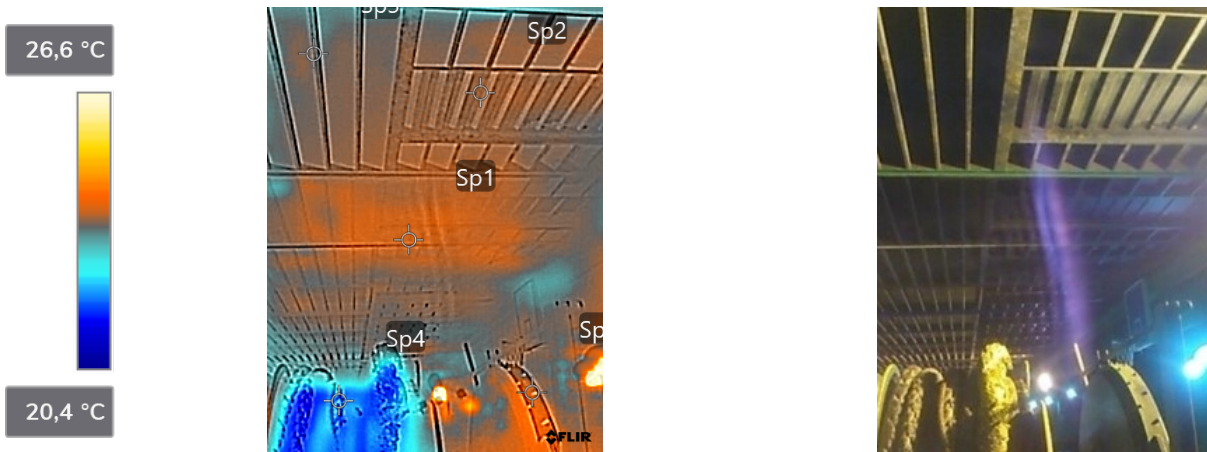
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp2	23,0 °C
Sp3	23,4 °C
Sp4	22,9 °C
Sp5	22,8 °C
Sp1	23,2 °C



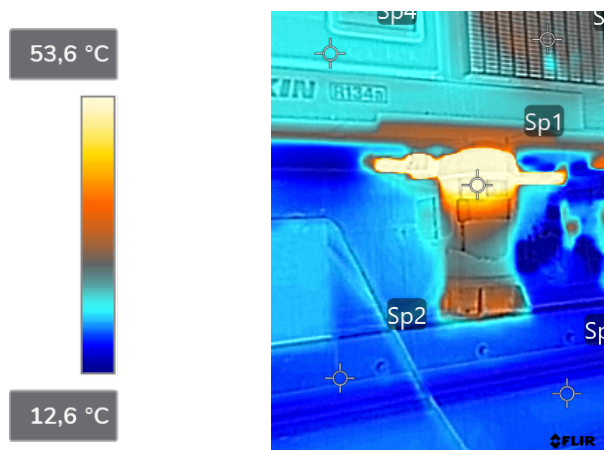
Звіт про натурні спостереження



Parameters		File information		Camera information	
Emissivity	0,80	File size	366 KB	Range	120,0 °C
Reflected temp.	22,0 °C	Width	480	Range min.	-20,0 °C
Ext. optics temp.	27,5 °C	Height	640		
Ext. optics trans.	0,83	Minimum	21,4 °C		
		Maximum temp.	35,5 °C		
		Avg. temp.	23,7 °C		
Measurements					
Sp2	23,8 °C				
Sp3	23,7 °C				
Sp4	22,0 °C				
Sp5	24,0 °C				
Sp1	24,1 °C				



Звіт про натурні спостереження

**Parameters**

Emissivity	0,80
Reflected temp.	25,0 °C
Ext. optics temp.	27,6 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	321 KB
Width	480
Height	640
Minimum	0,5 °C
Maximum temp.	73,5 °C
Avg. temp.	24,1 °C

Camera information

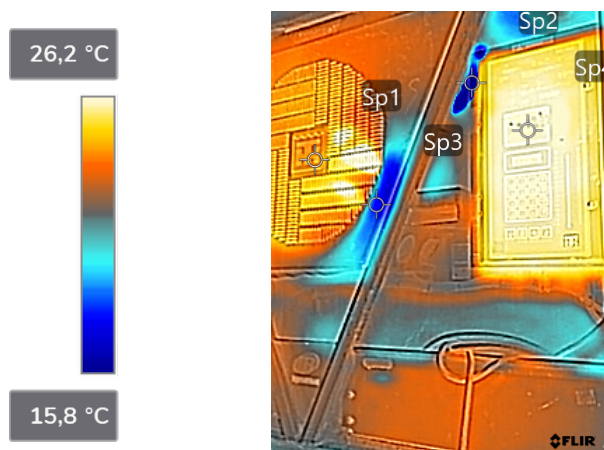
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp2	19,0 °C
Sp3	19,2 °C
Sp4	24,1 °C
Sp5	30,6 °C
Sp1	56,1 °C



Звіт про натурні спостереження

**Parameters**

Emissivity	0,80
Reflected temp.	18,0 °C
Ext. optics temp.	28,2 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	396 KB
Width	480
Height	640
Minimum	5,6 °C
Maximum temp.	32,8 °C
Avg. temp.	23,2 °C

Camera information

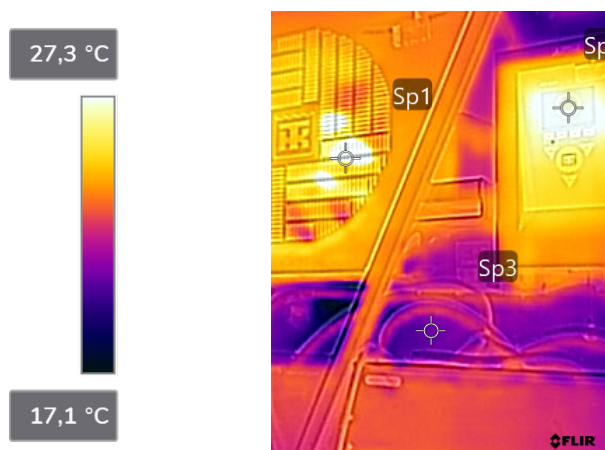
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	24,3 °C
Sp2	10,7 °C
Sp3	17,8 °C
Sp4	28,2 °C



Звіт про натурні спостереження

**Parameters**

Emissivity	0,80
Reflected temp.	18,0 °C
Ext. optics temp.	28,7 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	326 KB
Width	480
Height	640
Minimum	17,3 °C
Maximum temp.	34,5 °C
Avg. temp.	23,4 °C

Camera information

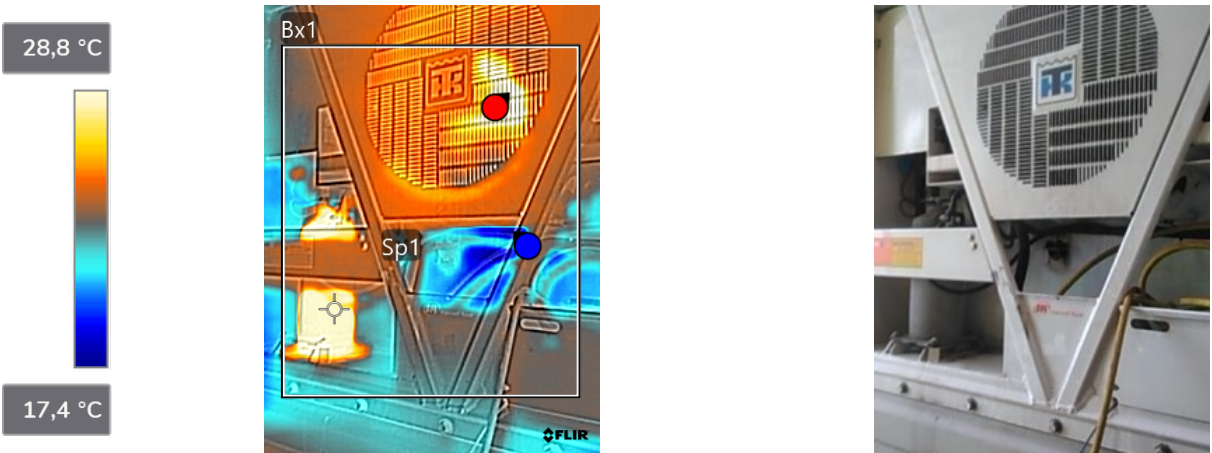
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	33,1 °C
Sp2	27,1 °C
Sp3	20,7 °C



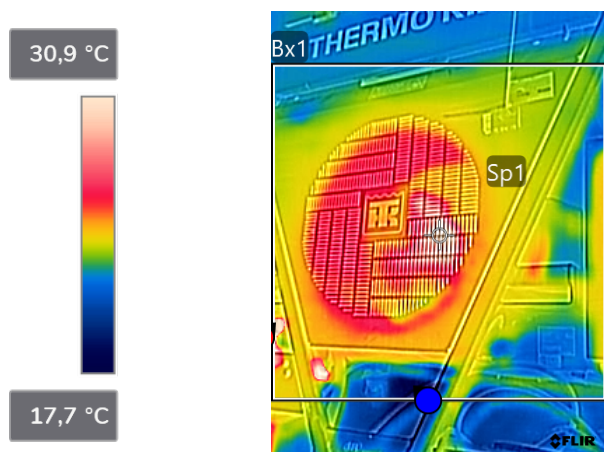
Звіт про натурні спостереження



Parameters		File information		Camera information	
Emissivity	0,80	File size	386 KB	Range	120,0 °C
Reflected temp.	18,0 °C	Width	480	Range min.	-20,0 °C
Ext. optics temp.	29,0 °C	Height	640		
Ext. optics trans.	0,83	Minimum	17,8 °C		
		Maximum temp.	31,2 °C		
		Avg. temp.	24,0 °C		
Measurements					
Sp1	30,5 °C				
	Bx1				
Max	31,2 °C				
Avg	24,3 °C				
Min	17,8 °C				



Звіт про натурні спостереження

**Parameters**

Emissivity	0,80
Reflected temp.	18,0 °C
Ext. optics temp.	29,4 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	389 KB
Width	480
Height	640
Minimum	18,0 °C
Maximum temp.	37,5 °C
Avg. temp.	23,8 °C

Camera information

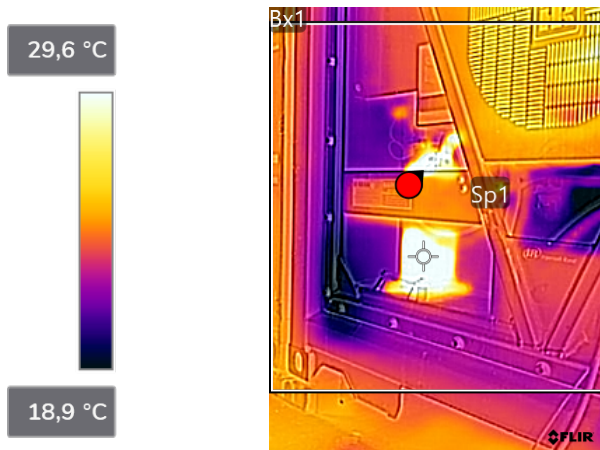
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	30,4 °C
Bx1	
Max	37,5 °C
Avg	24,3 °C
Min	18,0 °C



Звіт про натурні спостереження

**Parameters**

Emissivity	0,80
Reflected temp.	18,0 °C
Ext. optics temp.	29,2 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	396 KB
Width	480
Height	640
Minimum	17,8 °C
Maximum temp.	31,7 °C
Avg. temp.	23,6 °C

Camera information

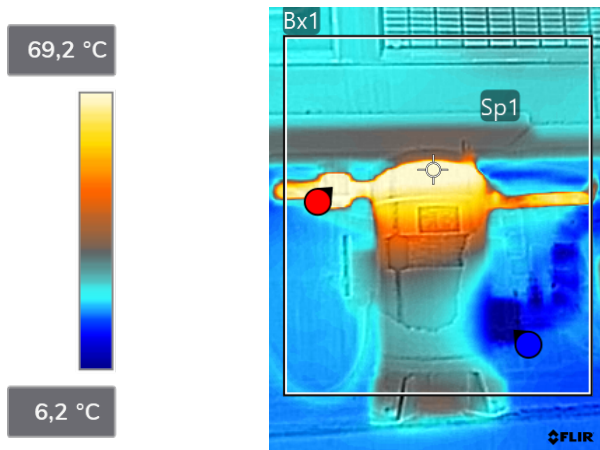
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	31,0 °C
Bx1	
Max	31,7 °C
Avg	23,5 °C
Min	17,8 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	24,0 °C
Ext. optics temp.	29,8 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	314 KB
Width	480
Height	640
Minimum	2,2 °C
Maximum temp.	75,0 °C
Avg. temp.	30,0 °C

Camera information

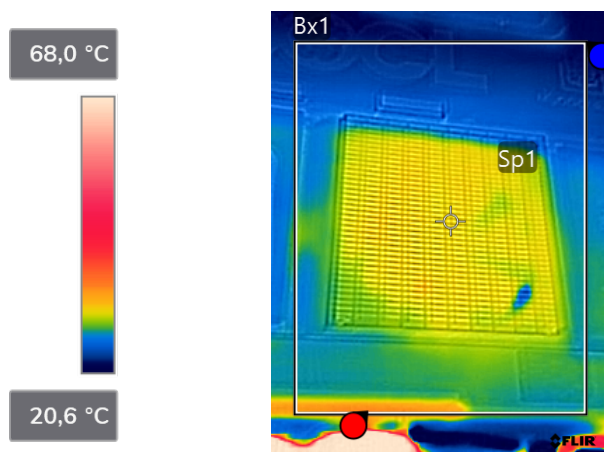
Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	72,9 °C
Bx1	
Max	75,0 °C
Avg	31,5 °C
Min	2,2 °C



Звіт про натурні спостереження



Parameters

Emissivity	0,80
Reflected temp.	24,0 °C
Ext. optics temp.	30,0 °C
Ext. optics trans.	0,83

File information

File size	314 KB
Width	480
Height	640
Minimum	14,7 °C
Maximum temp.	74,4 °C
Avg. temp.	29,5 °C

Camera information

Range	120,0 °C
Range min.	-20,0 °C

Measurements

Sp1	33,0 °C
Bx1	
Max	37,2 °C
Avg	29,4 °C
Min	22,1 °C

ДОДАТОК В

Характеристики тепловізійного модуля камери

Thermal Camera Technical Specifications

Camera module

Thermal and visual cameras with MSX

Thermal sensor	17µm pixel size, 8 – 14 µm spectral range
Thermal resolution	80x60
Visual resolution	640x480
HFOV / VFOV	46° ± 1° / 35° ± 1°
Frame rate	8.7Hz
Focus	Fixed 15cm - Infinity
Built in shutter	Automatic/Manual

Radiometry

Scene dynamic range	-20 °C – 120 °C
Accuracy	Typically ±5°C or ±5% Percent of the difference between ambient and scene temperature. Applicable 60s after start-up when the unit is within 15 °C – 35 °C and the scene is within 10 °C – 120 °C.
Thermal sensitivity (MRDT)	150mK

MyFLIR

Live Image	Thermal (MSX)
Save Image	Radiometric jpeg
Save video (mpeg)	Thermal (MSX) as mpeg
Swipe to VIS	Yes, in Edit mode
Palettes	Iron, Black hot, White hot, Rainbow, Contrast, Arctic, Lava, Coldest, Hottest
IR Scale	Automatic, Lockable min/max, Editable min/max
Thermal Image Analytics	-Up to three movable spot meters -Whole image ROI with min/max/avg -Center 16x16pix ROI with min/max/avg
Emissivity settings	Matte: 95%, Semi-Matte: 80%, Semi-Glossy: 60%, Glossy: 30%
Timer	Off, 3s, 10s
Time lapse video recording	Delay time, Frame interval, Playback rate
Panorama	Yes
GPS Location is saved in image	Yes
Export to other FLIR analysis and reporting software	Link from MyFLIR app to FLIR Tools
User alignment	Yes

ДОДАТОК Г

Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з науково-педагогічної роботи
Національного університету
«Одеська морська академія»
д.т.н., професор

Вадим ЗАХАРЧЕНКО

20 23 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи
здобувача Конона Владислава Валентиновича
на тему «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів для
забезпечення безпеки морських перевезень» в звіт науково-дослідної роботи
№ ДР 0122U201980 «Формування транспортно-технологічних процесів розвитку
функціонування морської галузі»

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини університету к.т.н., професор Савчук В.Д. та завідувач кафедри морських перевезень д.е.н., професор Ніколаєва Л.Л. склали цей акт у тому, що результати дисертації здобувача Конона В.В. на тему «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів для забезпечення безпеки морських перевезень» впроваджені в освітню компоненту «Дослідницький практикум», відповідно до освітньо-професійної програми другого магістерського рівня підготовки «Навігація і управління морськими суднами» Навчально-наукового інституту навігації. Результати також відображені в звіті науково-дослідної роботи «Формування транспортно-технологічних процесів розвитку функціонування морської галузі» (№ ДР 0122U201980, Розділ 4 Розробка методів забезпечення безпеки мореплавання судна при перевезенні небезпечних вантажів, п. 4.1 Розробка методу ідентифікації джерела займання в полі зору одиночного тепловізора в межах вантажного простору контейнеровозу.).

Начальник науково-дослідної
частини НУ«ОМА»,
к.т.н., с.н.с., професор

Віктор САВЧУК

Завідувач кафедри
морських перевезень,
д.е.н., професор

Людмила НІКОЛАЄВА

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Національного університету
«Одеська морська академія»,
д.т.н., професор

Олександр ШЕМЯКІН

« 25 » жовтня 2023 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи
здобувача Конона Владислава Валентиновича
на тему «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних
вантажів для забезпечення безпеки морських перевезень» в освітній процес

Ми, що нижче підписались, начальник навчального відділу університету Пархоменко М.М., директор Навчально-наукового інституту навігації д.т.н., професор, к.д.п. Ворохобін І.І. та завідувач кафедри морських перевезень д.е.н., професор Ніколаєва Л.Л. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Конона В.В. на здобуття ступеню «доктор філософії» впроваджені в освітній процес другого магістерського рівня підготовки у якості складової частини, тема «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів для забезпечення безпеки морських перевезень» також використовується у навчальному процесі кафедри, в курсі лекцій по дисципліні «Технологія перевезення вантажів.

Начальник навчального
відділу

Микола ПАРХОМЕНКО

Директор навчально-наукового
інституту навігації,
д.т.н., професор

Ігор ВОРОХОБІН

Завідувач кафедри
морських перевезень,
д.е.н., професор

Людмила НІКОЛАЄВА

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
Конона Владислава Валентиновича
на тему: «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів
для забезпечення безпеки морських перевезень» в Інституті післядипломної
освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу», НУОМА

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційного дослідження Конона Владислава Валентиновича на здобуття ступеня доктора філософії, за темою: «Удосконалення процесу моніторингу стану контейнерних вантажів для забезпечення безпеки морських перевезень», були впроваджені у навчальний процес для судноводіїв курсів підвищення кваліфікації в Інституті післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія» у вигляді моделі системи оцінки і автоматизованого безперервного спостереження температурного стану контейнерних вантажів й відповідної ідентифікації джерела займання при їх перевезенні морем із залученням термографічних пристроїв.

Директор
Інституту післядипломної освіти
«Центр підготовки та атестації плавскладу»



« 25 » 10 2023 р.

Віталій Пономаренко

ДОДАТОК Д

Фрагмент лістингу середовища для імітаційного моделювання

```

using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class ThermalPlate : MonoBehaviour
{
    public float temperature0 = SourceContainer.tempSetting;
    public float temperature;

    private readonly float colorStep = 100f;
    private float _tempStep;
    private float _colorStep;
    private float tempExcessive;
    public float _currentTemp;

    private bool heating, cooling;

    private enum ColorGrade { blue, violet, yellow, orange, red };
    private ColorGrade _color;

    private int[] division;

    private Color myColor;
    private float r, g, b, a;
    private Renderer myRenderer;

    [SerializeField] private GameObject thermalMedium;
    private GameObject clone;
    private ThermalMedium component;

    private bool toLeft, toRight, toUp, toDown, toInside;
    private bool isSourceContainer;

```

```

private enum ContainerSide { left = 1, right, bottom, top, front, rear };
private ContainerSide contSide;
private RaycastHit hitLeft, hitRight, hitTop, hitBottom, hitBack, hitForward;
private GameObject segment, side;
private SourceContainer source;
private Vector3 rotation, aroundX, aroundY, @null;
public Action<float> OnRayCastfromPlateAction, OnRayCastfromSourceAction,
OnRayCastfromMediumAction, OnRayCastfromOutsideAction;

void Awake()
{
    Initialize();
}

void Update()
{
    if (SourceContainer.switcher)
    {
        RayCast();
    }
}

public bool debug = false;

void FixedUpdate()
{
    if (SourceContainer.switcher)
    {
        OnTemperatureChange();
    }
    if (debug)
        Debug.Log(_currentTemp);
}

```

```

void Initialize() // initializing variables
{
    _currentTemp = temperature0;
    division = new int[] { 50, 100, 150, 200, 250 }; // grade for color
    heating = false; cooling = false;

    myRenderer = this.GetComponent<Renderer>();
    r = 0f; g = 0f; b = 0f; a = 0.85f;
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;

    segment = this.transform.parent.gameObject;
    side = segment.transform.parent.gameObject;
    source = side.transform.parent.gameObject.GetComponent<SourceContainer>();
    rotation = side.transform.eulerAngles;
    aroundX = new Vector3(90f, 0f, 0f);
    aroundY = new Vector3(0f, 90f, 0f);
    @null = new Vector3(0f, 0f, 0f);

    toLeft = true; toRight = true; toUp = true; toDown = true; toInside = false;
    isSourceContainer = source.IsSource;

    if (side.transform.localPosition.z < 0 & rotation == @null) contSide =
ContainerSide.left;
    if (side.transform.localPosition.z > 0 & rotation == @null) contSide =
ContainerSide.right;
    if (side.transform.localPosition.y < 0 & rotation == aroundX) contSide =
ContainerSide.bottom;
    if (side.transform.localPosition.y > 0 & rotation == aroundX) contSide =
ContainerSide.top;
    if (side.transform.localPosition.x > 0 & rotation == aroundY) contSide =
ContainerSide.front;
    if (side.transform.localPosition.x < 0 & rotation == aroundY) contSide =
ContainerSide.rear;

```

```

    Debug.Log(contSide);
    if (contSide == ContainerSide.right & !isSourceContainer)
    {
        clone = Instantiate(thermalMedium, this.transform.position + new Vector3(0,
0, -0.15f), Quaternion.identity);
        ChangeLayer();
    }
    if (contSide == ContainerSide.left & !isSourceContainer)
    {
        clone = Instantiate(thermalMedium, this.transform.position + new Vector3(0,
0, 0.15f), Quaternion.identity);
        ChangeLayer();
    }
    if (contSide == ContainerSide.top & !isSourceContainer)
    {
        clone = Instantiate(thermalMedium, this.transform.position + new Vector3(0, -
0.15f, 0f), Quaternion.identity);
        ChangeLayer();
    }
    if (contSide == ContainerSide.bottom & !isSourceContainer)
    {
        clone = Instantiate(thermalMedium, this.transform.position + new Vector3(0,
0.15f, 0f), Quaternion.identity);
        ChangeLayer();
    }

    InitializeRays();
    OnRayCastfromPlateAction += OnRayCastfromPlate;
    OnRayCastfromSourceAction += OnRayCastfromSource;
    OnRayCastfromOutsideAction += OnRayCastfromOutside;
    OnRayCastfromMediumAction += OnRayCastfromMedium;
}
void InitializeRays()
{

```

```

float rayDistance = 2f;
if (rotation == @null)
{
    if (toDown)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.down, out hitBottom,
rayDistance);
    }
    if (toUp)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.up, out hitTop, rayDistance);
    }
    if (toLeft)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.left, out hitLeft, rayDistance);
    }
    if (toRight)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.right, out hitRight,
rayDistance);
    }
    if (contSide == ContainerSide.left)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.back, out hitBack,
rayDistance);
        if (!isSourceContainer)
        {
            Physics.Raycast(transform.position, Vector3.forward, out hitForward,
rayDistance);
        }
    }
    if (contSide == ContainerSide.right)
    {

```

```

        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.forward, out hitForward,
rayDistance);
        if (!isSourceContainer)
        {
            Physics.Raycast(transform.position, Vector3.back, out hitBack,
rayDistance);
        }
    }
}
if (rotation == aroundX)
{
    if (toDown)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.back, out hitBack,
rayDistance);
    }
    if (toUp)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.forward, out hitForward,
rayDistance);
    }
    if (toLeft)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.left, out hitLeft, rayDistance);
    }
    if (toRight)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.right, out hitRight,
rayDistance);
    }
    if (contSide == ContainerSide.bottom)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.down, out hitBottom,
rayDistance);
    }
}

```

```

        if (!isSourceContainer)
        {
            Physics.Raycast(transform.position, Vector3.up, out hitTop,
rayDistance);
        }
    }
    if (contSide == ContainerSide.top)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.up, out hitTop, rayDistance);
        if (!isSourceContainer)
        {
            Physics.Raycast(transform.position, Vector3.down, out hitBottom,
rayDistance);
        }
    }
}

if (rotation == aroundY)
{
    if (toDown)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.down, out hitBottom,
rayDistance);
    }
    if (toUp)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.up, out hitTop, rayDistance);
    }
    if (toLeft)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.back, out hitBack,
rayDistance);
    }
    if (toRight)

```



```

    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.forward, out hitForward,
rayDistance);
    }
    if (contSide == ContainerSide.front)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.right, out hitRight,
rayDistance);
    }
    if (contSide == ContainerSide.rear)
    {
        Physics.Raycast(transform.position, Vector3.left, out hitLeft, rayDistance);
    }
}
}

```

```

public void ChangeLayer()
{
    component = clone.GetComponent<ThermalMedium>();

    if (contSide == ContainerSide.right & !isSourceContainer)
    {
        clone.layer = 8;
        component._layerName = "TMLeft";
    }
    if (contSide == ContainerSide.left & !isSourceContainer)
    {
        clone.layer = 7;
        component._layerName = "TMRight";
    }
    if (contSide == ContainerSide.top & !isSourceContainer)
    {
        clone.layer = 9;
    }
}

```

```

        component._layerName = "TMDown";
    }
    if (contSide == ContainerSide.bottom & !isSourceContainer)
    {
        clone.layer = 10;
        component._layerName = "TMUp";
    }

}

#region RayCasting
void RayCast()
{
    SurfaceRayCasting();
    ExternalRayCasting();
    if (!isSourceContainer)
    {
        if (toInside)
        {
            InternalRayCasting();
        }
    }
}

#region ForVer.1.0
/*if (isSourceContainer)
{
    /*if (isHeatExchange | exchangeCheck)
    {
        SurfaceRayCasting();
        ExternalRayCasting();
    }
}*/
#endregion

```

```

}

void SurfaceRayCasting()
{
    if (rotation == @null)
    {
        if (toDown)
        {
            if (hitBottom.collider != null)
            {
                if (hitBottom.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
                {

hitBottom.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromP
late(_currentTemp);

                    //hitBottom.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);

                    //Debug.Log($" {hit.collider.tag} up");
                    Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.down, Color.red);
                }
            }
        }
        if (toUp)
        {
            if (hitTop.collider != null)
            {
                if (hitTop.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
                {

hitTop.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate
(_currentTemp);

                    //hitTop.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);

                    //Debug.Log($" {hit.collider.tag} down");
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.up, Color.red);
    }
}
}
if (toLeft)
{
    if (hitLeft.collider != null)
    {
        if (hitLeft.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
        {
            hitLeft.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate
(_currentTemp);
            //hitLeft.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);
            // Debug.Log($"{hit.collider.tag} left");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.left, Color.red);
        }
    }
}
if (toRight)
{
    if (hitRight.collider != null)
    {
        if (hitRight.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
        {
            hitRight.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate
(_currentTemp);
            //hitRight.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);
            // Debug.Log($"{hit.collider.tag} right");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.right, Color.red);
        }
    }
}

```

```

        }
    }
}

if (rotation == aroundX)
{
    if (toDown)
    {
        if (hitBack.collider != null)
        {
            if (hitBack.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {
                hitBack.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate(_currentTemp);
                //hitBack.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
                _currentTemp);
                //Debug.Log($" {hit.collider.tag} up");
                Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.back, Color.red);
            }
        }
    }
    if (toUp)
    {
        if (hitForward.collider != null)
        {
            if (hitForward.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {
                hitForward.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate(_currentTemp);
                //hitForward.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
                _currentTemp);
                //Debug.Log($" {hit.collider.tag} down");
            }
        }
    }
}

```

```

        Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.forward, Color.red);
    }
}
}
if (toLeft)
{
    if (hitLeft.collider != null)
    {
        if (hitLeft.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
        {
            hitLeft.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate
(_currentTemp);
            //hitLeft.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);
            // Debug.Log($"{hit.collider.tag} left");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.left, Color.red);
        }
    }
}
if (toRight)
{
    if (hitRight.collider != null)
    {
        if (hitRight.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
        {
            hitRight.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate
(_currentTemp);
            //hitRight.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);
            //Debug.Log($"{hit.collider.tag} right");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.right, Color.red);
        }
    }
}

```

```

    }
}

if (rotation == aroundY)
{
    if (toDown)
    {
        if (hitBottom.collider != null)
        {
            if (hitBottom.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {
hitBottom.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromP
late(_currentTemp);
                //hitBottom.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);
                //Debug.Log($" {hit.collider.tag} up");
                Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.down, Color.red);
            }
        }
    }
    if (toUp)
    {
        if (hitTop.collider != null)
        {
            if (hitTop.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {
hitTop.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate
(_currentTemp);
                //hitTop.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
_currentTemp);
                //Debug.Log($" {hit.collider.tag} down");
            }
        }
    }
}

```

```

        Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.up, Color.red);
    }
}
}
if (toLeft)
{
    if (hitBack.collider != null)
    {
        if (hitBack.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
        {
            hitBack.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate(_currentTemp);
            //hitBack.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
            _currentTemp);
            // Debug.Log($"{hit.collider.tag} left");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.back, Color.red);
        }
    }
}
if (toRight)
{
    if (hitForward.collider != null)
    {
        if (hitForward.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
        {
            hitForward.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromPlate(_currentTemp);
            //hitForward.collider.SendMessage("OnRayCastfromPlate",
            _currentTemp);
            // Debug.Log($"{hit.collider.tag} right");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.forward, Color.red);
        }
    }
}

```



```

        }
    }
}

void InternalRayCasting()
{
    if (rotation == @null)
    {
        if (contSide == ContainerSide.left)
        {
            if (hitForward.collider.CompareTag("ThermalMedium"))
            {
                hitForward.transform.gameObject.GetComponent<ThermalMedium>().OnRayCastto
                Medium(_currentTemp);
                //hitForward.collider.SendMessage("OnRayCasttoMedium",
                _currentTemp);
                //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
                Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.forward, Color.red);
            }
        }

        if (contSide == ContainerSide.right)
        {
            if (hitBack.collider.CompareTag("ThermalMedium"))
            {
                hitBack.transform.gameObject.GetComponent<ThermalMedium>().OnRayCasttoMe
                dium(_currentTemp);
                //hitBack.collider.SendMessage("OnRayCasttoMedium", _currentTemp);
                //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
                Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.back, Color.red);
            }
        }
    }
}

```

```

    }
}

if (rotation == aroundX)
{
    if (contSide == ContainerSide.bottom)
    {
        if (hitTop.collider.CompareTag("ThermalMedium"))
        {
            hitTop.transform.gameObject.GetComponent<ThermalMedium>().OnRayCasttoMedium(_currentTemp);
            //hitTop.collider.SendMessage("OnRayCasttoMedium", _currentTemp);
            //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.up, Color.red);
        }
    }

    if (contSide == ContainerSide.top)
    {
        if (hitBottom.collider.CompareTag("ThermalMedium"))
        {
            hitBottom.transform.gameObject.GetComponent<ThermalMedium>().OnRayCasttoMedium(_currentTemp);
            //hitBottom.collider.SendMessage("OnRayCasttoMedium",
            _currentTemp);
            //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
            Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.down, Color.red);
        }
    }
}
}

```

```

void ExternalRayCasting()
{
    if (rotation == @null)
    {
        if (contSide == ContainerSide.left)
        {
            if (hitBack.collider != null)
            {
                if (hitBack.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
                {

hitBack.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromOut
side(_currentTemp);

                    //hitBack.collider.SendMessage("OnRayCastfromOutside",
_currentTemp);

                    //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
                    Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.back, Color.red);
                }
            }
        }
        if (contSide == ContainerSide.right)
        {
            if (hitForward.collider != null)
            {
                if (hitForward.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
                {

hitForward.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfrom
Outside(_currentTemp);

                    //hitForward.collider.SendMessage("OnRayCastfromOutside",
_currentTemp);

                    //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
                    Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.forward, Color.red);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        }
    }
}

if (rotation == aroundX)
{
    if (contSide == ContainerSide.bottom)
    {
        if (hitBottom.collider != null)
        {
            if (hitBottom.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {

hitBottom.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromO
utside(_currentTemp);

                //hitBottom.collider.SendMessage("OnRayCastfromOutside",
_currentTemp);

                //Debug.Log($" {hit.collider.tag} up");
                Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.down, Color.red);
            }
        }
    }
    if (contSide == ContainerSide.top)
    {
        if (hitTop.collider != null)
        {
            if (hitTop.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {

hitTop.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromOutsi
de(_currentTemp);

                //hitTop.collider.SendMessage("OnRayCastfromOutside",
_currentTemp);

                //Debug.Log($" {hit.collider.tag} up");

```

```

        Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.up, Color.red);
    }
}
}

if (rotation == aroundY)
{
    if (contSide == ContainerSide.front)
    {
        if (hitRight.collider != null)
        {
            if (hitRight.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {

hitRight.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromOut
side(_currentTemp);

                //hitRight.collider.SendMessage("OnRayCastfromOutside",
_currentTemp);

                //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
                Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.right, Color.red);
            }
        }
    }
    if (contSide == ContainerSide.rear)
    {
        if (hitLeft.collider != null)
        {
            if (hitLeft.collider.CompareTag("ThermalPlate"))
            {

hitLeft.transform.gameObject.GetComponent<ThermalPlate>().OnRayCastfromOuts
ide(_currentTemp);

```

```

        //hitLeft.collider.SendMessage("OnRayCastfromOutside",
_currentTemp);
        //Debug.Log($"{hit.collider.tag} up");
        Debug.DrawRay(transform.position, Vector3.left, Color.red);
    }
}
}
}
}
}
#endregion

```

```

public void OnRayCastfromSource(float temp)
{
    temperature = temp;
}

```

```

public void OnRayCastfromPlate(float temp)
{
    if (temperature < temp & Fireball.Heating)
    {
        Fireball.Cooling = false;
        temperature = temp;
    }
    if (temperature > temp & Fireball.Cooling)
    {
        Fireball.Heating = false;
        temperature = temp;
    }
}

```

```

public void OnRayCastfromOutside(float temp)
{
    toInside = true;
}

```

```

    if (temperature < temp & Fireball.Heating)
    {
        Fireball.Cooling = false;
        temperature = temp;
    }
    if (temperature > temp & Fireball.Cooling)
    {
        Fireball.Heating = false;
        temperature = temp;
    }
}

public void OnRayCastfromMedium(float temp)
{
    if (temperature < temp & Fireball.Heating)
    {
        Fireball.Cooling = false;
        temperature = temp;
    }
    if (temperature > temp & Fireball.Cooling)
    {
        Fireball.Heating = false;
        temperature = temp;
    }
}

void OnTemperatureChange()
{
    if (_currentTemp < temperature)
    {
        if (cooling) // stop cooling if cooling
        {
            cooling = false;

```

```

        temperature0 = temperature;
        _currentTemp = temperature;
    }
    heating = true;
    ThermalSpectrumHot();
    ColorHeater();
}

if (_currentTemp >= temperature && heating)
{
    //Debug.Log("Stop Heating");
    temperature0 = temperature;
    _currentTemp = temperature;
    //Debug.Log(_currentTemp);
    //Debug.Log(temperature0);
    heating = false;
}

if (_currentTemp > temperature)
{
    if (heating) // stop heating if heating
    {
        heating = false;
        temperature0 = temperature;
        _currentTemp = temperature;
    }
    cooling = true;
    ThermalSpectrumCold();
    ColorCooler();
}

if (_currentTemp <= temperature && cooling)
{
    //Debug.Log("Stop Cooling");
    temperature0 = temperature;

```



```

    _currentTemp = temperature;
    //Debug.Log(_currentTemp);
    //Debug.Log(temperature0);
    cooling = false;
}
}
void ThermalSpectrumHot()
{
    if (_currentTemp < division[0])
    {
        _color = ColorGrade.blue;
    }

    if (_currentTemp >= division[0] && _currentTemp < division[1])
    {
        if (b >= 0.8f || _color == ColorGrade.violet)
        {
            _color = ColorGrade.violet;
        }
        else
        {
            _currentTemp -= _tempStep;
        }
    }

    if (_currentTemp >= division[1] && _currentTemp < division[2])
    {
        if (r >= 0.4f || _color == ColorGrade.yellow)
        {
            _color = ColorGrade.yellow;
        }
        else
        {

```

```

        _currentTemp -= _tempStep;
    }
}

if (_currentTemp >= division[2] && _currentTemp < division[3])
{
    if (r >= 0.9f && g >= 1f && b <= 0f || _color == ColorGrade.orange)
    {
        //Debug.Log($"{r}, {g}, {b}");
        _color = ColorGrade.orange;
        //Debug.Log("orange");
    }
    else
    {
        _currentTemp -= _tempStep;
    }
}

if (_currentTemp >= division[3])
{
    //Debug.Log("TempToRed");
    if (g <= 0.4f || _color == ColorGrade.red)
    {
        //Debug.Log($"{r}, {g}, {b}");
        _color = ColorGrade.red;
        //Debug.Log("red");
    }
    else
    {
        _currentTemp -= _tempStep;
    }
}
}

```

```

void ColorHeater()
{
    tempExcessive = temperature - temperature0;
    _tempStep = tempExcessive / colorStep;
    _currentTemp += _tempStep;
    _colorStep = colorStep / (5f * _tempStep);
    if (_color == ColorGrade.blue)
    {
        // _colorStep = division[0] + 10; // shall be dependable on gradient, if scale is
relative to scene temperatures
        b += (0.8f / _colorStep);
        if (b > 0.8f) b = 0.8f;
        myColor = new Color(r, g, b, a);
        myRenderer.material.color = myColor;
    }
    if (_color == ColorGrade.violet)
    {
        // _colorStep = division[1] - division[0]; // shall be dependable on gradient, if
scale is relative to scene temperatures
        r += (0.4f / _colorStep);
        if (r > 0.4f) r = 0.4f;
        myColor = new Color(r, g, b, a);
        myRenderer.material.color = myColor;
        //Debug.Log(_colorTemp);
    }
    if (_color == ColorGrade.yellow)
    {
        r += (0.5f / _colorStep);
        g += (1f / _colorStep);
        b -= (0.7f / _colorStep);
        if (r > 0.9f) r = 0.9f;
        if (g > 1f) g = 1f;
    }
}

```

```

    if (b < 0f) b = 0f;
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
}

if (_color == ColorGrade.orange)
{
    g -= (0.6f / _colorStep);
    if (g < 0.4f) g = 0.4f;
    //Debug.Log(g);
    //Debug.Log(_currentTemp);
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
}

if (_color == ColorGrade.red)
{
    g -= (0.4f / _colorStep);
    if (g < 0f) g = 0f;
    //Debug.Log(_currentTemp);
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
}

}

void ThermalSpectrumCold()
{
    if (_currentTemp < division[0])
    {
        if (r <= 0f || _color == ColorGrade.blue)
        {
            _color = ColorGrade.blue;
        }
    }
    else

```

```

    {
        _currentTemp += _tempStep;
    }
}

if (_currentTemp >= division[0] && _currentTemp < division[1])
{
    if (r <= 0.4f && g <= 0f && b >= 0.8f || _color == ColorGrade.violet)
    {
        _color = ColorGrade.violet;
    }
    else
    {
        _currentTemp += _tempStep;
    }
}

if (_currentTemp >= division[1] && _currentTemp < division[2])
{
    if (g >= 1.0f || _color == ColorGrade.yellow)
    {
        _color = ColorGrade.yellow;
    }
    else
    {
        _currentTemp += _tempStep;
    }
}

if (_currentTemp >= division[2] && _currentTemp < division[3])
{
    if (g >= 0.4f || _color == ColorGrade.orange)

```

```

    {
        _color = ColorGrade.orange;
    }
    else
    {
        _currentTemp += _tempStep;
    }
}
if (_currentTemp >= division[3])
{
    _color = ColorGrade.red;
}

}

void ColorCooler()
{
    tempExcessive = temperature0 - temperature;
    _tempStep = tempExcessive / colorStep;

    _currentTemp -= _tempStep;
    _colorStep = colorStep / 5f;
    if (_color == ColorGrade.red)
    {
        g += (0.4f / _colorStep);
        if (g > 0.4f) g = 0.4f;
        myColor = new Color(r, g, b, a);
        myRenderer.material.color = myColor;
    }
    if (_color == ColorGrade.orange)
    {
        g += (0.6f / _colorStep);
        if (g > 1f) g = 1f;
    }
}

```

```

    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
}
if (_color == ColorGrade.yellow)
{
    r -= (0.5f / _colorStep);
    g -= (1f / _colorStep);
    b += (0.8f / _colorStep);
    if (r < 0.4f) r = 0.4f;
    if (g < 0f) g = 0f;
    if (b > 0.8f) b = 0.8f;
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
}
if (_color == ColorGrade.violet)
{
    r -= (0.4f / _colorStep);
    if (r < 0f) r = 0f;
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
    //Debug.Log(_colorTemp);
}
if (_color == ColorGrade.blue)
{
    b -= (0.8f / _colorStep);
    if (b < 0f) b = 0f;
    myColor = new Color(r, g, b, a);
    myRenderer.material.color = myColor;
}
}

```

ДОДАТОК Е

Патент на корисну модель



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 153965

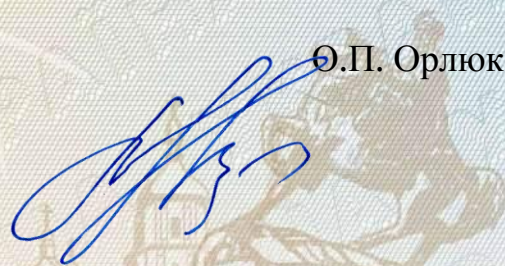
СУДНОВА СИСТЕМА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ І ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей
27.09.2023.

Директор
Державної організації «Український
національний офіс інтелектуальної
власності та інновацій»

О.П. Орлюк





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **153965** (13) **U**
 (51) МПК (2023.01)
G08B 17/12 (2006.01)
B63B 25/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2022 04770	(72) Винахідник(и): Конон Владислав Валентинович (UA), Савчук Віктор Дмитрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 08.12.2022	(73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ", вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029 (UA), Конон Владислав Валентинович, проспект Миру, 30, кв. 1, м. Черноморськ, Одеська обл., 68003 (UA), Савчук Віктор Дмитрович, вул. Академіка Корольова, 81/5, кв. 5, м. Одеса, 65122 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 28.09.2023	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 27.09.2023, Бюл.№ 39	

(54) СУДНОВА СИСТЕМА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ І ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ КОНТЕЙНЕРНИХ ВАНТАЖІВ

(57) Реферат:

Суднова система пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів складається з: блока теплових камер (тепловізорів) із модулями в інфрачервоному і видимому спектрах, розташованих з урахуванням наявності "сліпих зон" у полі зору тепловізорів, згідно з особливостями суднової конфігурації і поєднаних в локальну мережу; сервера (комп'ютера); відповідного ПЗ (програмного забезпечення) і засобів сповіщення оператора (монітор, динаміки). Система базується на алгоритмах обробки зображень для ідентифікації контейнерів на отриманих з тепловізорів зображеннях, на зіставленні відповідних температурних даних термальних зображень з ідентифікованими об'єктами і визначенні позицій контейнера-джерела займання та його температури. Система включає можливість програмного врахування/неврахування (за попереднім налаштуванням) "сліпих зон" в полі зору тепловізорів, включає можливість одночасного використання тепловізорів різних виробників.

UA 153965 U

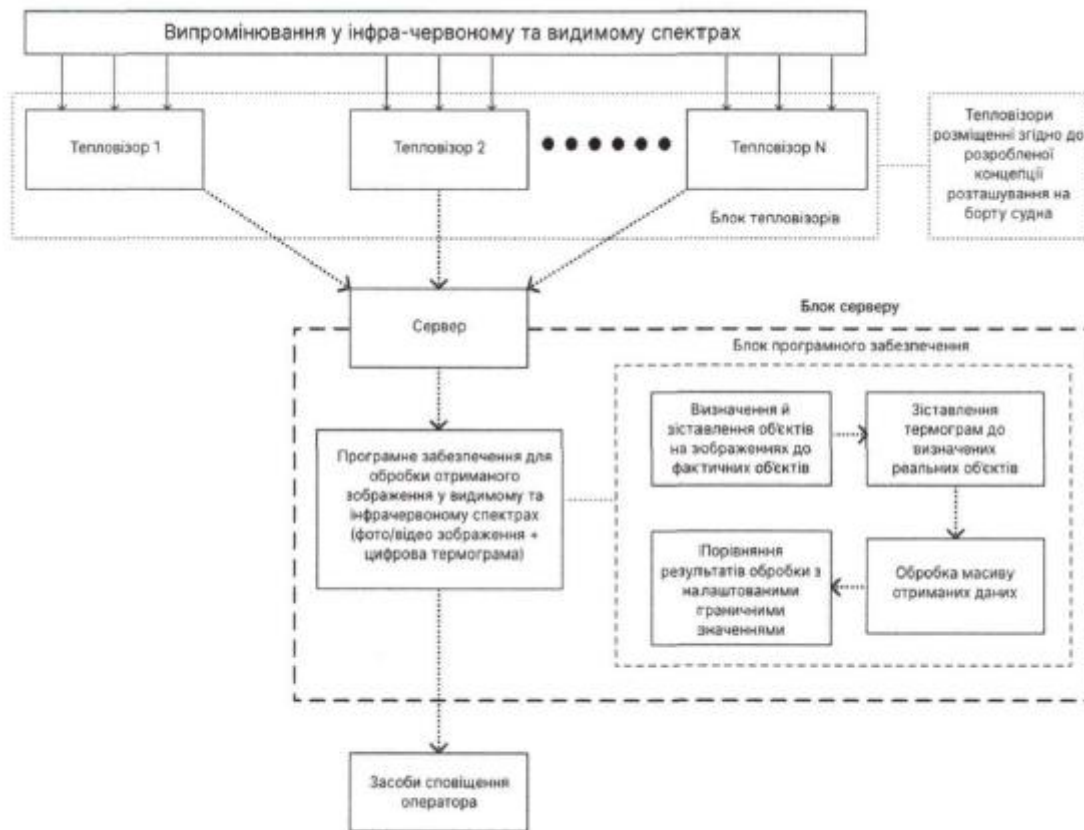


Fig. 1

Корисна модель належить до пожежної сигналізації, та базується на використанні термографічних даних, отриманих з теплових камер.

Зростання попиту на контейнерні перевезення в останні роки призвело до поповнення світового контейнерного флоту надвеликими контейнеровозами (ULCS). Однак, незважаючи на збільшені розміри, комерційні проблеми, такі як зменшення кількості екіпажів на борту, часто переважають над питаннями безпеки, що підтверджено практикою. Іншими словами, кількість екіпажу контейнеровоза місткістю 3000 TEU може дуже незначно відрізнятися від кількості членів екіпажу на судні місткістю 14 000 або більше TEU. Таким чином, такий підхід судових компаній у сукупності з рядом іншими факторів призводить, наприклад, до зростання навантаження на судові екіпажі, що провокує підвищення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема, посилення шкідливого впливу людського фактору. Крім того, високий рівень навантаження поширюється на всі сфери діяльності екіпажу: від обслуговування судна, його обладнання та механізмів до контролю за безпекою транспортного процесу, а саме моніторингу стану вантажу. Особлива увага в цьому аспекті приділяється спеціальним вантажам, таким як рефрижераторні або небезпечні вантажі. Перевезення небезпечних вантажів несе в собі невід'ємні ризики, які можуть призвести до надзвичайних ситуацій серйозного характеру, що ставить під загрозу не лише саме судно та вантажі, які перевозяться, але, що більш важливо, життя людей. Відповідно до [1] 58 % із 36 сприяючих факторів у дванадцяти повідомленнях, пов'язаних із випадками пожежі/вибуху, стосуються дій на борту під час реагування на надзвичайні ситуації, а також неправильно заявленої або відсутньої інформації щодо небезпечних вантажів. Базуючись на думці, що гасіння пожежі є більш ефективним на ранніх стадіях розвитку надзвичайної ситуації, можна дійти до висновку, що методи та/або принципи раннього виявлення повинні бути залучені та удосконалені, де це можливо.

З точки зору застосування пожежних систем у контексті судового обладнання та/або використання термографічних приладів чи методів оцінки ситуації в контексті виявлення пожежі відомі наступні концепції: див. патент на корисну модель UA151592U, опублікований 17.08.2022; патент KR102235875B1, опублікований 05.04.2021; патент JP2002269651A, опублікований 20.09.2002; патент KR100901784B1, опублікований 11.06.2009; патент WO2018190478A1, опублікований 18.10.2018; патент KR101148799B1, опублікований 24.05.2021.

Модель (1), описана в UA151592U, являє собою систему контролю температури небезпечних навалочних вантажів в трюмі судна та складається з основного блока з датчиками температури, пов'язаного з блоком збору і обробки первинної інформації, котрий, в свою чергу, зв'язаний з комп'ютером з програмним забезпеченням для визначення температури в штабелі і її зміни під час перевезення вантажу. Основний блок містить чотири датчики температури, розміщені по кутах трюму судна з навалочним вантажем, кожен з яких оснащений системою дистанційної передачі даних, блоком розрахунку температурного поля, об'єднаних з блоком даних про розмір трюму та обчислювальним блоком, що, в свою чергу, зв'язаний з блоком зберігання даних та блоком аналізу і оцінки похибки вимірювання, блоком даних про швидкість поширення зміни поля температури в штабелі навалочного вантажу в трюмі, дисплеєм та блоком вантажної програми судна.

Модель (2), описана в KR102235875B1, являє собою систему виявлення пожежі на судні, що містить сенсори для виявлення тепла, диму і витоку електроенергії. Коли два або більше значень, визначених кожним датчиком, є такими, що перевищують контрольне значення і не є нормальними в рамках налаштування системи - така ситуація визначається як "пожежа". Для досягнення вищезазначеної мети система містить не тільки датчики температури та диму, а також датчик витоку на землю, на випадок несправності електропроводки, і модуль виявлення морської погоди, налаштований на визначення концентрації туману. Описана система складається з: модуля перетворення, який отримує аналогові дані з відповідних датчиків, перетворює їх до цифрового вигляду; блока визначення пожежі, що містить модуль визначення та передачі даних; блока оповіщення про пожежу, який отримує інформацію про факт виникнення пожежі та її місце знаходження від блока визначення, подає тривогу у разі необхідності та повідомляє про місце займання; та блока керування, включаючи модуль керування пристроєм пожежогасіння, які отримують інформацію про пожежу, розраховану блоком визначення.

Модель (3), описана в JP2002269651A, являє собою систему забезпечення виявлення пожежі на судні, що виникає в просторі всередині машинного відділення, де розміщено критичне обладнання, пр. двигун, генератори, тощо, і визначення місця займання. В розробленій моделі простір у машинному відділенні судна розділено на секції. У кожній секції розташовуються датчики, і кожна частина датчика може окремо виявляти пожежу, що виникає в кожній із заданих секцій. Кожний такий пожежний датчик складається з декількох суб-датчиків, а саме містить:

ультрафіолетовий сенсор, який видає сигнал про пожежу за допомогою ультрафіолетових променів, які прямо або опосередковано падають на нього від полум'я вогню, та інфрачервоний сенсор, який видає сигнал про пожежу, відповідно до інфрачервоного випромінювання. Сигнали пожежного датчика надходять на панель керування пожежного монітора. Пульт керування пожежного монітора вирішує за отриманими до нього сигналами чи має місце займання, та визначає його ділянку у випадку пожежі.

Модель (4), описана в KR100901784B1, являє собою систему та спосіб виявлення місця пожежі за допомогою лазерного далекоміра. Інфрачервона камера, що також є складовим елементом системи, фотографує зображення в інфрачервоних променях. ПЗЗ-камера (прилад із зарядовим зв'язком) також генерує відповідні зображення. Модуль-контролер визначає стан виникнення пожежі шляхом аналізу переданого інфрачервоного зображення та аналізу зону пожежі через ПЗЗ-камеру відповідно до стану займання. Після цього, використовуючи значення координати положення установки інфрачервоної камери, значення відстані, отримане від лазерного далекоміру і значення кута фотографування, отримане від інфрачервоної камери, контролер визначає відстань до полум'я і інші параметри пожежі та виводить зображення інфрачервоної камери або ПЗЗ-камери на термінал диспетчерської, керує сигналізацією. Блок сигналізації видає звуковий сигнал або повідомлення тривоги відповідно до сигналів з контролера.

Модель (5), описана в WO2018190478A1, являє собою інтелектуальний пристрій виявлення полум'я та метод з використанням інфрачервоної термографії, здатний підвищити точність пожежної тривоги. Складові частини зазначеної моделі: інтелектуальний детектор полум'я, датчик виявлення полум'я, інфрачервона термографічна камера, модуль керування, блок прийому сигналу виявлення полум'я, блок обробки зображень, блок оцінки пожежі, блок виходу сигналу тривоги, модуль зв'язку. В даній моделі інфрачервона термографічна камера та інфрачервона термографія поєднані із датчиком виявлення полум'я, щоб забезпечити точне розпізнавання сигналу пожежі. Це дозволяє оцінити отриманий від датчика виявлення полум'я сигнал: чи є він хибним, чи коректним.

Модель (6), описана в KR101148799B1, являє собою пожежний сповіщувач, а також метод, що виявляють пожежу за інфрачервоним тепловим зображенням, передбачені для точного визначення займання шляхом порівняння значення температури полум'я пожежі, що зберігається в пам'яті, та виявленого значення температури. Пожежний сповіщувач, який виявляє пожежу за інфрачервоним тепловим зображенням, складається з камери, пам'яті, контролера і сигналізації. Камера як модуль складена із суб-частин: одна частина заявленого модуля включає інфрачервону камеру, яка записує область моніторингу пожежі в інфрачервоному зображенні. Інша частина камери передає записане інфрачервоне зображення на контролер. Інфрачервоне зображення, яке передається від суб-модуля камери, керуючись контролером, зберігається у модулі пам'яті. У пам'яті сповіщувача зберігається визначена кількість шаблонів полум'я та значення його температур в залежності від виду пожежі. Контролер витягує значення температури з інфрачервоного зображення, яке передається від камери. Після цього, контролер виявляє пожежу шляхом порівняння значення температури полум'я, що зберігається в пам'яті, з отриманим значенням температури. Модуль тривоги видає звуковий сигнал або повідомлення відповідно до сигналу з контролера.

Слід зазначити, що жодна з наведених моделей (1-6):

- не реалізує пожежний контроль за контейнерним вантажем морського судна;
- не охоплює розміщення тепловізорів таким чином, щоб забезпечити пожежний контроль за контейнерним вантажем морського судна;
- не визначає температуру та позицію вантажного контейнера, що містить джерело займання;
- не враховує наявність "сліпих зон" у полі зору тепловізорів при їх розміщенні в залежності від суднових конструкцій.

В основу корисної моделі поставлено задачу покращення існуючих суднових систем зосереджена на стаціонарних суднових системах пожежної безпеки та температурного контролю за контейнерним вантажем, їх вдосконаленні, шляхом імплементації методів візуального та термографічного контролю стану контейнерних вантажів при їх перевезенні морем, для ефективного та раннього реагування на розвиток небезпечних ситуацій та/або повного їх запобігання.

Поставлена задача вирішується в судновій системі пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів, складається з: блока теплових камер (тепловізорів) із модулями в інфрачервоному і видимому спектрах, розташованих з урахуванням наявності "сліпих зон" у полі зору тепловізорів, згідно з особливостями суднової конфігурації, і поєднаних в локальну мережу; сервера (комп'ютера); відповідного ПЗ

(програмного забезпечення) і засобів сповіщення оператора (монітор, динаміки), базується на алгоритмах обробки зображень для ідентифікації контейнерів на отриманих з тепловізорів зображеннях, на зіставленні відповідних температурних даних термальних зображень з ідентифікованими об'єктами і визначенні позицій контейнера-джерела займання та його температури; включає можливість програмного врахування/неврахування (за попереднім налаштуванням) "сліпих зон" в полі зору тепловізорів, включає можливість одночасного використання тепловізорів різних виробників.

Система передбачає можливість підключення тепловізорів до сервера як дротовим, так і бездротовим шляхом (WiFi) в локальну мережу, дозволяє контролювати температуру контейнерів під час проведення завантаження судна та протягом усього рейсу.

Суднова система пояснюється кресленнями.

На фіг. 1 наведена загальна схема моделі системи пожежного контролю з використанням тепловізорів;

на фіг. 2 наведене схематичне зображення розташування тепловізора відносно контейнерного вантажу (вид зверху);

на фіг. 3 наведене схематичне зображення розміщення тепловізорів у трюмі контейнеровозу;

на фіг. 4 наведена блок-схема алгоритму програмного забезпечення для оцінки виникнення пожежі;

на фіг. 5 наведене зображення контейнерного вантажу у інфрачервоному та видимому спектрах;

на фіг. 6 зображене спливаюче повідомлення про виявлення пожежі, інтегроване, у відповідності до алгоритму наведеного на фіг. 4, до розробленої імітаційної моделі для проведення експерименту.

Тепловізори під'єднані до комп'ютера-сервера дротовим або бездротовим шляхом і передають свої зображення в інфрачервоному та видимому спектрах, які зберігаються в пам'яті комп'ютера-сервера. Далі програмне забезпечення, встановлене на сервері, завантажує їх в оперативну пам'ять для подальшої обробки. Оскільки, розроблена система є стаціонарною і позиція розташування тепловізора відома, відомі також розміри контейнеру та їх кількість у полі зору тепловізора, то реальні контейнери можуть бути ідентифіковані як об'єкти на зображенні і температурні дані, отримані з інфрачервоної складової зображення, можуть бути зіставлені з отриманими ідентифікованими об'єктами. В свою чергу, програмне забезпечення зіставляє максимальну температуру у полі зору даного тепловізора з масивом ідентифікованих об'єктів (контейнерів), створеним на попередньому кроці. Коли дані з усіх доступних тепловізорів будуть оброблені, проводиться перевірка налаштування щодо врахування наявності "сліпих зон" (вантажів, що знаходяться поза полем зору тепловізора). У разі, якщо тепловізори розташовані таким чином, що "сліпі зони" відсутні, чи їх врахування не вважається необхідним з точки зору оператора системи (судноводія), програмне забезпечення створює новий масив об'єктів (котрим відповідають об'єкти з максимальною температурою від усіх тепловізорів з їх відповідними температурами і позиціями та обробляє його з метою визначення максимального значення температури. Якщо отримане значення перевищує відповідне значення в налаштуваннях системи, то така ситуація класифікується як "пожежа". В такому разі, програмне забезпечення передає сигнал на всі наявні засоби сигналізування (монітор та динаміки) і продовжує виконання встановленої задачі, починаючи з етапу завантаження зображень до обробки, доки не отримає команди на завершення роботи. У разі, якщо "сліпі зони" повинні враховуватись в обчисленні, створений масив об'єктів, з їх відповідними температурами і позиціями, використовується для прогнозування вірогідної позиції і температури контейнера-джерела займання. Отриманий результат, як і в попередньому варіанті, порівнюється із значеннями заданими в налаштуваннях системи, а у разі "пожежі" програмне забезпечення передає сигнал на всі наявні засоби сигналізування (монітор та динаміки) та продовжує виконання встановленої задачі, починаючи з етапу завантаження зображень до обробки, доки не отримає команди на завершення роботи. В будь-якому випадку, навіть коли ситуація не класифікується як "пожежа", отримані з тепловізорів зображення в видимому та інфрачервоному спектрах виводяться на монітор оператора системи.

На фіг. 2 схематично зображено розташування тепловізора відносно контейнерного вантажу. Тепловізор розташовується в межах крос-палуби (cross-deck) (3) вантажної зони судна (cargo area) таким чином, щоб усічена піраміда її поля зору (viewing frustum) (2), повернена на кут α , охоплювала заздалегідь визначену кількість контейнерів (1). У випадку розміщення тепловізорів у трюмі судна, схема їх розташування може ускладнюватись через вірогідність виникнення перешкод у полі зору тепловізорів, наприклад, в вигляді переборок. Оскільки в

залежності від проекту судна, їх конфігурація, зокрема вантажних зон, може відрізнятися, питання визначення кількості контейнерів під спостереженням одного тепловізора та загальна їх кількість - питання кожного конкретного випадку. Головна ідея полягає в тому, щоб сумарне поле зору тепловізорів максимально можливо перекривало поверхню контейнерів у площині "ряд - ярус" ("row-tier"), паралельній до площини мідель-шпангоута. Приклад такого розміщення приведений на фіг. 3.

Параметри тепловізорів, що використовувались під час спостережень для експериментів по розробленій моделі зведені до таблиці. Тепловізори різних виробників та з параметрами, що відрізняються від наведених, можуть бути застосовані за умови їх відповідності до цілей встановленої задачі, можливе одночасне використання тепловізорів різних виробників.

Таблиця

Параметри тепловізорів

Термальна роздільна здатність	80 × 60
Роздільна здатність у видимому спектрі	640 × 480
Вертикальне / горизонтальне поля зору	46°±1°/35°±1°
Межі вимірювань	-20 °C-120 °C
Точність	±5 °C
Формат зображення	Термальний (MSX) та візуальний (радіометричний *.jpeg)
Засоби аналізу термальних даних	- пересувні точкові вимірювачі у зображеннях - регіони інтересу для всього зображення - можливість редагувати дані в збережених зображеннях
Кольорові схеми (палітри)	Залізо, Чорно розпечене, Біло розпечене, Веселка, Контраст, Арктика, Лава, Найхолодніший, Найгарячіший

ПЗ в рамках представленої корисної моделі розроблено з використанням методів імітаційного моделювання та засобів і інструментів мови програмування C#, для симулювання і отримання необхідних даних в умовах виникнення пожежі й їх подальшої обробки за розробленим алгоритмом (фіг. 6).

Джерела інформації:

1.European Maritime Safety Agency (EMSA): Annual overview of marine casualties and incidents 2020, Lisbon, 2020.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Суднова система пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів, що складається з: блока теплових камер (тепловізорів) із модулями в інфрачервоному і видимому спектрах, розташованих з урахуванням наявності "сліпих зон" у полі зору тепловізорів, згідно з особливостями суднової конфігурації, і поєднаних в локальну мережу; сервера (комп'ютера); відповідного ПЗ (програмного забезпечення) і засобів сповіщення оператора (монітор, динаміки), базується на алгоритмах обробки зображень для ідентифікації контейнерів, на отриманих з тепловізорів зображеннях, на зіставленні відповідних температурних даних термальних зображень з ідентифікованими об'єктами і визначенні позицій контейнера-джерела займання та його температури, включає можливість програмного врахування/неврахування (за попереднім налаштуванням) "сліпих зон" в полі зору тепловізорів та можливість одночасного використання тепловізорів різних виробників.

2. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що передбачає можливість підключення тепловізорів до сервера як дротовим, так і бездротовим шляхом (WiFi) в локальну мережу, дозволяє контролювати температуру контейнерів під час проведення завантаження судна та протягом усього рейсу.

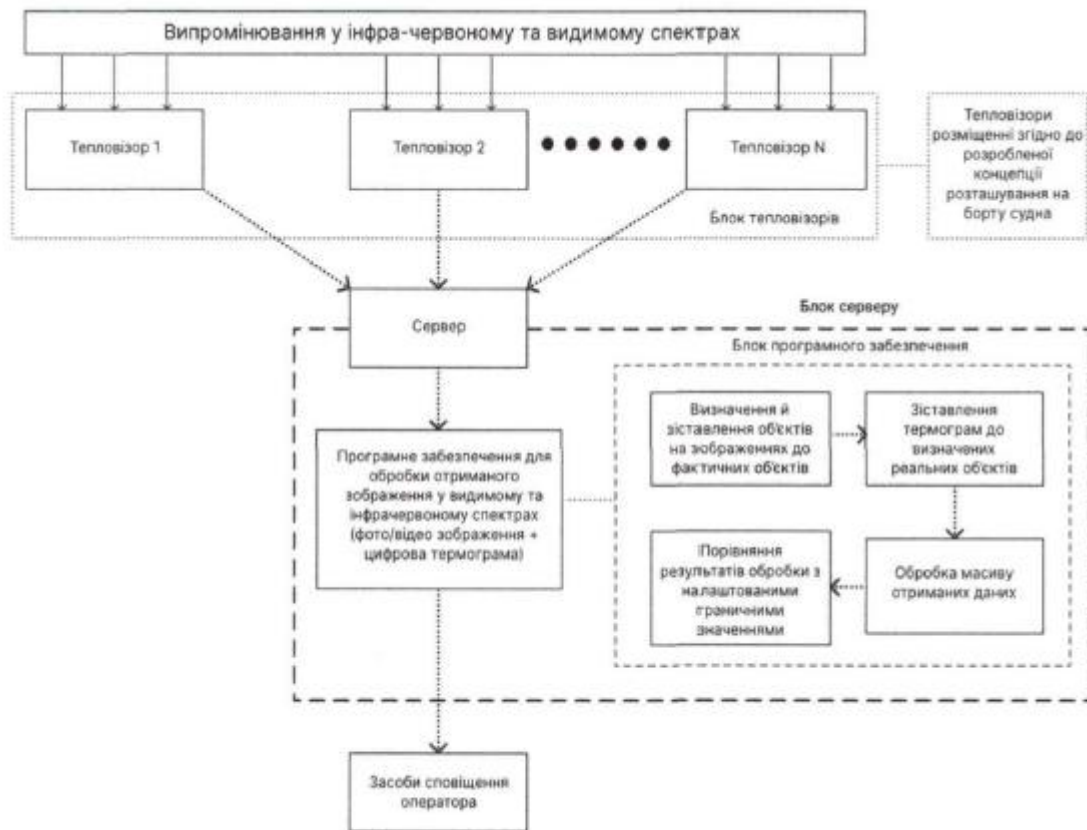


Fig. 1

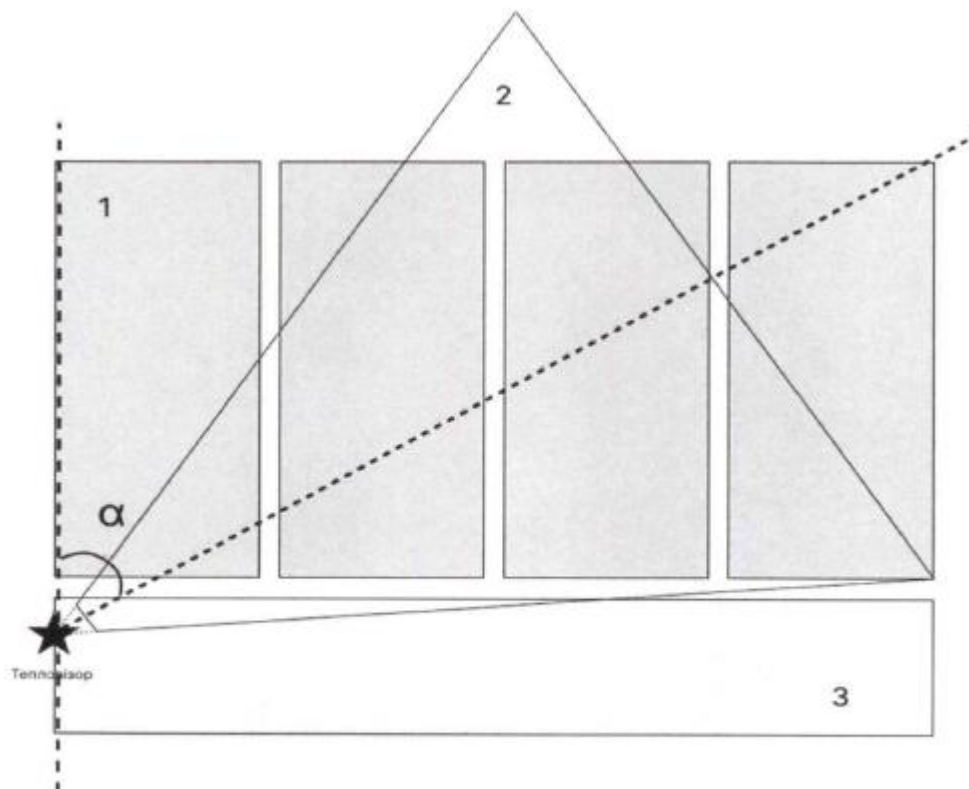
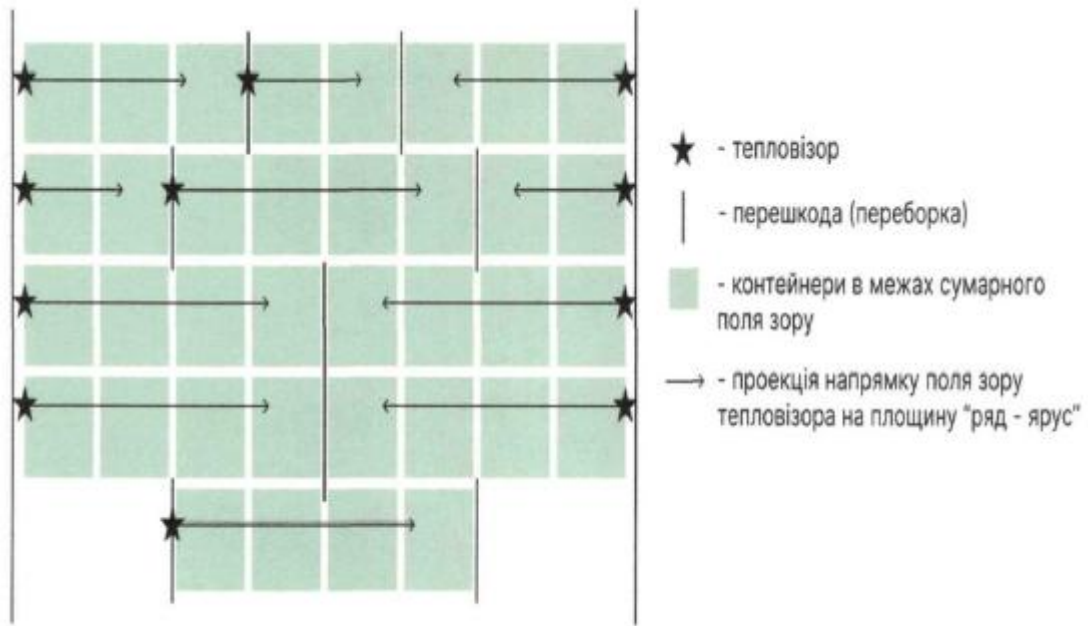
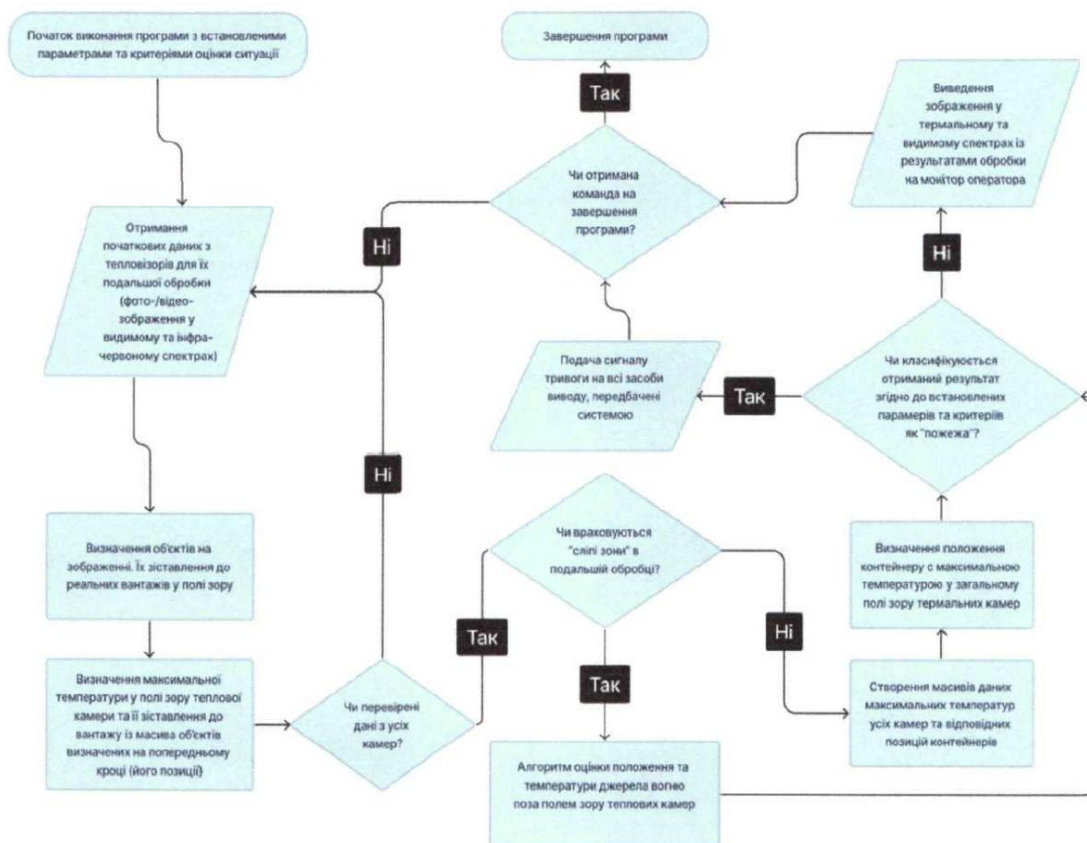


Fig. 2



Фіг. 3



Фіг. 4.



Фиг. 5



Фиг. 6

ДОДАТОК Ж

Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації

Список публікацій здобувача:

1. V. Konon and V. Savchuk, "Infrared thermography in the context of fire safety in container transportation by sea," *Shipping & Navigation*, vol. 33, no. 1, pp. 43–53, Dec. 2022, doi: 10.31653/2306-5761.33.2022.43-53.
2. N. Konon and V. Konon, "Risk analysis of the container fleet in the context of the maritime operations' safety improvement," *Shipping & Navigation*, vol. 34, no. 1, pp. 79–92, May 2023, doi: 10.31653/2306-5761.34.2023.79-92.
3. V. Konon and N. Konon, "Application Perspective of Digital Neural Networks in the Context of Marine Technologies," *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 16, no. 4, pp. 743–747, 2022, doi: 10.12716/1001.16.04.16.
4. V. Konon, N. Konon, and V. Savchuk, "Simulation modelling of a heat exchange process between the containerized cargoes," *Journal of Maritime Research*, vol. 20, no. 1, pp. 23–29, Apr. 2023, doi: 10.5281/ZENODO.7949965.
5. V. Konon, "Image Processing Method for Cargo Container Identification in a Stack Within the Cargo Temperature Control and Fire Safety System on Container Ships," *Polish Maritime Research*, vol. 30, no. 2, pp. 114–120, 3923, doi: 10.2478/pomr-2023-0027.
6. Суднова система пожежної безпеки і температурного контролю при перевезенні контейнерних вантажів : пат. 153965 Україна : (2023.01) G08B 17/12, (2006.01) B63B 25/00. № u 2022 04770 ; заявл. 08.12.2022; опубл. 27.09.2023, Бюл. № 39 (кн. 1). 140 с.
7. В. В. Конон, В. Д. Савчук, "Ризики при перевезенні вантажів у контейнерах," *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2018 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 298–302.*
8. В. В. Конон, В. Д. Савчук, "Контроль за тепловим станом вантажів при перевезенні в контейнерах," *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура,*

судноплавство, перевезення, автоматизація», 14-15 листопада 2019 р., НУ «ОМА», Одеса, С. 169–172.

9. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Використання тепловізорів для контролю в рейсі за небезпечними вантажами в контейнері,” *Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 12-13 листопада 2020 р.*, НУ «ОМА», Одеса, С. 115–118.

10. В. В. Конон, “Оцінка особливостей системи термографічного моніторингу стану контейнерних вантажів із залученням натурних спостережень,” *Матеріали науково-технічної конференції “Судноводіння, морські технології та технології” (NST-2022) 17-18 листопада 2022 р.*, НУ «ОМА», Одеса, С. 162–164.

11. В. В. Конон, В. Д. Савчук, “Огляд судових систем пожежної безпеки та контролю за контейнерними вантажами,” *Modern research in world science. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference, 25-27 грудня 2022*, Львів, С. 419–423.

12. V. V. Konon and V. D. Savchuk, “Data processing algorithm within cargo temperature control on containerships,” in *Materials of the 15th international scientific and practical conference “Modern Information and Innovation Technologies in Transport” (MINTT-2023), May 24-25, 2023, Kherson*, pp. 124–126.

Відомості про апробацію результатів дисертації:

Основні результати та положення дисертаційного дослідження доповідались, обговорювалися, були схвалені на ряді конференцій: науково-технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 15-16 листопада 2018 р.); науково-технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 14-15 листопада 2019 р.); науково-технічній конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура,

судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 12-13 листопада 2020 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Судноводіння, морські технології та перевезення» (Одеса, 17 – 18 листопада 2022 р.); the 10th International Scientific and Practical Conference (Lviv, 25-27 December 2022); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)» (Херсон, 24-25 травня 2023 р.).