

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ Й НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Накул Юрій Олександрович**

УДК 004.75:681.5.01

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ**  
**КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ**

05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

Ю. О. Накул

Науковий керівник:  
доктор технічних наук, професор В. В. Нікольський

Одеса – 2018

## АНОТАЦІЯ

Накул Ю.О. Моделі, методи та засоби побудови комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний університет «Одеська морська академія», 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі – розробка моделей, методів і засобів забезпечення синхронного функціонування судових та портових комп'ютерних систем для підвищення ефективності проведення завантажувально / розвантажувальних робіт та забезпечення відповідності розташування контейнерів до норм безпеки морського перевезення контейнерів.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність науковим темам, наукову новизну та практичне значення, визначено предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження.

У **першому розділі** (*Стан предмету дослідження та формулювання вирішеної задачі*) проведено аналіз існуючих моделей систем контролю завантаження та систем обліку і планування розміщення контейнерів на контейнеровозах. Розглянуто перебіг основних процесів, що відбуваються під час заходу судна в порт та при його завантаженні. У результаті узагальнення проаналізованих даних виявлено відсутність наукових рішень, щодо автоматизації контролю процесу завантаження та перерахунку показників остійності судна в реальному часі. Виявлено закономірності, які в подальшому дозволять підвищити ефективність проведення завантаження / розвантаження контейнеровозів. Виявлено відсутність уніфікованої інформаційної моделі, що відповідає всім сучасним вимогам інтегративності та ефективності роботи.

Аналіз існуючих систем обліку та планування розміщення контейнерів на контейнеровозі попри їх широкі можливості показав їх низьку ефективність,

відсутність гнучких адаптаційних алгоритмів у їх роботі, високу завантаженість капітана та відповідального за завантаження. Визначено, що існуючі методи завантаження не дозволяють контролювати в автоматичному режимі переміщення контейнерів, що й визначило один з подальших напрямів дослідження.

Аналіз існуючих комп'ютерних систем показав відсутність наявних методів перевірки основних параметрів судна, таких як остійності та інше в режимі реального часу при завантаженні / розвантаженні судна. У зв'язку з цим висунуто пропозицію в створенні нових інтегрованих підходів до управління процесом завантаження, розробці методів автоматичного контролю за параметрами судна в режимі реального часу при його завантаженні / розвантаженні, розробці нових методів та систем для контролю за завантаженням судна, що дозволить контролювати його режими в автоматичному режимі та які даватимуть інформацію в реальному часі.

В результаті проведеного аналізу отримано технологічну карту наукового дослідження, а також визначено ряд задач, вирішенню яких присвячений матеріал наступних трьох розділів.

У **другому розділі** (*Розробка моделі та методу побудови комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу*) проводяться дослідження по створенню інформаційних моделей, на основі яких в подальшому розробник матиме змогу здійснити апаратно-програмну розробку комплексу автоматизації контролю завантаження контейнеровозів. Зокрема, виконані дослідження показали можливість побудови комп'ютерних систем та мереж, що дадуть можливість при заході судна в порт інтегрувати його комп'ютерну систему в портову для підвищення якості процесу завантаження.

На основі методів системного аналізу розроблено структуру інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу.

Розроблена модель дозволяє істотно спростити процес завантаження за рахунок введення цифрових точок контролю та впровадження єдиного інформаційного поля портової зони та судна. Отримані результати дають можливість впроваджувати запропоновану модель у вже існуючі мережі, що значно скорочує час розгортання

проекту та економічні витрати при її інтеграції.

Приведено розробку методу завантаження контейнеровозів, що передбачає автоматичне визначення поточних координат завантажуваного контейнера з можливістю подальшого ведення журналу проведеного процесу, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних судових системах з можливістю контролю перебігу завантаження в режимі реального часу. Даний метод дозволяє здійснити збір даних в реальному часі, таких як маса контейнерів в кожній точці судна, та їх кількість. Даний підхід дозволяє в автоматичному режимі здійснювати контроль за навантаженням судна та основними його параметрами остійності.

Метод дозволяє оптимізувати процес завантаження, скоротити кількість його кроків, у порівнянні з іншими відомими способами завантаження. Відпала необхідність залучення додаткового персоналу для контролю за завантаженням.

Для надання капітану можливості перебування в довільній точці порту та дізнаватись про кількісний склад завантажених чи розвантажених контейнерів, а також безпосередні їхні маршрутні дані, в розділі розроблено модель системи мобільного моніторингу за процесом завантаження. Це, в свою чергу, дозволить капітану безпосередньо контролювати параметри остійності судна та запобігти утворення крену і диференту судна, зменшити паперовий документообіг, підвищити продуктивність праці, скоротити час на обробку інформації.

У **третьому розділі** (*Розробка математичних моделей для рішення задач автоматизації процесу завантаження контейнеровозів*) приводиться розробка математичного апарату на основі раніше створених інформаційних моделей системи завантаження контейнеровозів. Зокрема, розроблено математичну модель системи завантаження контейнеровозу, яка дозволяє визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження. Модель передбачає контроль за належною масою контейнерів, її рівномірний розподіл, відповідність завантажуваних контейнерів до обраних критеріїв оптимізації завантаження, до яких відноситься пріоритетність завантаження за масою, черговістю доставки в місця призначення, цінність та інше.

Приведено результати розробки математичної моделі остійності судна при

розподілі ваги контейнерів. Використання даної моделі дозволяє в реальному часі побудувати поверхню розподілу центрів тяжіння контейнерів для виявлення місць перевантаження та перевірки розподілу мас у відповідності до рекомендацій класифікаційних товариств. Також модель дозволяє визначити відхилення загального центру тяжіння навантаженого судна від номінального.

Розроблено математичну модель методу автоматичного позиціонування для завантаження та розвантаження контейнерних суден у контейнерних терміналах. Основна вирішувана задача – перетворення координат контейнера з системи координат, яка має прив'язку до берегової лінії в суднову систему координат та постійний перерахунок поточних координат контейнеру, що завантажується.

Розроблений алгоритм розрахунку координат контейнеру, що завантажується, дозволяє обрахувати його координати в довільний момент часу, проте подібна процедура передбачає безперервну постійну роботу в режимі реального часу та потребує попереднього калібрування задля точного встановлення початків координат кожної з систем вимірювання та верифікації даних, які надходять з акселерометру.

У **четвертому розділі** (*Апаратно-програмне забезпечення системи контролю завантаження контейнеровозів*) викладено результати апаратної та програмної реалізації теоретичних положень, які розроблені в розділах 2 та 3. Так, на основі виконаних досліджень та розробленої математичної моделі автоматичного позиціонування для завантаження та розвантаження контейнерних суден у контейнерних терміналах створено систему визначення координат контейнера, що полягає переважним чином в закріпленому акселерометрі на спредері перевантажувача. Розроблено програмно-апаратний комплекс, що дозволяє дистанційно в режимі реального часу відслідковувати за переміщеннями контейнерів перевантажувачем, вести журнал всіх подій та здійснювати перевірку процесу на відповідність до наявних норм та вимог, що діють в судноплавстві.

При розробці апаратної частини визначено доцільність відмови від розробки системи з використанням повного життєвого циклу розробки електронної системи, оскільки затрачений час на розробку та сертифікаційні вимоги до системи накладуть

невиправдані фінансові витрати. Тому основні елементи системи реалізовані з використанням розвиненої лінійки промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact, які є в наявності в навчальному закладі, де виконувалися дисертаційні дослідження.

Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, які передаються від пристроїв збору інформації. Підібрані оптимальні компоненти для збору даних з низьким рівнем енергоспоживання та високими технічними характеристиками. Наведено результати кодування параметрів завантаження судна та фрагмент файлу в якому описані зони завантаження судна в закодованому вигляді.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, перелік публікацій за темою дисертації.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, програмований контролер, система реального часу, автоматичне позиціонування, контейнерний термінал, автоматичне визначення координат, остійність судна, вантажні операції.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці в спеціалізованих виданнях з переліком наукометричних баз, де вони проіндексовані:**

1. Будашко В.В., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Накул Ю.А. Система мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. Сб. – 2015 – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 22-28.; **внесок автора:** участь при розробці інтерфейсу програмного забезпечення.

2. Накул Ю.А., Нікольський В. В., Нікольський М.В. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – Том 283, №271. – С. 60–63; **внесок автора:** проведений аналіз аварійної ситуації з

контейнеровозом CSCL URANUS, де аспірант був капітаном. Запропоновано структуру системи підтримки прийняття рішення по завантаженню контейнерів; **база(и):** [Ulrich's Periodical Directory](#).

3. Накул Ю.А., Стовманенко В.О. Модель системи завантаження крупнотонажних суден // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – Том 287, №275. - С. 27 – 33; **внесок автора:** запропоновано модель системи завантаження контейнеровозу, проведено аналіз проблеми; **база(и):** [Ulrich's Periodical Directory](#).

4. Накул Ю.А., Никольский В.В., Хнюнин С.Г. Выбор датчиков определения координат контейнера для компьютерной системы учета загрузки судна // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.. – Одеса, 2017. – №23. – С. 57 – 64; **внесок автора:** запропоновано схему встановлення акселерометру з програмованим контролером на спредер контейнерного перевантажувача, та проведено класифікацію акселерометрів, проведено аналіз недоліків п’єзоелектричних акселерометрів.

5. Накул Ю.О., Математична модель методу автоматичного позиціонування контейнерів при завантаженні контейнерних суден у контейнерних терміналах // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 23 – 28; **база(и):** [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar.

6. Накул Ю.О. Математична модель системи завантаження контейнеровоза // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №2. - С. 110-115.

7. Накул Ю.О., Математична модель остійності судна при розподілі ваги контейнерів // Наукові праці ЧНУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 305. – Т. 317. – Миколаїв, 2018. – С. 18 – 22; **база(и):** [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar.

**Опубліковані праці апробаційного характеру:**

8. Накул Ю.А., Нікольський В.В., Стовманенко В.С. Система контролю завантаження контейнеровозів / "Судовождение" Одесская национальная морская академия. – 2017. – №27. – С. 127–136; **внесок автора:** запропоновано координатно – позиційний метод, алгоритми роботи комп'ютерної системи, карти збереження вантажів.

9. Накул Ю.А., Стовманенко В.О., Нікольський М.В. Система контролю завантаження контейнеровозів "ShipLoad" // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – 2017. – С. 265 – 268; **внесок автора:** метод розрахунку координат контейнеру та запропоновано спеціальну утиліту в форматі XML з параметрами судна та кротою збереження вантажів .

10. Нікольський В.В., Накул Ю.А., Стовманенко В.О. Система контролю завантаження контейнеровозів "Shipload" // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року. – 2017. – С. 224; **внесок автора:** здійснено аналіз роботи капітана та його грузового помічника під час завантаження контейнеровозу.

11. Накул Ю. А. Інформаційна модель комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза матеріали // Всеукраїнська науково-практична конференція "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку". – Черкаси, 2018. – С. 33 – 35.

12. Накул Ю.О., Розгорнута мережева модель мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження контейнеровозів Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 52-54.

13. Система моніторингу завантаження контейнеровоза: звіт з НДР: ДР № 0117 U 000317 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець Ю.О Накул. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 79 с.; **внесок автора:** розроблені інформаційна модель системи



моніторингу завантаження контейнеровозу, метод завантаження контейнеровозів та розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження, математичні моделі системи моніторингу завантаження контейнеровозу та остійності судна при розподілі ваги контейнерів, методу автоматичного позиціонування для завантаження та розвантаження контейнерних суден у контейнерних терміналах; запропоновані реалізації систем визначення координат контейнеру, контролю та підтримки прийняття рішення при завантаженні контейнеровозів, апаратна реалізація системи контролю за завантаженням.

## ABSTRACT

Nakul Yu.O. Models, methods and means of construction of a heterogeneous computer system for controlling the loading of a container carrier. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – National University “Odessa Maritime Academy”, 2018.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific problem - the development of models, methods and means for ensuring the synchronous functioning of ship and port computer systems for increasing the efficiency of carrying out unloading / loading works and ensuring that containers are placed in accordance with the safety norms of container shipping.

The **introduction** provides a general description of the work, which emphasizes its actuality, relevance to scientific topics, scientific novelty and practical significance, the object and the subject of the research are defined, the purpose and objectives of the research are formulated.

In the **first section "The state of the subject of research and the formulation of problems to be solved"**, an analysis of existing models of loading control systems and systems of accounting and planning of container placement on container vessels was carried out. The course of the main processes occurring during the vessel's approach to the port and during its loading is considered. As a result of the synthesis of the analyzed data, there was found a lack of scientific decisions regarding the automation of the control of the loading process and the conversion of vessel stability parameters in real time. The regularities, which in the future will allow increasing efficiency of loading / unloading of container carriers, are described. There was found the lack of a unified information model that meets all modern requirements of integrity and efficiency of work. The analysis of existing systems of accounting and planning of containers placement on container vessels, despite their wide possibilities, has shown their low efficiency, the lack of flexible adaptation algorithms in their work, exceeding duties of the captain and those responsible for loading. It was determined that existing loading methods do not allow controlling the

movement of containers. It then defined one of the further directions of the study. The analysis of existing computer systems showed the absence of available methods for checking the main parameters of the vessel, such as stability and other real-time loading / unloading parameters of the vessel. In this connection, the proposal is made to create new integrated approaches to managing the loading process, to develop methods for the automatic control of ship parameters in real time during loading / unloading, to develop new methods and systems for controlling boat loading, which will allow controlling the modes of loading automatically and providing real-time information. The main tasks of the research are formulated.

In the **second section, "Development of the model and method of construction of a heterogeneous computer system for controlling the loading of the container carrier"**, research is carried out on the creation of information models, on the basis of which the developer will subsequently be able to implement software and hardware development of the automation system for controlling the loading of container vessels. In particular, the performed studies showed the possibility of building computer systems and networks, which will enable the vessel at entering a port to integrate its computer system into the port and therefore to improve the quality of the loading process. On the basis of the methods of system analysis, the structure of the information model of the computerized control system for loading of the container carrier was developed. The developed model allows substantially simplifying the process of loading due to the introduction of digital control points and the introduction of a single information field of the port zone and the vessel. The obtained results make it possible to implement the proposed model in existing networks, which considerably reduces the time of project progress and economic costs when integrating it. There is developed a method for loading container vehicles, which provides for automatic determination of the current coordinates of the loaded container with the possibility of further logging of the conducted process, which allows it to be used in computer ship systems with the ability to control the flow of loading in real time. This method allows real-time data collection, such as mass of containers at each point, and their number. This approach allows automatic control of the load of the vessel and its main parameters of stability. The method lets one to optimize the boat process, reduce its

number of steps more than 2 times, compared to the other known boot methods. There is no need to attract additional personnel to control the loading. To give a captain the opportunity to stay at an arbitrary point of the port and find out the quantitative composition of the unloaded or loaded containers, as well as their direct route data, in this section the model of the system of mobile monitoring under the loading process is developed. This, in turn, will allow a captain to directly control the steady parameters of the ship and prevent the formation of a roll and a ship's trim, reduce paper workflow, increase productivity, and reduce time for processing information.

In section three "**Development of mathematical models for solving problems of automation of container loading process**", the development of a mathematical device based on previously created information models of container loading system is given. In particular, the mathematical model of the container loading system is developed, which allows determining the overwhelming majority of technical parameters of the vessel after loading. The model involves controlling the proper weight of the containers, its uniform distribution, the compliance of the loaded containers with the selected loading optimization criteria, which includes the priority of loading by weight, the order of delivery according to the destination, value and so on. The results of mathematical model development of vessel stability at distribution of weight of containers are given. The use of this model lets one to construct a surface of centers distribution of containers gravity in real time for discovering the places of an overload and checking the distribution of masses in accordance with recommendations of the International Association of Classification Societies.. Also, the model allows determining the deviation of the overall center of gravity of the loaded vessel from the nominal. The mathematical model of the automatic positioning method for loading and unloading container vessels in container terminals is developed. The main problem to be solved is the transformation of the coordinates of the container from the coordinate system, which has a connection to the coastline in the ship's coordinate system and a constant recount of the current coordinates of the loaded container. The developed algorithm for calculating the coordinates of the loaded container lets one calculate the coordinates of the container at an arbitrary time, but this procedure involves continuous work in real time and requires pre-calibration for accurately

establishing the beginning of the coordinates of each measurement and verification systems received from the accelerometer.

#### **Section four "Hardware Software of the Controller Loading Control System"**

is devoted to presenting the results of hardware and software implementation of the developed theoretical points in sections 2 and 3. Thus, based on the performed researches and the developed mathematical model of automatic positioning for loading and unloading container vessels in container terminals, a system for determining the coordinates of a container, which is preferably fastened in a fixed accelerometer on a crane spreader, is created. The software-hardware complex is developed, which allows remotely in real time monitoring the movements of containers with a cargo crane, logging all events and verifying the process to comply with existing norms and requirements operating in shipping. The development of the hardware part determined the necessity of refusing to develop a system using the full life cycle of the electronic system development, as time spent on development and certification requirements to the system will impose unnecessary financial costs. Therefore, the main elements of the system are implemented using the advanced line of industrial controllers manufactured by Phoenix Contact. The software complex is fully functional and ensures an adequate display of data transmitted from information gathering devices. There were selected optimal components for data collection with low energy consumption and high technical characteristics. The results of encoding of ship loading parameters and a fragment of a file, which describes the ship loading zones in the encoded form, are presented.

**Key words:** computer system, programmable controller, real-time system, vessel stability, automatic positioning, container terminal, automatic coordinate determination, cargo operations.

The basic results of dissertation research of bread-winner are published in the following scientific labors:

**Basic scientific results of dissertation.**

1. Будашко В.В., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Накул Ю.А. Система мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. Сб. – 2015 – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 22-28.; **внесок автора:** участь при розробці інтерфейсу програмного забезпечення.

2. Накул Ю.А., Нікольський В. В., Нікольський М.В. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – Том 283, №271. – С. 60–63; **внесок автора:** проведений аналіз аварійної ситуації з контейнеровозом CSCL URANUS, де аспірант був капітаном. Запропоновано структуру системи підтримки прийняття рішення по завантаженню контейнерів; **база(и):** [\*Ulrich's Periodical Directory\*](#).

3. Накул Ю.А., Стовманенко В.О. Модель системи завантаження крупнотонажних суден // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – Том 287, №275. - С. 27 – 33; **внесок автора:** запропоновано модель системи завантаження контейнеровозу, проведено аналіз проблеми; **база(и):** [\*Ulrich's Periodical Directory\*](#).

4. Накул Ю.А., Никольский В.В., Хнюнин С.Г. Выбор датчиков определения координат контейнера для компьютерной системы учета загрузки судна // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.. – Одеса, 2017. – №23. – С. 57 – 64; **внесок автора:** запропоновано схему встановлення акселерометру з програмованим контролером на спредер контейнерного перевантажувача, та проведено класифікацію акселерометрів, проведено аналіз недоліків п’єзоелектричних акселерометрів.

5. Накул Ю.О., Математична модель методу автоматичного позиціонування контейнерів при завантаженні контейнерних суден у контейнерних терміналах // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. –

Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 23 – 28; **база(и):** [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar.

6. Накул Ю.О. Математична модель системи завантаження контейнеровоза // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №2. - С. 110-115.

7. Накул Ю.О., Математична модель остійності судна при розподілі ваги контейнерів // Наукові праці ЧНУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 305. – Т. 317. – Миколаїв, 2018. – С. 18 – 22; **база(и):** [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar.

### **Publications which certify approbation of materials of dissertation.**

8. Накул Ю.А., Нікольський В.В., Стовманенко В.С. Система контролю завантаження контейнеровозів / "Судовождение" Одесская национальная морская академия. – 2017. – №27. – С. 127–136; **внесок автора:** запропоновано координатно – позиційний метод, алгоритми роботи комп’ютерної системи, карти збереження вантажів.

9. Накул Ю.А., Стовманенко В.О., Нікольський М.В. Система контролю завантаження контейнеровозів “ShipLoad” // Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – 2017. – С. 265 – 268; **внесок автора:** метод розрахунку координат контейнеру та запропоновано спеціальну утиліту в форматі XML з параметрами судна та кротою збереження вантажів .

10. Нікольський В.В., Накул Ю.А., Стовманенко В.О. Система контролю завантаження контейнеровозів “Shipload” // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року. – 2017. – С. 224; **внесок автора:** здійснено аналіз роботи капітана та його грузового помічника під час завантаження контейнеровозу.

11. Накул Ю. А. Інформаційна модель комп’ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза матеріали // Всеукраїнська науково-практична

конференція “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку”. – Черкаси, 2018. – С. 33 – 35.

12. Накул Ю.О., Розгорнута мережева модель мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження контейнеровозів Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 52-54.

13. Система моніторингу завантаження контейнеровоза: звіт з НДР: ДР № 0117 U 000317 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець Ю.О Накул. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 79 с.; **внесок автора:** розроблені інформаційна модель системи моніторингу завантаження контейнеровозу, метод завантаження контейнеровозів та розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження, математичні моделі системи моніторингу завантаження контейнеровозу та остійності судна при розподілі ваги контейнерів, методу автоматичного позиціонування для завантаження та розвантаження контейнерних суден у контейнерних терміналах; запропоновані реалізації систем визначення координат контейнеру, контролю та підтримки прийняття рішення при завантаженні контейнеровозів, апаратна реалізація системи контролю за завантаженням.



## ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	19
ВСТУП.....	22
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ВИРІШЕНОЇ ЗАДАЧІ .....</b>	<b>29</b>
1.1. Визначення предметної області дослідження .....	29
1.2. Аналіз існуючих моделей систем контролю завантаження .....	32
1.3. Аналіз існуючих систем обліку та планування розміщення контейнерів на контейнеровозах.....	39
1.4. Формулювання задач дослідження.....	47
1.5. Висновки до розділу 1 .....	50
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ .....</b>	<b>52</b>
2.1. Розробка інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу .....	52
2.2. Розробка методу завантаження контейнеровозів .....	61
2.3. Розробка розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження.....	68
2.4. Висновки до розділу 2 .....	71
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ .....</b>	<b>73</b>
3.1. Розробка математичної моделі системи завантаження контейнеровозу ..	73
3.2. Розробка математичної моделі остійності судна при розподілі ваги контейнерів .....	78
3.3. Розробка математичної моделі методу автоматичного позиціонування при проведенні вантажних операцій з суднами контейнеровозами у контейнерних терміналах .....	86

3.4. Висновки до розділу 3.....	97
<b>РОЗДІЛ 4. АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ.....</b>	<b>98</b>
4.1. Реалізація системи визначення координат контейнера для комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза.....	98
4.2. Реалізація системи контролю та підтримки прийняття рішення при завантаженні контейнеровозів .....	103
4.3. Апаратна реалізація системи контролю за завантаженням .....	108
4.4. Верифікація результатів дослідження на лабораторному зразку	131
4.5. Висновки до розділу 4.....	142
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>143</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>145</b>
<b>ДОДАТОК А – АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>154</b>
<b>ДОДАТОК Б – СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА.....</b>	<b>160</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

1. APS – (англ. application support sublayer) – мережевий рівень додатків;
2. ARM – (Advanced RISC Machine — поліпшена RISC машина) – архітектура 32-бітових RISC-процесорів, розроблених компанією ARM Limited для мобільних пристроїв;
3. AVR — восьмибітові мікроконтролери фірми Atmel;
4. CSD – (англ. Circuit Switched Data) – технологія передачі даних, розроблена для мобільних телефонів стандарту GSM;
5. CSS – (chirp spread spectrum) лінійна частотна модуляція;
6. CTU – Cargo Transport Units. Вантажні транспортні агрегати;
7. DGPS – (англ. Differential Global Positioning System) Диференціальна глобальна система позиціонування — розширення системи глобальної системи мобільного зв'язку;
8. DGPS / INS – differential GPS (DGPS) and an inertial navigation system (INS) диференціальний GPS (DGPS) та інерціальна навігаційна система (INS);
9. DTM – (Device Type Manager) програмний засіб керування конкретним типом пристроїв;
10. FDT – (Field Device Tool) Програмний інструментарій налаштування польових пристроїв;
11. FEC – (forward error correction) пряма корекція помилок;
12. GNSS – Global Navigation Satellite System (Глобальна навігаційна супутникова система);
13. GPRS – англ. General Packet Radio Service – «пакетний радіозв'язок загального користування») – надбудова над технологією мобільного зв'язку GSM, що здійснює пакетну передачу даних;
14. GPS – Система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System) — сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення пристрою в системі географічних координат;

15. GSM – глобальна система мобільного зв'язку (англ. Global System for Mobile Communications, раніше фр. Groupe Spécial Mobile, GSM);
16. IMO – (англ. International Maritime Organization,) – Міжнародна морська організація;
17. IoT – (Internet of Things) Інтернет речей;
18. LLC – (англ. Logical Link Control, логічна передача даних) – один з підрівнів Канального рівня
19. LoRaWAN –(Long Range Wide Area Networks) MAC протокол канального рівня (OSI media layer 2) для мереж з великою кількістю вузлів з великим радіусом дії і низьким власним споживанням потужності;
20. LPWAN – (англ. Low Power Wide Area Network) – єдиний стандарт для глобальних мереж з низьким енергоспоживанням;
21. MAC – (від англ. Media Access Control — управління доступом до носія) — унікальний ідентифікатор, що зіставляється з різними типами устаткування для комп'ютерних мереж;
22. NWK – Network Layer – Мережевий рівень;
23. OPC – OLE for Process Control – це аббревіатура для Object-Linking and Embedding (OLE) для управління процесом (Process Control), є оригінальною назвою для відкритого стандарту розробленого у 1996 році IETF (industrial automation industry task force);
24. PHY – (physical layer ) фізичний рівень моделі OSI (OSI media layer 1);
25. PLC – (Programmable Logic Controller,) програмований логічний контролер;
26. PWM– (англ. pulse-width modulation,) Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), або модуляція за тривалістю імпульсів (англ. pulse-duration modulation, PDM) — процес керування шириною (тривалістю) високочастотних імпульсів за законом, який задає низькочастотний сигнал;
27. RTK – Real Time Kinematic (дослівно «кінематика у реальному часі») сукупність прийомів та методів отримання координат за допомогою GNSS обладнання;
28. SPI – (англ. Serial Peripheral Interface, SPI bus — послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI) — фактичний послідовний синхронний повнодуплексний

стандарт передачі даних, розроблений фірмою Motorola для забезпечення простого сполучення мікроконтролерів та периферії;

29. UML – (англ. Unified Modeling Language) – уніфікована мова моделювання, використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування;
30. WiFi – Wireless Fidelity «бездротова точність» – технологія бездротової локальної мережі з пристроями на базі стандартів IEEE 802.11;
31. WLAN – (англ. Wireless Local Area Network) – безпроводна локальна мережа;
32. XML – (англ. Extensible Markup Language, скорочено) — Розширювана мова розмітки, запропонований консорціумом World Wide Web (W3C) стандарт побудови мов розмітки ієрархічно структурованих даних для обміну між різними застосунками, зокрема, через Інтернет;
33. ZDO – ZigBee Device Object – підрівень об'єктів пристроїв ZigBee;
34. ZigBee – відкритий стандарт бездротового зв'язку для систем збору даних і управління;
35. БІНС – безплатформені Інерційні навігаційні системи;
36. ІНС – Інерційні навігаційні системи;
37. КБК – конвенція по безпечних контейнерах;
38. КЗВ – Карта Збереження Вантажів;

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Робота присвячена актуальним питанням розробки теоретичних основ створення і вдосконалення високоефективних технічних і програмних комп'ютерних систем спеціального призначення, зокрема, підвищення ефективності завантаження контейнеровозів.

Розвиток науки і техніки дозволив автоматизувати практично всі сфери зайнятості людини. Активно розвиваються засоби логістики, автоматизуються складські роботи, навіть впроваджено системи автоматичної доставки малогабаритних вантажів, замовлених в інтернет-магазинах. Проте подібні пристрої діють лише в межах декількох крупних мегаполісів в США. Наряду з цим актуальним є міжконтинентальне морське транспортування великотоннажних вантажів, які, як правило, здійснюються в універсальних контейнерах. Як не дивно, проте в даній галузі найменше використано новітніх інформаційних технологій в порівнянні з іншими. Найбільше проблем спостерігається в процесі розподілення вантажів, контролі за вантажними операціями судна, відсутня верифікація заявленої маси вантажу та повна відсутність контролю за розподілом маси по палубі судна в реальному часі, відсутні методи та засоби синхронізації інформації суднових та портових систем для оптимізації завантаження. За рахунок цього вказані процеси відбуваються зі значною затримкою в часі та практично постійно не відповідають заявленим нормам, які регламентують безпеку морського перевезення контейнерів:

- міжнародна конвенція по безпечних контейнерах (КБК) 1972 р.;
- MSC.1 / Circ.1497 IMO / ILO / UNECE Code of practice for packing of cargo transport units (CTU Code);
- MSC.1 / Circ.1498 Informative material related to the Code of practice for packing of cargo transport units (CTU Code);
- міжнародна конвенція про уніфікацію деяких норм права, що стосуються коносаментів (Гаазькі правила), яка прийнята в 1931 році Міжнародним морським комітетом;

– конвенція ООН про морське перевезення вантажів, яка отримала назву Гамбурзькі правила, яка прийнята в 1992 році Комісією Організації Об'єднаних націй (ЮНСІТРАЛ);

– правила перевезення вантажів у контейнерах морським транспортом (РД 31.11.2118-96).

Слід підкреслити, що подібні відхилення від норм та відсутність автоматизації вказаних процесів в переважній більшості випадків призводять до надлишкових економічних витрат на оплату часу стоянки в порту, та, хоч і в меншій кількості, але можуть призводити до часткових втрат вантажів при їх транспортуванні. У зв'язку з цим пошук рішень, спрямованих на підвищення ефективності проведення вантажних операцій, займає одне з головних місць в сучасних наукових дослідженнях.

Розробкою подібних систем займалися такі вчені, як: Л.Р. Аксютін, Дж.Р. Нотт, В.Г. Сизов, Д.В. Бичков, Ю.Ю. Васьков, Е. Ватне, В.С. Заїчко, Є.Б. Карпович, Л.А. Козир, В.М. Бондар, Л.Л. Вагущенко, А.Н. Крилов, В.Н. Мельник, М.М. Цимбал та інші.

Ці розробки є масштабними і глибокими, проте більшість розроблених моделей і методів використовуються окремо, не в комплексі і призводять до того, що інформаційні ресурси не будучи синхронізованими створюють безліч протиріч і затримок в роботі всього процесу. Жодна з існуючих моделей не передбачає контролю за процесом завантаження в реальному часі за розподілом маси вантажів. Це свідчить про те, що реальні питання безпеки та дотримання норм переважно не враховуються. Таким чином, розробка нових моделей, методів і засобів забезпечення автоматизації завантаження суден контейнеровозів є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота проводилася відповідно до завдань науково-дослідних робіт національного університету «Одеська морська академія» «Система моніторингу завантаження контейнеровоза» (номер державної реєстрації 0117U000317), «Автоматизація

технологічних та адміністративних процесів на транспорті» (номер державної реєстрації 0115U003577), в яких автор брав участь як фахівець та виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є розробка моделей, методів і засобів забезпечення синхронного функціонування судових та портових комп'ютерних систем для підвищення ефективності проведення вантажних операцій та забезпечення відповідності розташування контейнерів до норм безпеки морського перевезення контейнерів.

У роботі поставлені і вирішені наступні завдання:

– аналіз існуючих системних засобів планування та контролю за завантаженням контейнеровозів з метою виявлення їх основних недоліків;

– розробка математичної моделі системи завантаження контейнеровоза;

– розробка математичної моделі остійності судна при розподілі ваги контейнерів для можливості забезпечення зворотного зв'язку під час проведення вантажних операцій та контролю за відповідністю розташування контейнерів до норм безпеки морського перевезення контейнерів, проведення аналізу навантаження різних секторів судна;

– розробка інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза та ведення журналу цього процесу;

– розробка методу завантаження контейнеровоза з верифікацією технічних параметрів та наявним зворотнім зв'язком;

– розробка програмного і апаратного забезпечення, яке реалізує отримані теоретичні положення, проведення експериментальних досліджень розроблених комплексів.

**Об'єкт дослідження** – процес функціонування системи контролю та завантаження контейнеровозів.

**Предмет дослідження** – моделі, методи і засоби побудови ефективних комп'ютерних систем контролю завантаження з суден контейнеровозів.

**Методи дослідження.** Для побудови структури системи і методу завантаження в комп'ютерній системі завантаження контейнеровоза використовувалися методи системного аналізу, зокрема, топологічний аналіз. Для побудови математичної



моделі функціонування комп'ютерної системи завантаження використовувалися елементи теорії алгоритмів, теорії математичних методів дослідження неоднорідних тіл, математичного моделювання. Для створення апаратно-програмної частини використані методи імітаційного моделювання, фізичні експерименти на макетах і дослідних зразках.

Достовірність отриманих наукових результатів, висновків та дієвість розроблених математичних моделей перевірено порівнянням теоретичних положень з експериментальними даними.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у створенні моделей, методів та засобів створення комп'ютерної системи завантаження контейнеровоза, яка дозволяє підвищити ефективність проведення вантажних операцій та забезпечити відповідність розташування контейнерів до норм безпеки їх морського перевезення.

*Вперше:*

– отримано інформаційну модель комп'ютерної системи завантаження контейнеровоза, яка відрізняється від існуючих систем можливістю контролю ваги та переміщення контейнерів в реальному часі, наявністю інтеграційних властивостей суднової комп'ютерної системи в портову, що дозволило *оптимізувати процес завантаження за рахунок введення цифрових точок контролю та* прискорити час вантажних операцій за рахунок об'єднання суднових та портових систем планування та контролю;

– запропоновано метод автоматичного визначення координат переміщення контейнерів під час їх завантаження на контейнеровоз, який відрізняється від існуючих використанням мікропроцесорних вимірювальних приладів та сенсорної автоматики, встановленої на захоплюючому пристрої крану завантажувача, що дозволяє відслідковувати реальне розташування контейнерів на палубі за рахунок впровадження інерційних навігаційних систем та застосування математичних методів векторного аналізу для розрахунку поточних координат контейнеру, який завантажуюється.

*Удосконалено* математичну модель основних процесів завантаження судна, яка відрізняється від існуючих можливістю реєстрації всіх параметрів завантаження в реальному часі та наявністю імітаційної складової, що дозволяє оптимізувати процес завантаження за часом виконання та за місцем розташування контейнерів за рахунок введення оптимізаційних кількісно-масових показників та умов оптимального розподілу завдань завантаження.

*Отримала подальший розвиток* математична модель оцінки остійності судна при розподілі ваги контейнерів в реальному часі за рахунок розробленого методу розрахунку відхилення центру маси судна від допустимих норм та побудови поверхні розподілу центрів мас по кожному з штабелів контейнерів судна, що дозволяє забезпечити зворотній зв'язок під час процесу завантаження та контролювати відповідність розташування контейнерів до норм безпеки морського перевезення контейнерів, аналізувати навантаження різних секторів судна.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

1. Завдяки розробленим інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза, а також розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження отримана можливість їх впровадження у вже існуючі мережі, що значно скорочує час розгортання проекту та економічні витрати при її інтеграції, а капітан судна набуває мобільності разом з зростанням рівня його оперативної інформованості.

2. Розроблений метод завантаження контейнеровозів дозволяє в автоматичному режимі здійснювати контроль за навантаженням судна та основними параметрами його остійності. Метод дозволяє оптимізувати процес завантаження, скоротити кількість його кроків у порівнянні з іншими відомими способами завантаження. Відпала необхідність залучення додаткового персоналу для контролю за завантаженням.

3. Завдяки розробленим математичним моделям системи завантаження контейнеровоза, остійності судна при розподілі ваги контейнерів, автоматичного позиціонування контейнерів при проведенні вантажних операцій з контейнеровозами у контейнерних терміналах отримана можливість автоматичного

визначення в реальному часі координат кожного контейнера, який переміщується, відхилення загального центру тяжіння навантаженого судна від номінального та інші параметри остійності, розподіл мас вантажу у відповідності до рекомендацій класифікаційних товариств.

4. Розроблені апаратно-програмні засоби дозволяють реалізувати переважну більшість запропонованих теоретичних положень, отриманих під час дослідження.

**Реалізація.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану НДР НУ «ОМА». Одержані в ній теоретичні та практичні результати використані та впроваджені у НУ «ОМА» на кафедрі теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки у матеріалах лекційних курсів та лабораторних практикумів з дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка» та «Віддалене управління технологічними процесами».

**Особистий внесок здобувача.** У дисертаційній роботі викладено авторський підхід до вирішення важливої наукової-технічної задачі – створення методу та інформаційних моделей комп'ютерної системи завантаження контейнеровоза. Теоретичні визначення, подані в роботі та які виносяться на захист, одержані автором особисто й викладені у його наукових працях. З наукових праць, що написані у співавторстві, в дисертації використано тільки ідеї та концепції, алгоритми роботи, конструктивні рішення та програмна реалізація, які є результатом самостійного дослідження здобувача. Особистий внесок автора у колективних наукових працях конкретизовано у переліку опублікованих праць.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях:

"Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання" (м. Івано-Франківськ, 2017);

XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, (м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року);

"Датчики, прилади та системи 2017" (Черкаси – Миколаїв – Херсон - Лазурне, 2017);

Всеукраїнська науково-практична конференція "Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку” (м. Черкаси, 2018).

**Публікації.** Результати дисертаційного дослідження опубліковані в 13 наукових роботах. З них: 7 статей – у фахових наукових журналах, які затверджені МОН України та індексуються у наукометричній базі Index Copernicus тощо, 4 праці – у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, 1 стаття апробаційного характеру, 1 звіт з НДР.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури з 104 найменувань і додатків. Загальний обсяг становить 163 сторінки (з них 131 – основного тексту). У роботу входять також 61 рисунок і 3 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ВИРШЕНОЇ ЗАДАЧІ

#### 1.1 Визначення предметної області дослідження

В останні роки спостерігається тенденція, коли стивідорні компанії з метою отримання додаткової неправомірної вигоди занижують вагу контейнерів перед перевізниками і в той же час завищують вагу перед відправником [49]. Так в разі похибки завантаження в 3% вага при 14000 TEU може скласти кілька тис. тонн. І якщо в порту ще вживаються заходи по подвійному зважуванні контейнерів при навантаженні на трейлери, то на судах таке зважування не проводиться. Іноді, на борту судна складається ситуація, коли на верхніх ярусах виявляються контейнери з більшою вагою, ніж на нижніх. У підсумку це призводить до зниження безпеки контейнерних перевезень. А вся відповідальність за збереження вантажу лягає на екіпаж. Судові процеси після аварій розтягуються на роки. Таким чином, перевізник, повністю довіряючи відправнику вантажу, стає заручником їх несумлінності.

Одним з найбільш важливих етапів перевезення є сам процес завантаження вантажів на судно, який є зовсім не таким простим завданням, як може здатися на перший погляд. Недбалість під час цього процесу може привести до дуже серйозних наслідків. Зокрема показовий випадок контейнеровозу “CSCL Uranus” [77], який потрапивши в шторм нахилився і за борт зійшло 80 контейнерів, додатково деякі контейнери було пошкоджено. Все це відбулося через неправильне закріплення та завантаження контейнерів на борті [35]. В підсумку значні фінансові витрати та судові процеси, які розтягнулися на декілька років. Все могло обійтися ще серйозніше, якби судно нахилилося на більший кут під час тайфуну та внаслідок недотримання правил техніки безпеки. Судно могло досягнути значного крену й перевернутися, тоді мова йшла б про значно більші витрати, а також про людські життя.

Також не поодинокими є випадки, коли необхідний контейнер перебуває під двома, а то й більше, контейнерами. Для вивантаження цього, потрібного, вантажу треба вивантажити декілька інших об'єктів, а потім знову їх завантажити. Це займає час, а отже також призводить до фінансових витрат. Пошуки рішення, яке здатне було б допомагати портовим працівникам та екіпажу судна, не принесли бажаних результатів. Відсутність такої системи на ринку поруч з існуванням попиту з боку транспортних компаній створює нішу, яку може зайняти подібна система.

Морський та річковий транспорт існує з давніх-давен, але лише нещодавно з розвитком комп'ютерних технологій з'явилася можливість контролю завантаження вантажів на судно задля прискорення процесу та підвищення надійності.

Як тільки контейнеровози увійшли в широкий ужиток, з'явилися проблеми (зокрема проблеми із завантаженням), які не вдалося вирішити і до теперішнього часу. Не завжди можливо оперативно встановити, яка кількість контейнерів знаходиться на борту; чи правильно вони розміщені. Для отримання актуальної та точної інформації потрібно посилювати контроль над процесом. Це не завжди вдається, так як в гонитві за зниженням собівартості перевезень судновласники скорочують екіпаж при одночасному збільшенні тоннажу. Все це призводить до затримок лоцмана в процесі обслуговування судна і збільшення часу використання буксирів. У підсумку отримуємо додаткові витрати на перевезення.

Окрім того, на багатьох суднах капітан або його помічник мають безпосередньо спостерігати за процесом задля того, щоб пересвідчитися в тому, що відповідний контейнер було встановлено саме на попередньо вказане місце, а для перевірки закріплення треба було направити декілька людей, які б змогли все оглянути в безпосередній близькості до контейнера.

Зараз існують програми, які дозволяють графічно відображати розміщення контейнерів в зонах зберігання на судні, але заносити дані про перебування цих вантажів треба вручну, що приховує у собі загрозу помилок з неуважності. Також програми можуть пропонувати оптимізацію розміщення контейнерів, але вже після того, як дані про них було внесено. А якщо контейнер встановлено і лише потім

внесено в програму, то доведеться переставляти його, тобто витратити додатковий час та ресурси.

Вихід їх ситуації можливий, якщо на судні встановити власну систему моніторингу завантаження (статичної остійності).

Однак пошук в літературних і електронних джерелах інформації про подібні судові системи не дав позитивних результатів. Тому роботи, спрямовані на розробку системи автоматизації вантажних операцій з контейнеровозами є актуальним завданням.

Створення системи моніторингу можна розділити на кілька етапів: синтез первинних перетворювачів, здатних проводити вимірювання ваги контейнерів в стосі; вибір способу передачі інформації від первинних перетворювачів до судової системи диспетчеризації; розробка системи диспетчеризації, інтегрованої з судовими системами менеджменту.

Легко простежується кілька варіантів системи моніторингу.

Перший, вага контейнера визначається за допомогою кранових ваг [36, 51], інформація з яких надходить в систему диспетчеризації через стільникову мережу. В [51] є вже посилання, як обдурити такі ваги.

Другий, зважування контейнера визначається безпосередньо на палубі контейнеровоза. Варіантів передачі інформації від датчиків ваги, встановлених на борту судна, теж може бути декілька: дротовий і оптоволоконний зв'язок, бездротові GSM / GPRS і WiFi канали зв'язку. На жаль, в даний час немає таких систем, які могли б здійснити зважування 8 рядів контейнерів.

Третій, використання оптико-електронних засобів передачі інформації і QR - кодів.

Всі перераховані варіанти вимагають проведення досліджень.

Тому актуальним постає завдання встановлення контролю над процесом завантаження в портах для забезпечення правильності розміщення, дотримання показань ваги для кожного боку судна, дотримання правил техніки безпеки при розміщенні контейнерів з вантажами різних класів "небезпечності". Певні види вантажів мають певні правила розміщення. Відповідно до цих правил має

підбиратися правильна позиція для контейнера. Також ця система має допомогти отримати доступ до контейнерів, які мають бути вивантажені в порту, тобто потрібна оптимізація розміщення відповідно до маршруту для найкращої позиції кожного контейнера при максимальній завантаженості судна.

## 1.2 Аналіз існуючих моделей систем контролю завантаження

Незважаючи на стрімкий розвиток інформаційних технологій, в судноплавстві не так швидко застосовуються новітні досягнення. Отже, й частка наукових розробок, що ведуться в галузі автоматизації процесу завантаження морського транспорту є незначною.

Серед більшості розробок переважає виключно теоретична частина розрахунків по навантаженню суден та оптимального розташування вантажів.

В одній з найбільш часто використовуваних моделей проведено формалізацію особливостей вантажних операцій і вимог до безпечного перевезення тарно-штучних вантажів [103], пропонується метод врахування укладання тарно-штучних вантажів за допомогою імітаційного моделювання, що дозволяє вирішувати оптимізаційні задачі завантаження судна.

Перевезення тарно-штучних вантажів має ряд особливостей, що впливають на обмеження щодо їх завантаження – обмеження за: ротацією портів завантаження; за сумісністю вантажів, що приймаються в один трюм; кріпленням вантажів, яке враховує сили інерції, що діють під час рейсу; кількістю ярусів вантажу, яку обумовлено міцністю вантажних місць і палуби; укладанням вантажів, що враховує особливості архітектури трюму і типорозміри вантажних місць [103].

Обмеження за ротацією портів передбачає завантаження з визначеною послідовністю:

$$G\{ \dots \} = \{ M(\text{Port}_{N_p}), \dots, M(\text{Port}_i), \dots, M(\text{Port}_2), \dots, M(\text{Port}_1) \}, \quad (1.1)$$

де  $M(\text{Port}_i)$  – множина партій вантажів для  $i$ -го порту множини  $N_p$ .



Обмеження по сумісності вантажів в одному трюмі описують матрицею сумісності  $Q$  з елементом сумісності  $q_{ij}(C_i, C_j)$ , який приймає значення 1, якщо пара вантажів  $(C_i, C_j)$  сумісна, а у інакше дорівнює 0. Завантаження дозволено, якщо всі елементи матриці  $Q$  дорівнюють 1, тобто:

$$q_{ij}(C_i, C_j) = 1, \text{ при } i, j = 1..Np_k, k = 1..N, \quad (1.2)$$

де  $Np_k$  – кількість партій вантажу, що приймаються в  $k$ -й трюмі.

Обмеження по кріпленню вантажного місця передбачає перевагу допустимого (розривного) значення зусиль в кріпленнях  $F_d$  над їх можливими максимальними значеннями  $F_{max}$ , які виникають при перевезенні вантажу:

$$F_{max} \leq F_d. \quad (1.3)$$

Обмеження по числу ярусів вантажу з урахуванням міцності палуби та допустимих навантажень:

$$\sum_t^{max} W_t \leq W_d \quad \sum_i^{max} W_t \leq S_s p_d, \quad (1.4)$$

де  $W_t$  – вага  $i$ -го вантажного місця;  $W_d$  – допустиме навантаження для  $i$ -го вантажного місця;  $S_c$  – площа палуби під  $i$ -м вантажним місцем;  $p_d$  – місцева міцність судна [103].

Найчастіше використовують обрахунок допустимої вантажомісткості кожного приміщення, яку обумовлено цілим числом вантажних одиниць. Для цього, залежно від співвідношення висоти трюму  $H_i$  і висоти вантажного місця  $h_j$ , трюм поділено на шари висотою, яка дорівнює висоті вантажного місця  $h_j$  з урахуванням сепарації і кріплення. Кожний з шарів поділено на ряди з кроком довжини вантажного місця  $l_j$ . Число вантажних місць в кожному ряді визначено співвідношенням мінімальної

ширини трюму  $B_{nkji}$  у місці розташування певного ряду і ширини вантажного місця  $b_j$ . Таким чином об'єм  $V_{mhi}$ , який можливо використати в  $i$ -му трюмі

$$V_{mhi} = v_j \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{n_{kji}} m_{nkji}, \quad (1.5)$$

де  $v_j$  – еквівалентний об'єм вантажного місця  $j$ -ї партії тарно-штучних вантажів або  $v_j = h_j l_j b_j$ ;  $N_i$  – число шарів;  $n_{kji}$  – число рядів в шарі;  $m_{nkji}$  – число вантажних місць в кожному ряду [103].

Представлена математична модель дозволяє здійснити графічне моделювання завантаження трюмів з використанням графічних примітивів – чотирикутника, еліпса, трикутника (рис. 1.1) [103].

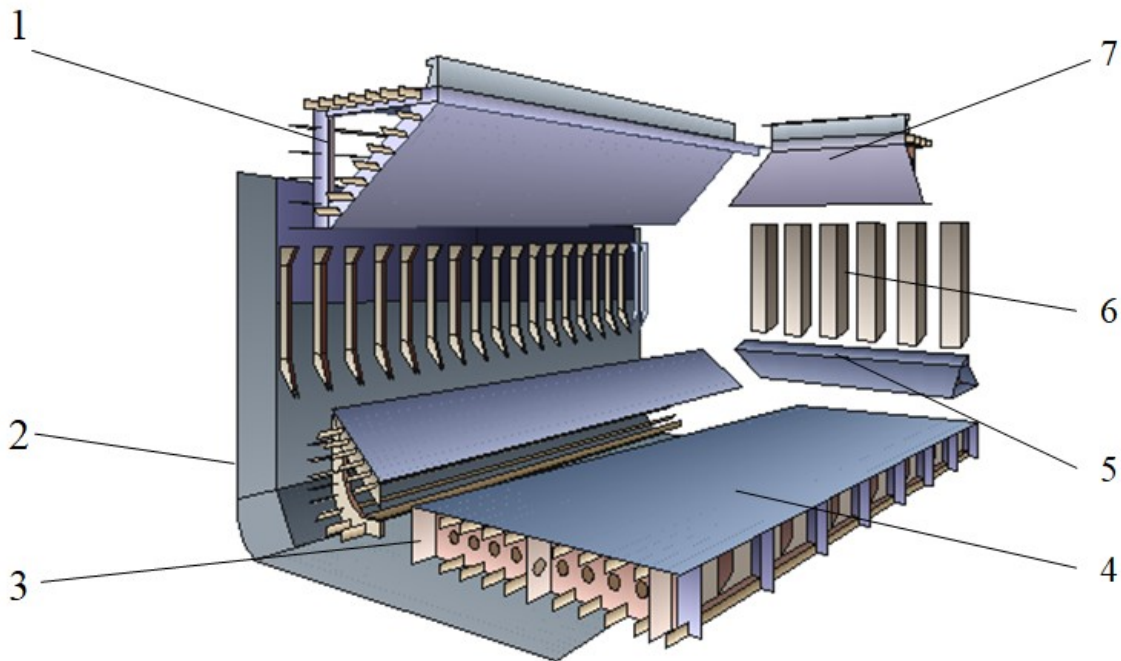


Рисунок 1.1 - Зображення повного переліку елементів, що становлять трюм:

1 – підвісний баластний танк з кришкою; 2 – борт трюму, 3 – нижній баластний танк, 4 – палуба трюму, 5 – хопер, 6 – перегородка, 7 – підвісний поперечний танк з кришкою.

При оцінці безпеки подальшого транспортування вантажів оцінюють сили інерції, що виникають при хитавиці судна.

Для визначення діючих сил інерції поперечного, поздовжнього і вертикального хитання можна використовувати ізольовані диференціальні лінійні рівняння по куту крену  $\theta$  і по куту диференту  $\beta$ , які описують відповідно бортове і кільове хитання [103]:

$$\begin{aligned} (J_x + m_x)\ddot{\theta} + \mu_x \dot{\theta} + \Delta h_0 \theta &= \chi_\theta \Delta h_0 \sin \omega_k t, \\ (J_y + m_y)\ddot{\beta} + \mu_y \dot{\beta} + \Delta h_{0\beta} \beta &= \chi_\beta \Delta h_{0\beta} \sin \omega_k t, \end{aligned} \quad (1.6)$$

де  $J_x, J_y$  – відповідні моменти інерції судна щодо поздовжньої осі X-X і поперечної осі Y-Y;  $m_x, m_y$  – узагальнені приєднані маси води відносно відповідної осі X-X або осі Y-Y;  $\mu_x, \mu_y$  – коефіцієнти демпфування відносно відповідної осі X-X або осі Y-Y;  $\Delta$  – водотоннажність (вага) судна;  $h_0, h_{0\beta}$  – відповідно поперечна і поздовжня початкові метацентричні висоти;  $\chi_\theta, \chi_\beta$  – редуційні коефіцієнти відповідно при бортовому і кільовому хитанні;  $\omega_k$  – частота хитання.

Оскільки амплітуда власних затухаючих коливань судна достатньо швидко обертається в нуль, то рівняння бортового хитання, як стаціонарний процес, можна характеризувати тільки вимушеними коливаннями [103]:

$$\theta = \theta_0 \sin(\omega_k t - \psi), \quad (1.7)$$

$$\text{де } \theta_0 = \frac{\chi_\theta \omega_0^2}{[(\omega_0^2 - \omega_k^2)^2 + 4h^2 \omega_k^2]^{1/2}}, \quad \psi = \arctg\left(\frac{2h\omega_k}{\omega_0^2 - \omega_k^2}\right), \quad h = \frac{\mu_x}{2(J_x + m_x)}, \quad \omega_0^2 = \frac{Dh_0}{(J_x + m_x)} \dots$$

Ще один з типів поширених моделей описує конфігурацію поверхні навалочного вантажу при виконанні вантажних операцій на судні. Модель може прийматись за вихідну при моделюванні завантаження тарно-штучних вантажів як частинний випадок. Головна вимога – розподіл вантажу має бути симетричним по центру вантажної палуби, а вісь  $Oz$  направлена вертикально вгору. Форма розподілу вантажу повинна бути представленою, як конус зі згладженою реальною вершиною, а його поверхня – у формі, яку приблизно можна описати рівнянням двохполосного гіперболоїда обертання [50]. Проте досягнути таких ідеальних умов важко навіть

при завантаженні сипучих вантажів, а у випадку з тарно-штучними підхід стає взагалі неможливим.

Для подібної ситуації використовують тригонометричні поліноми двох змінних:

$$T_n(x, y) = \sum_{k+m \leq n} (a_{km} \cos k\alpha x \cos m\beta y + b_{km} \sin k\alpha x \sin m\beta y + c_{km} \sin k\alpha x \cos m\beta y + d_{km} \cos k\alpha x \sin m\beta y) \quad (1.8)$$

У формулі (1.24) підсумовування виконано по індексам  $k$  і  $m$ , кожен з яких не негативний, а їх сума не перевищує ступені многочлена. При цьому  $d_{0m} = c_{k0} = b_{0m} = b_{k0} = 0$ . Тригонометричний поліном двох перемінних другого ступеню має вигляд [50]:

$$T_2(x, y) = a_{00} + a_{01} \cos \beta y + a_{10} \cos \alpha x + c_{10} \sin \alpha x + d_{01} \sin \beta y + a_{02} \cos 2\beta y + a_{11} \cos \alpha x \cos \beta y + a_{20} \cos 2\alpha x + b_{11} \sin \alpha x \sin \beta y + c_{11} \sin \alpha x \cos \beta y + c_{20} \sin 2\alpha x + d_{02} \sin 2\beta y + d_{11} \cos \alpha x \sin \beta y \quad (1.9)$$

Він має 13 ненульових коефіцієнтів, а многочлен третього ступеню має вже 25 коефіцієнтів, многочлен четвертого ступеню – 41, і т.д. Коефіцієнти в аргументах  $\alpha$  і  $\beta$  визначаються так, щоб в області визначення функції виконувались умови [50]

$$|\alpha x| \leq \pi, \quad |\beta y| \leq \pi, \quad \text{якщо} \quad \begin{cases} -u \leq x \leq u, \\ -v \leq y \leq v, \end{cases} \quad \text{то} \quad \alpha = \frac{\pi}{u}, \quad \beta = \frac{\pi}{v}$$

Виконавши відповідні перетворення вхідних даних, задача апроксимації зведена до побудови рівняння лінійної множинної регресії:

$$z = \lambda_0 + \lambda_1 \xi_1 + \lambda_2 \xi_2 + \lambda_3 \xi_3 + \lambda_4 \xi_4 + \dots + \lambda_r \xi_r, \quad (1.10)$$

$$\text{де } \lambda_0 = a_{00}, \quad \lambda_1 = a_{01}, \quad \lambda_2 = a_{10}, \quad \lambda_3 = c_{10}, \quad \lambda_4 = d_{01}, \dots, \quad \xi_1 = \cos \beta y, \\ \xi_2 = \cos \alpha x, \quad \xi_3 = \sin \alpha x, \quad \xi_4 = \sin \beta y, \quad \dots$$

Для визначення коефіцієнтів рівняння (1.10) використана формула:

$$(\lambda) = \left( (\xi)^T (\xi) \right)^{-1} \left( (\xi)^T (z) \right), \quad (1.11)$$

де  $(\lambda)$  – матриця-стовпець коефіцієнтів регресії,  $(\xi)$  – матриця перетворених вхідних даних,  $(z)$  – матриця-стовпець третіх координат точок поверхні [50],

$$(\lambda) = \begin{pmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_r \end{pmatrix}; \quad (\xi) = \begin{pmatrix} 1 & \xi_{11} & \xi_{12} & \dots & \xi_{1r} \\ 1 & \xi_{21} & \xi_{22} & \dots & \xi_{2r} \\ 1 & \xi_{31} & \xi_{32} & \dots & \xi_{3r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \xi_{N1} & \xi_{N2} & \dots & \xi_{Nr} \end{pmatrix}; \quad (z) = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \dots \\ z_N \end{pmatrix} \quad (1.12)$$

$r + 1$  – кількість параметрів рівняння;  $N$  – кількість відомих точок поверхні.

Якщо кут природного укосу вантажу відомий і не змінюється при проведенні вантажних операцій, то апроксимацію тригонометричними поліномами оптимально виконувати в області проекції кришки трюма на горизонтальну площину, а поза цієї проекції форму поверхні визначати диференціальним рівнянням з використанням методу найменших квадратів та методу сіток [50]:

$$S(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n) = \sum_{k=1}^N \left( G_{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n}(x_k^*; y_k^*) - z_k^* \right)^2 \quad (1.13)$$

Якщо прийняти умову, що точки  $P_k(x_k^*; y_k^*; z_k^*)$  лежать на поверхні вантажу, а точки  $\square P_k(x_k^*; y_k^*)$  – їх проекції на площину  $xOy$ , то для множини точок  $\{\square P_k, k=1, 2, \dots, N\}$  можна побудувати лінійну випуклу оболонку  $W$  – випуклий багатокутник як набір трикутників з вершинами в деяких із цих точок, який складає усі точки множини. Набір цих трикутників називається триангуляцією множини точок  $P_k$ . Триангуляція системи точок  $P_1 \dots P_{10}$  відображена трикутниками  $T_1 \dots T_{11}$ . Випуклою оболонкою цієї системи точок є багатокутник  $P_1 P_2 P_6 P_9 P_{10} P_7 P_3$ . Побудова триангуляції по системі точок не однакова, але число трикутників в кожній триангуляції однакове і дорівнює  $N + m - 2$ , де  $m$  – число внутрішніх точок (у даному випадку їх три:  $P_4, P_5$  і  $P_8$ ). Виконавши триангуляцію, поверхню вантажу над множиною  $W$  апроксимували за допомогою лінійної інтерполяції над кожним трикутником для кожної точки  $(x; y)$ , яка належить трикутнику  $T_j$  з вершинами  $\square P_{k_1}(x_{k_1}^*; y_{k_1}^*)$ ,  $\square P_{k_2}(x_{k_2}^*; y_{k_2}^*)$ ,  $\square P_{k_3}(x_{k_3}^*; y_{k_3}^*)$  полягаючи [50]

$$G(x; y) = z_{k_1}^* - (x - x_{k_1}^*) \frac{A_1}{A_3} - (y - y_{k_1}^*) \frac{A_2}{A_3}, \quad (1.14)$$

$$\text{де } A_1 = \begin{vmatrix} y_{k_2}^* - y_{k_1}^* & z_{k_2}^* - z_{k_1}^* \\ y_{k_3}^* - y_{k_1}^* & z_{k_3}^* - z_{k_1}^* \end{vmatrix}, \quad A_2 = \begin{vmatrix} z_{k_2}^* - z_{k_1}^* & x_{k_2}^* - x_{k_1}^* \\ z_{k_3}^* - z_{k_1}^* & x_{k_3}^* - x_{k_1}^* \end{vmatrix}, \quad A_3 = \begin{vmatrix} x_{k_2}^* - x_{k_1}^* & y_{k_2}^* - y_{k_1}^* \\ x_{k_3}^* - x_{k_1}^* & y_{k_3}^* - y_{k_1}^* \end{vmatrix}.$$

Графік такої функції представляє систему плоских трикутників в просторі, вершини яких знаходяться в точках  $P_k(x_k^*; y_k^*; z_k^*)$  і проєкціями яких на площину  $xOy$  є трикутники триангуляції.

Поза множиною  $W$ , в границях області трюма, виконаємо кусочно-лінійну екстраполяцію. Зони впливу трикутників  $T_j$  позначені  $Q_j$ . Для областей, в яких зони впливу пересікаються, використані подвійні індекси. Якщо точка  $(x; y)$  належить зоні впливу  $Q_j$  тільки одного з пограничних трикутників, то визначаємо для неї значення  $G(x; y)$  по тій же формулі, що і для внутрішніх точок цього трикутника [50].

Зона сумісного впливу  $Q_{j,i}$  двох трикутників обмежена відрізками, які належать зонам  $Q_j$  і  $Q_i$  впливу тільки одного із цих трикутників. Наприклад, область  $Q_{1,3}$  обмежена відрізками  $P_1A$  і  $P_1B$ . Щоб апроксимуюча функція залишалась неперервною по усій області визначення, її значення в точках області  $Q_{j,i}$  задаємо за допомогою лінійної інтерполяції по трьом крайнім точкам цієї області, значення в яких уже визначені. Для області  $Q_{1,3}$  використаємо лінійну інтерполяцію по точкам  $P_1, A$  і  $B$ , значення в яких уже розраховані. Зони впливу трикутників  $T_j$  позначені  $Q_j$ , а для областей, в яких зони впливу пересікаються використовуємо подвійні індекси [50].

Отримана функція тепер визначена в усіх точках  $(x; y)$  із проєкції трюма на площину  $xOy$ . При цьому вона неперервна на усій області визначення, графік її складається з трикутників і плоских полігонів (останні – тільки на краях), проходить через усі задані точки і може служити першим приближенням поверхні вантажу (рис. 1.6) [50].

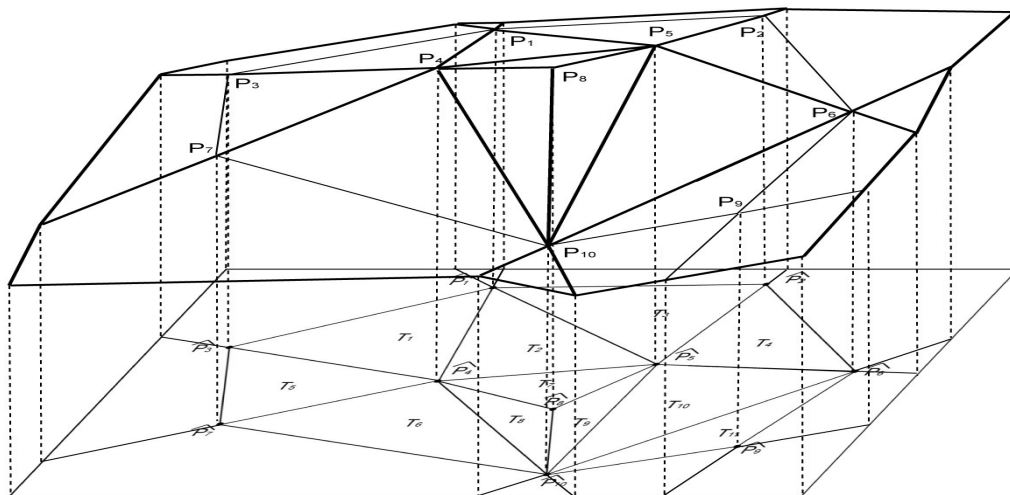


Рисунок 1.6 - Лінійна екстраполяція при кусочно-лінійному приближенні

Щоб приближення виконати більш точним, а трикутники кінцевого кусочно-лінійного графіка не відрізнялись від реальної поверхні, в якості вихідної прийнята триангуляція Делоне.

Як видно з приведених моделей, існуючі системи орієнтовані переважно на можливість оптимального планування завантаження чи, взагалі, роботі з сипучими вантажами, чия модель поведінки, хоч і може використовуватись з деяким наближенням, проте не дасть надійних результатів. Відсутня жодна математична модель, яка дасть можливість автоматично контролювати переміщення контейнерів в процесі завантаження, проводити їх контрольне зважування та визначати показники остійності судна.

### 1.3 Аналіз існуючих систем обліку та планування розміщення контейнерів на контейнеровозах

З точки зору безпеки важливо провести розрахунки міцності та остійності суден під час операцій з навантаженням. Зазвичай подібні обрахунки здійснюються вручну, та з ростом тоннажності суден та об'ємів перевезення, здійснювати їх без використання комп'ютера стає неможливим, оскільки обрахунки досить трудомісткі та можуть призводити до помилок. З лютого 1998 року Міжнародна морська

організація (International Maritime Organization (IMO)) зобов'язала власників суден використовувати комп'ютер та відповідне програмне забезпечення, здатне проводити розрахунки навантажень для насипних суден, що мають довжину більше 150 м. Згодом це положення було розширено 1 липня 1998 року в рамках правила, заведеного як IACS UR S1 для всіх суден довжиною понад 65 м. Завдяки швидкому розповсюдженню персональних комп'ютерів та зобов'язанням проводити обчислення поздовжньої міцності комп'ютерними засобами, подібні за стосунки стали використовувати всі судновласники [16, 48, 102].

Однією з найпростіших подібних систем є модуль графічного відображення SOLVO.WTM, який призначений для отримання всієї візуальної інформації про топології терміналу, його заповнювання, місцезнаходження контейнерів і персоналу в режимі двомірного графічного відображення.

Вся необхідна інформація відображається на схемі, що представляє собою вид на контейнерний термінал зверху з можливостями масштабування зон терміналу, місць зберігання та місця розташування техніки.

При запиті інформації за місцем зберігання система видає перелік контейнерів, які зберігаються в ній, і докладну інформацію по ним (рис. 1.7).

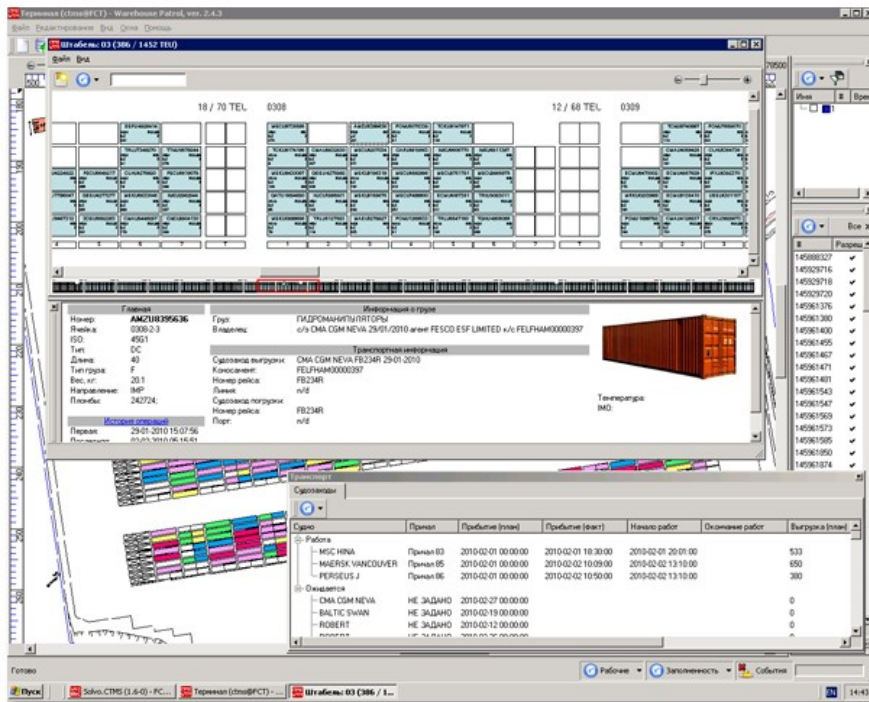


Рисунок 1.7 - Графічне вікно відображення візуальної інформації про наповнення терміналу та характеристики контейнерів, які зберігаються



До функцій програмного забезпечення відноситься:

- Групове редагування параметрів осередків.
- Групове заборона / дозвіл осередків для розміщення.
- Створення логічних зон на підставі виділених осередків.
- Створення правил розміщення контейнерів, шляхом виділення зон на плані із зазначенням критеріїв розміщення.
- Додавання в наряд завдання на переміщення в певну комірку.
- Створення робіт на переміщення контейнерів.
- Створення звіту про реальну місткість штабеля, ряду в табличному вигляді: кількість вільних і заповнених осередків, відсоток їх використання.
- Зручна система пошуку з бази контейнерів з певними параметрами (довжина контейнера, тип вантажу, осередок, захід судна і т.д.).
- Детальна інформація по кожному контейнеру (унікальний номер, ISO, тип, довжина, вага, напрямок (погрузка на транспорт або вивантаження на термінал). Інформація про вантаж і його власника, транспортна інформація [62].

Проте дане програмне забезпечення не дає можливості визначати суднові навантаження при проведенні вантажних операцій, тому в судноплавстві використовується досить рідкі тільки малими компаніями в силі її відносно не високої вартості.

Компанія Delta Marine спільно з партнером Mesh (Mesh Engineering & Software Co.) займається розробкою більш розвиненого програмного забезпечення для завантаження суден, яке б відповідало саме вимогам клієнтів. Їх розробка – DeltaLoad, це програмний додаток з широким переліком гнучких налаштувань характеристики судна, такі як тип, розміри, розподіл і т. д.. DeltaLoad – це інструмент, який дозволяє в інтерактивному режимі виконувати обчислення стану, порядок, список, поздовжню силу, стабільності судна в нормальному стані та при пошкодженні. Користувач в результаті віртуальних навантажувальних операцій зі стандартними навантаженнями (баласт, прісна вода, мазут, мастила та ін.) та нестандартних вантажів може дослідити всі можливі варіанти поведінки судна. Тим часом, використовуючи програмне забезпечення, можна отримати такі документи та

інформацію, як проект оглядового звіту, звіт про завантаження, розрахунки збивання / прогин, оптимізація вантажних операцій. DeltaLoad також може представити інтеграційний інтерфейс для багатьох різних систем вимірювання рівня танків, щоб постійно отримувати інформацію про рівень заповнення танка [9] (рис. 1.8).

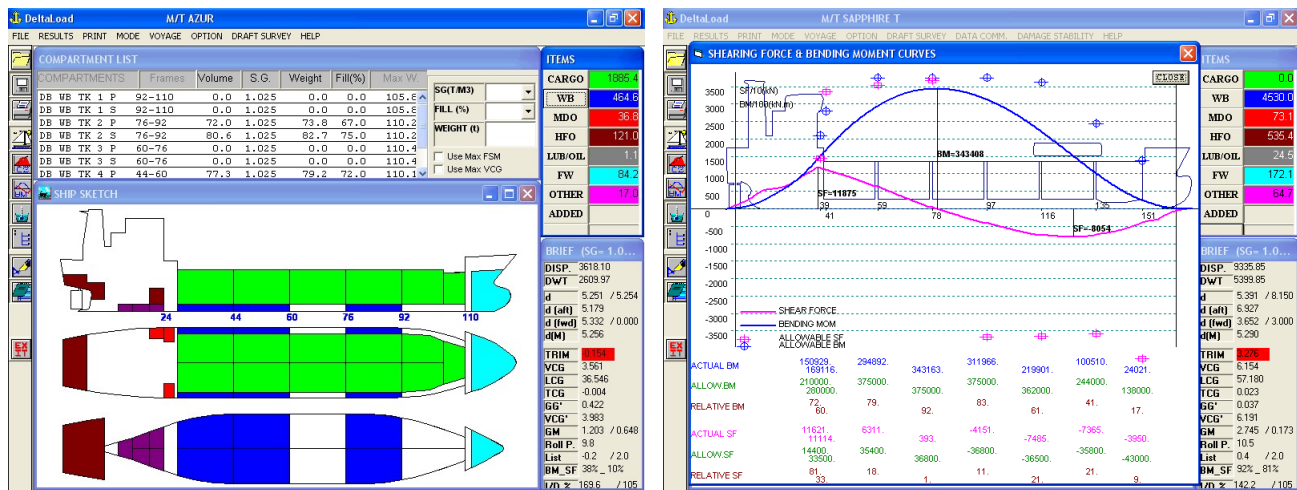


Рисунок 1.8 - Графічне вікно відображення візуальної інформації програмного забезпечення DeltaLoad

DeltaLoad - це програмний продукт, який може визначити показники стабільності на суден, які експлуатуються, відповідає вимогам щодо онлайн-роботи та інтеграції з системою вимірювання рівня резервуарів паралельно з технологічними удосконаленнями в додатках для автоматизації та, особливо для контейнерних суден – потребують використання програмного забезпечення для операцій навантаження та автоматизації, щоб максимально збільшити кількість вантажу та підтримувати тісну співпрацю з контейнерними терміналами.

Дані про завантаження можна вводити вручну з списку відсіків або з вибраного відсіку в графічному інтерфейсі. У тому випадку, коли на судні існує електронна система вимірювання танків, можна встановити зв'язок між цією системою та DeltaLoad через модуль додаткового підключення до мережі, який забезпечує взаємодію двох систем шляхом обміну даними або в потрібний час або постійно [9].

При завантаженні даних по вантажних відсіках, DeltaLoad здатний автоматично обчислювати новий стан рівноваги судна. Відповідність критеріїв, яка розраховується з кривої статичної остійності, перевіряється за критеріями ІМО.

Відсіки, які можуть бути пошкоджені відповідно до стандартів пошкоджень, визначених в кодах Marpol або ІВС, автоматично пошкоджуються при заданому навантаженні, і критерії перевіряються для кожного випадку пошкодження. Ця функція передбачає сценарії збитків без будь-яких вимог до досвіду щодо стабільності пошкоджень на стороні користувача.

В реальному часі при надходження нових даних в систему, автоматично розраховується новий стан рівноваги, обраховується розподіл ваги та плавучість відповідно до нового стану. Розподіл навантаження розраховується з різниці ваги та розподілу плавучості. Розрахунок інтеграла розподілу навантаження дає силу зсуву, при обчисленні інтеграла від сили зсуву дає момент згину. Розрахована сила зсуву та значення моменту вигину порівнюються з допустимими значеннями, наданими класифікаційним суспільством для контрольних точок.

Спеціальний редактор завантаження та інструмент звітування для завантаження контейнерів дозволяють економити значну кількість часу при створенні документації [9].

Ще одним представником систем обліку та планування розміщення контейнерів на контейнеровозах є розробка DELFTload™, яка є передовою програмою розрахунку остійності для практично будь-якого типу судна. Програмне забезпечення розроблено у співпраці з власниками судна та членами екіпажу. Результатом є інтуїтивно зрозуміла програма, яка легко експлуатується, і яка є лідером із 3D візуалізації умов завантаження [8].

Умови завантаження, сформовані за допомогою DELFTOLD™, аналізуються за допомогою дуже точної комп'ютерної моделі судна. Прямий метод обчислення, який базується на обробці поверхні, є значним поліпшенням порівняно з традиційними методами. Створюються точні та надійні результати, які відображаються візуально на екрані, а також у чіткому та зрозумілому звіті.

DELFTOLD™ basic – основна програма, що керує створенням умов завантаження та заповнення резервуарів. Тривимірний вигляд відображає, також і водяні танки, наповнювачі танків та розташування різних навантажень із умов навантаження. Розрахункові результати перевіряються на критерії стабільності. Модульна структура програмного забезпечення робить її придатною для багатьох різних суден. Залежно від типу судна в програмне забезпечення можна інтегрувати різні додаткові модулі. Так, додатковий модуль поздовжньої міцності обчислює силу зсуву і момент згину для будь-якого заданого рівня навантаження. Розраховані значення відображаються на графіках разом з вказівкою допустимих максимальних та мінімальних значень.

Модуль DELFTload-2 (Завантаження контейнера) служить для моделювання результату завантаження. Контейнери можуть завантажуватися на судна графічно або шляхом ручного присвоєння номерів бухти. Завантажені контейнери відображаються у 2D вигляді, або є можливість побудувати 3D-модель (рис. 1.9, 1.10) [8]. Контейнери, які завантажені на верхній частині палуби, автоматично включаються в розрахунки парусності судна.

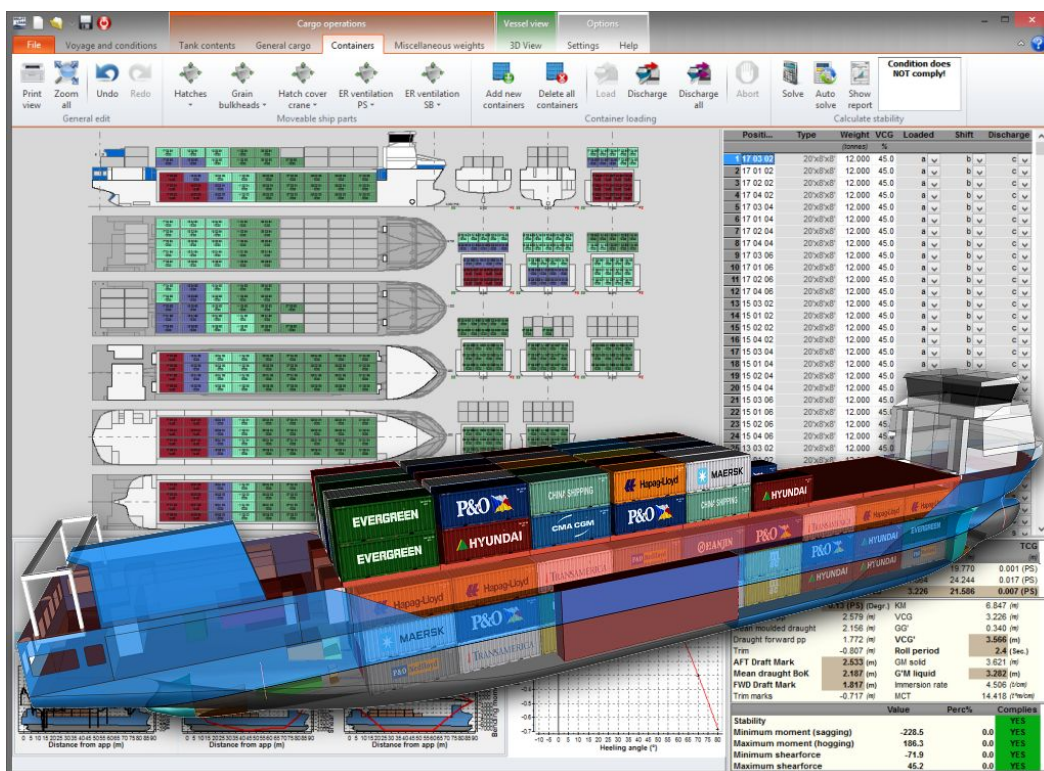


Рисунок 1.9 - Графічне вікно відображення візуальної інформації програмного забезпечення DELFTOLD™. Розрахунок міцності при статичному навантаженні

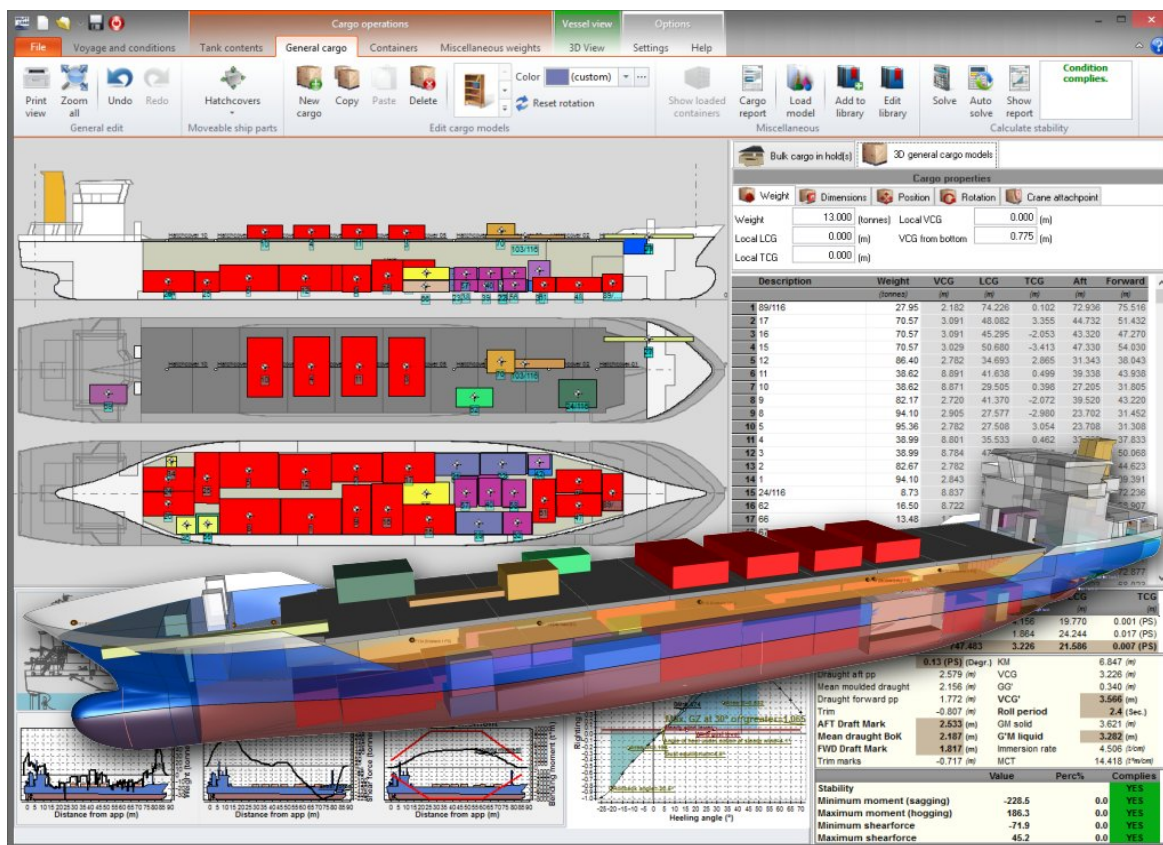


Рисунок 1.10 - Графічне вікно відображення візуальної інформації програмного забезпечення DELFTOLD™. 2D та 3D-модель розміщення контейнерів

Модуль DELFTload-3G. Загальний вантаж – генеральний вантажний модуль (рис. 1.11), що дозволяє розміщувати багаторазові вантажні об'єкти у трюмах, на люках або деінде на судні. Групу можна моделювати в 3D за допомогою геометричних примітивів, щоб візуалізувати простір, зайнятий вантажем. Крім того, також можна імпортувати моделі Google Sketchup. Велику безкоштовну бібліотеку 3D-моделей можна знайти на сайті веб-магазину Google 3D. Така ж 3D-модель вантажу використовується для обчислення парусності судна. Розширення генеральних вантажів також може використовуватися для заповнення трюмів однорідними навалочними вантажами. Різні предмети, такі як кришки люків, перегородки зерна тощо, можуть бути перенесені в попередньо встановлені місця, вибравши потрібне місце розташування в меню. Гнучкий вантажний модуль може бути додатково розширений, щоб включити можливість обрахунку стабільності навалочних вантажів [8].

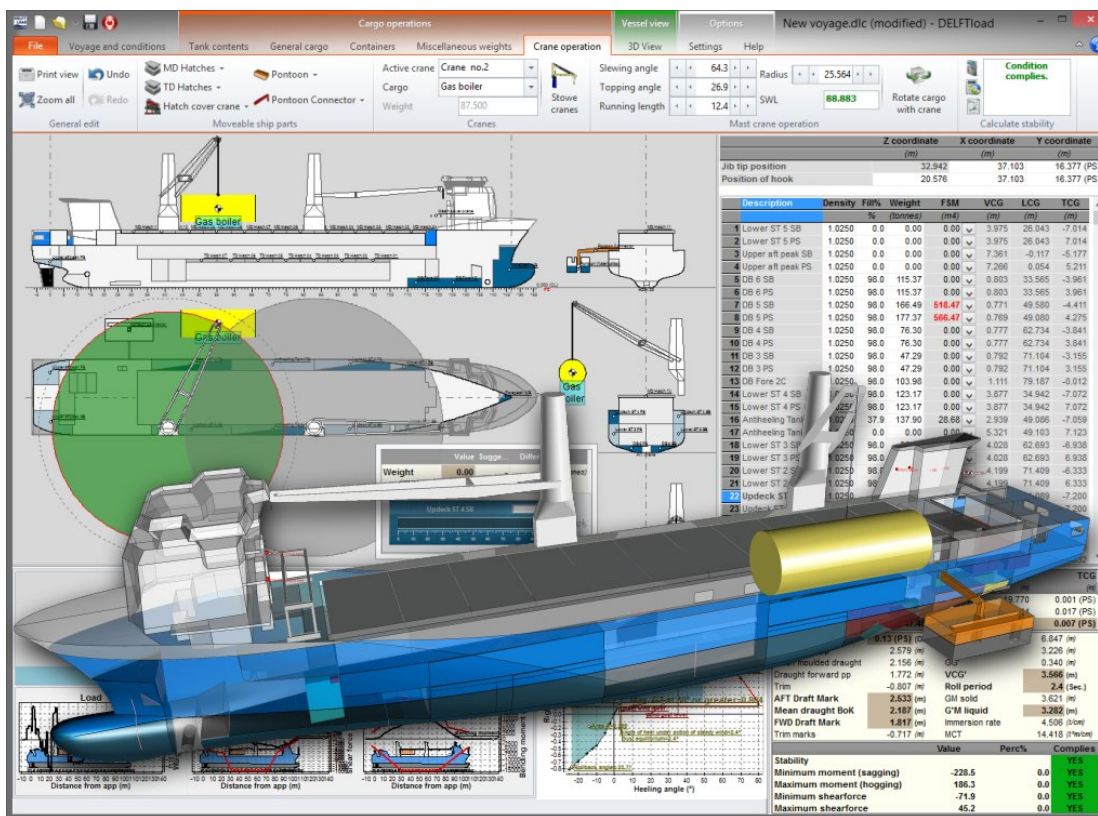


Рисунок 1.11 - Графічне вікно відображення візуальної інформації програмного забезпечення DELFTOLD™. Модуль завантаження

Модуль DELFTload-4. Навантажувальний важіль – модуль важкого підйому використовується для перевірки стабільності судна при роботі з вантажами за допомогою суднових кранів. В модулі підтримуються декілька різновидів кранів, які контролюються за допомогою комп'ютерної миші або за допомогою числово-програмного керування. Під час роботи переміщення перевантажувачів та вантажів оновлюються в режимі перегляду 2D та 3D у режимі реального часу.

Розширення також підтримує та візує понтони стабілізатора, що використовуються для додаткової остійності під час процесу підйому [8].

Ще однією особливістю є можливість підключення до системи вимірювання танків суден, тому їх вміст при обладнанні сенсором рівня, може безпосередньо імпортуватися в програму та підтримуватися в режимі реального часу. Одним з корисних застосувань є спостереження за змінами переміщення та дедвейтом при проведенні вантажних операцій з судном.

Подібних систем, які дозволяють графічно відобразити розміщення контейнерів в зонах зберігання на судні ще є досить багато, але заносити дані про перебування цих вантажів потрібно вручну, що приховує у собі загрозу помилок з неуважності. Також програми можуть пропонувати оптимізацію розміщення контейнерів, але вже після того, як дані про нього було внесено. А якщо контейнер встановлено і лише потім внесено в програму, то доведеться переставляти його, тобто витратити додатковий час та ресурси.

Отже, серед наявних систем можна виділити наступні недоліки [8, 9, 17]:

- необхідність купувати вантажні крани, які реалізують уже готові алгоритми автоматизованого завантаження, що вимагає вливання значних коштів за відносно короткий проміжок часу;

- закритість коду програм, що не дозволяє гнучко налаштовувати програму для потреб того чи іншого судна/порту/транспортної компанії;

- висока ціна на продукти фірм, які пропонують аналогічні системи (наприклад DELFTload коштує 150 євро за одну ліцензію);

- націленість на певний, конкретний тип суден, прив'язка лише до конкретного типу судна;

- недостатній рівень автоматизації у програмних продуктах (необхідність вручну вносити дані про перебування чи відсутність певного контейнера на судні).

Тому постає актуальне питання щодо встановлення контролю над процесом завантаження в портах для забезпечення правильності розміщення, дотримання показань ваги в різних зонах судна, дотримання правил техніки безпеки при розміщенні контейнерів з вантажами різних класів “небезпечності”.

#### 1.4 Формулювання задач дослідження

Проведений аналіз предметної області дослідження показав, що на сьогоднішній день процес контролю за вантажними операціями з судном зводиться лише до наступних дій:

При заході судна в порт за допомогою супутникових каналів зв'язку список вантажів, які треба завантажити вже передано в порт і на місці відбуваються підготовчі роботи [37]. Необхідні контейнери з портових зон зберігання доставляються до безпосереднього місця завантаження. Після того, як судно пришвартувалося починається процес. За ним слідкує капітан. Проте він може лише візуально слідкувати за тим, що відбувається. Жодних сигналів про те, що той чи інший контейнер було завантажено. Крани, керовані машиністами, починають перенесення вантажів, ставлять контейнери на вільні місця у виділених зонах завантаження судна. При цьому не завжди можна контролювати точну постановку вантажу, що може призвести до нестабільного встановлення. Після того, як було завантажено усі контейнери, екіпаж закріплює їх, відшвартовується і виходить у море.

Серед наявних апаратно-програмних засобів відсутні моделі інформаційних систем, що дозволяють об'єднувати в собі судові інформаційні системи та портові. Існуючі методи і моделі планування розташування не дозволяють оперативно отримувати актуальну інформацію з судна, відсутня можливість в реальному часі здійснювати моніторинг та контроль за переміщеннями контейнерів при їх завантаженні. Відсутня можливість додаткового контролю відповідності заявленої ваги контейнерів до їх заявленої. За рахунок цього виникає ймовірність втрати вантажів під час їх доставки, з'являються надлишкові фінансові витрати за простої в порту через відсутність можливості оперативного обміну інформацією та відсутності автоматизованої системи контролю та планування вантажних операцій. Для досягнення поставленої мети дисертаційного дослідження в роботі, відповідно до розробленої структурно-логічної схеми (рис. 1.10), поставлені наступні завдання:

- аналіз існуючих системних засобів планування та контролю за завантаженням контейнеровозів з метою виявлення їх основних недоліків;
- розробка математичної моделі системи завантаження контейнеровоза;





Рисунок 1.12 - Структурно-логічна схема дослідження

- розробка математичної моделі остійності судна при розподілі ваги контейнерів для можливості забезпечення зворотного зв'язку під час вантажних операцій та контролю за відповідністю розташування контейнерів до норм безпеки морського перевезення контейнерів, проведення аналізу навантаження різних секторів судна;

- розробка інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза та ведення журналу цього процесу;

- розробка методу завантаження контейнеровоза з верифікацією технічних параметрів та наявним зворотнім зв'язком;

- розробка програмного і апаратного забезпечення, яке реалізує отримані теоретичні положення, проведення експериментальних досліджень розроблених комплексів.

## 1.5 Висновки до розділу 1

Проведений у роботі аналіз виявив існуючі недоліки в відомих комп'ютерних моделях, методах та системах контролю завантаження контейнеровозів, а також визначив необхідні шляхи їх удосконалення для узгодження з проблемою автоматизації процесу контролю за вантаженими операціями.

1. Аналіз існуючих інформаційних моделей комп'ютерних систем контролю завантаження суден довів, що на сьогоднішній день немає ні однієї моделі, яка б задовольняла всім сучасним вимогам інтегративності та ефективності роботи.

2. Аналіз існуючих систем обліку та планування розміщення контейнерів на контейнеровозі попри їх широкі можливості показав їх низьку ефективність, відсутність гнучких адаптаційних алгоритмів у їх роботі, високу завантаженість капітана та відповідального за завантаження. Визначено необхідність розробки нових методів та систем для контролю за завантаженням судна, що дозволить контролювати режими завантаження в автоматичному режимі та даватимуть інформацію в у реальному часі.

3. Аналіз існуючих методів завантаження довів відсутність способів контролю переміщення контейнерів та визначив один з подальших напрямів дослідження.

4. В результаті аналізу існуючих комп'ютерних систем доведена відсутність наявних методів перевірки основних параметрів судна, таких як остійності та інше в режимі реального часу при проведенні вантажних операцій з судном контейнеровозом. Тому актуальною стає задача розробки методів автоматичного контролю за параметрами судна в режимі реального часу при проведенні вантажних операцій.

5. Розроблено структурно-логічну схему дисертаційного дослідження, визначені основні задачі та етапи роботи, послідовність їх виконання.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

#### 2.1 Розробка інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу

У першому розділі проаналізовано існуючі комп'ютерні системи планування та контролю завантаження контейнеровозів. В результаті аналізу було визначено основний напрямок дослідження: розробка інформаційної моделі комп'ютерних систем з функціями контролю переміщення контейнерів, їх допустимої ваги та наслідків їх позиціонування для подальшої остійності контейнеровоза.

Для вирішення цієї проблеми необхідно провести систематизацію та аналіз основних понять, технологій, обладнання, норм і вимог, що пред'являються до системи завантаження, як з боку замовника перевезення, так і з боку оптимізації проведення вантажних операцій та їх відповідності до критеріїв розміщення вантажів та подальшої перевозки. При цьому необхідно розглянути можливості об'єднання звичайної мережі передачі інформації з нетиповими мережами, такими як сенсорну мережу, суднову, портову та інші, пошук їх місця в загальній структурі інформаційного середовища, розробки нової концептуальної моделі апаратно-програмних комплексів відповідно до введених змін.

В ході досліджень визначено, що найбільш універсальними інформаційними моделями є моделі, що використовуються при побудові промислових інформаційних систем. Використання інформаційних моделей промислових систем дозволяє будувати універсальні комп'ютерні комплекси, здатні вирішувати різні дослідницькі або виробничі завдання. При цьому в разі відсутності будь-яких функцій в системі – в моделі просто не буде використовуватися відповідний рівень. Тому актуальним є розгляд і вдосконалення інформаційних систем для промислових комплексів

шляхом визначення в них місця нетипових комп'ютерних систем, а також розробки методів динамічної конфігурації моделі в залежності від розв'язуваних завдань.

На підставі проведеного дослідження в першому розділі існуючих систем планування та контролю завантаження було визначено, що у всіх розроблених системах на сьогоднішній день питання розміщення контейнерів визначається досить суб'єктивно, керуючись лише досвідом капітана судна, чи іншої відповідальної особи. Загальним недоліком існуючих моделей комп'ютерних систем є відсутність можливості контролювати вагу та переміщення контейнерів в реальному часі з можливістю автоматичної генерації звіту для подільшої корекції процесу завантаження. Системи планування та завантаження завжди розглядалися як окремі інформаційні системи, не пов'язана єдиними інформаційним простором з судновими системами.

Рішення завдання побудови об'єднаної комп'ютерної системи контролю завантаження є актуальною, так як дозволить істотно скоротити час на планування та сам процес завантаження і економічні витрати загалом при проведенні вантажних операцій з судном.

Рішення поставленого завдання на прикладі об'єднання системи планування та контролю процесу завантаження найкраще здійснити методами системного аналізу, використовуючи логічну схему проектування, базовану на формалізованих елементах (M, S, A, C, R, T), а також – графі (для наочності при топологічному аналізі) [95, 31, 38, 46, 56, 58, 61, 63, 82, 86, 89, 91, 98, 101].

Тут M – модель об'єкта проектування;

S – непорожня множина. Елементи множини – завдання проектування;

A – кінцева множина. Елементи множини – початкові дані;

C – кінцева множина. Елементи множини – обмеження, вимоги або інші залежності;

T – кінцева множина. Елементи множини – проектні рішення;

R – відображення, яке ставить кожній парі виду  $(a_{si}, c_{si})$ ,  $a_{si} \in A$ ,  $c_{si} \in C$  у відповідність непорожню підмножину множини T, що позначається як  $R(a_{si}, c_{si})$

Вся множина завдань проектування  $S$  вважається повністю вирішеною, якщо  $|R(a_{si}, c_{si})|=|S|$ . При цьому повинно виконуватися рівняння 2.1 [95].

$$|R(a_{si}, c_{si})|=1 \quad (2.1)$$

Таким чином, для візуального представлення завдання можна побудувати блок-схему відображення всіх вище перерахованих елементів на об'єкт дослідження (рис. 2.1).

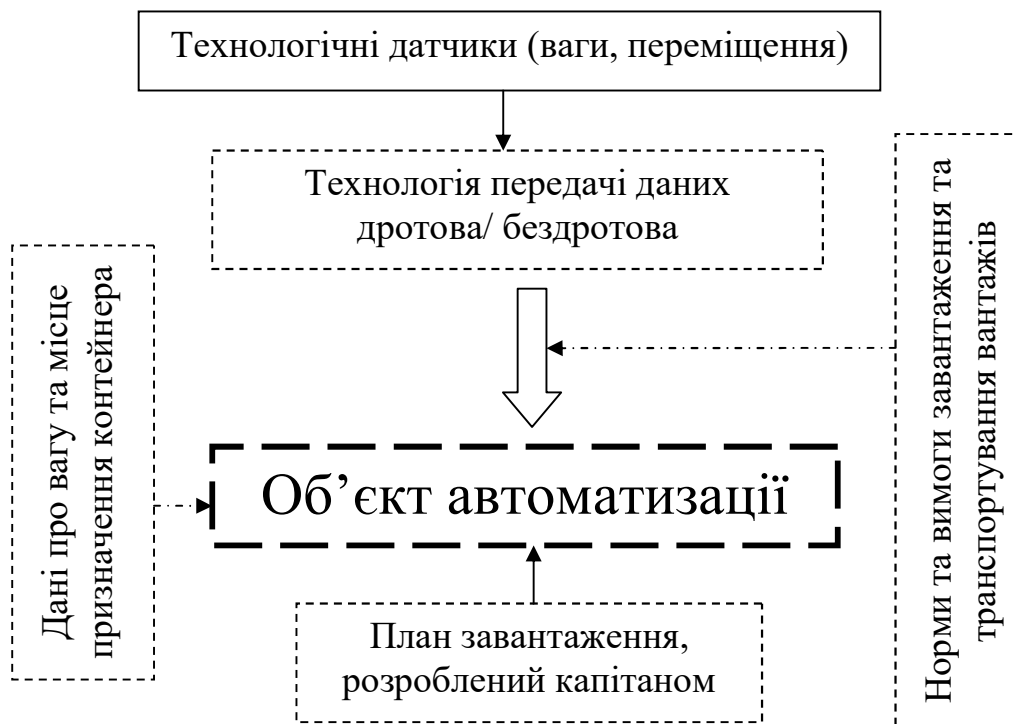


Рисунок 2.1 - Блок-схема рішення задачі проектування об'єднаної комп'ютерної системи контролю завантаження

Далі, на основі отриманих умов для вивчення структури взаємозв'язків елементів системи можна вже використовувати топологічний аналіз або аналіз зв'язності. Цей аналіз визначає зв'язність підсистем в системі [46, 82, 91].

Визначимо систему у вигляді  $S = \{X, R\}$ , де  $X$  – множина елементів;  $R$  – деяке відношення між елементами. Визначимо для відносини  $R$  матрицю інцидентів  $r$ , яка влаштована за принципом «хто перед ким має перевагу, або хто кому передає інформацію» [63, 61, 101, 38].

Якщо один елемент матриці має перевагу перед іншими, або другий передає інформацію першому, тобто відношення  $R$  виконується, то в клітку  $(i, j)$  записується 1; якщо ж відношення  $R$  не виконується, то в клітку  $(i, j)$  записується 0 [30, 46, 63, 86]. Отже, матриця інцидентності складається з нулів і одиниць (табл.2.1). Матриця в табл.2.1 побудована на основі узагальненої інформації про структуру процесу роботи портових завнтажень.

Таблиця 2.1 - Матриця інцидентності  $r$  для структури комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу

	Черговість доставки	Вага контейнера	Вартість вантажу	Ведення Журналу процесу завантаження	План завантаження, розробл. капітаном	Черговість надходження контейнерів	Розподіл ваги на палубі
Черговість доставки	0	0	0	1	0	1	0
Вага контейнера	1	0	1	1	1	1	0
Вартість вантажу	1	0	0	1	1	1	0
Ведення Журналу процесу завантаження	0	0	0	0	0	0	0
План завантаження, розроблений капітаном	0	0	0	1	0	1	0
Черговість надходження контейнерів	0	0	0	1	0	0	0
Розподіл ваги на палубі	1	1	1	1	1	1	0

Це завдання на даному етапі можна представити у вигляді неструктурованого графу (рис. 2.2). Виходячи з неструктурованого графа (рис. 2.2) побудувати інформаційну модель можна тільки після його структуризації за допомогою топологічного аналізу [89, 46].

## Черговість надходження контейнерів

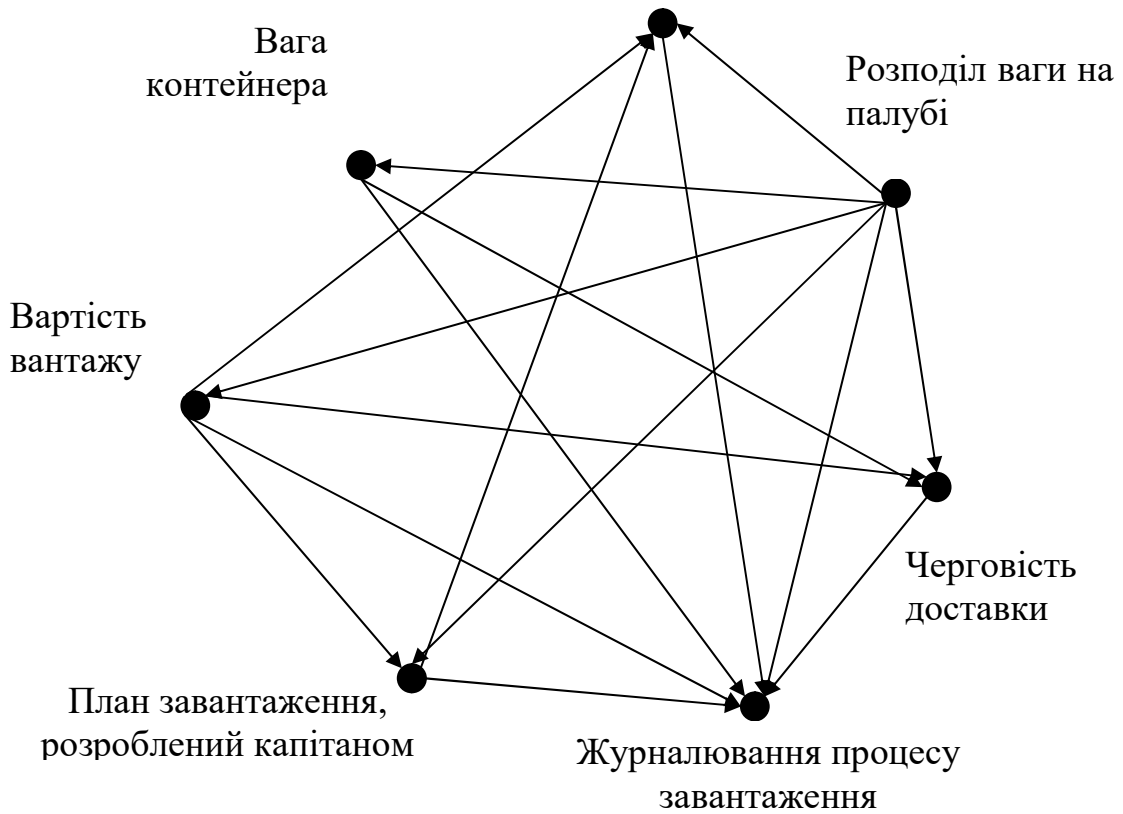


Рисунок 2.2 - Неструктурований граф взаємозв'язку елементів комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу

Рішення поставленого завдання здійснимо покроково, на кожному кроці визначаючи приналежність кожного з елементів певного рівня, починаючи з найвищого [56, 28, 30]. При цьому на кожному кроці рішення елементи певного рівня будуть виключатися з множини можливих рішень, тим самим спрощуючи вирішуване завдання.

Крок 1. Складаємо вектор-рядок  $A0$ , що дорівнює сумі рядків вихідної матриці  $r$ :  $A0 = (3 \ 1 \ 2 \ 6 \ 3 \ 5 \ 0)$ . Нульові елементи в рядку  $A0$  мають найбільшу перевагу по даному відношенню. Зазначені елементи утворюють порядковий рівень  $N0$ . У нашому випадку це розподіл ваги на палубі  $\{PBP\}$  (в табл.2.2 закреслено хвилястою лінією).



Таблиця 2.2 - Матриця інцентності  $r$  для структури комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу (рішення)

	Черговість доставки	Вага контейнера	Вартість вантажу	Ведення Журналу процесу завантаження	План завантаження, розробл. капітаном	Черговість надходження контейнерів	Розподіл ваги на палубі
Черговість доставки	<del>0</del> . <del>0</del> -	<del>0</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> .
Вага контейнера	<del>1</del> -	<del>0</del> -	<del>1</del> -	<del>1</del> -	<del>1</del> -	<del>1</del> -	<del>0</del> /
Вартість вантажу	<del>1</del> -	<del>0</del> -	<del>0</del> -	<del>1</del> -	<del>1</del> -	<del>1</del> -	<del>0</del> -
Ведення Журналу процесу завантаження	0	0	0	0	0	0	0
План завантаження, розроблений капітаном	<del>0</del> . <del>0</del> -	<del>0</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> . <del>1</del> -	<del>0</del> .	
Черговість надходження контейнерів	<del>0</del> -	<del>0</del> -	<del>0</del> -	<del>1</del> -	<del>0</del> -	<del>0</del> -	<del>0</del> -
Розподіл ваги на палубі	<del>1</del> ~	<del>1</del> ~	<del>1</del> ~	<del>1</del> ~	<del>1</del> ~	<del>1</del> ~	<del>0</del>

Крок 2. Перетворимо рядок  $A0$ , а саме:

а) нулі замінимо знаком "X";

б) виключимо з рядка  $A0$  значення, відповідні "нульовим" елементам, тобто розподіл ваги на палубі (також закреслимо цей рядок в матриці інцидентності).

В результаті отримаємо рядок  $A1 = (2 \ 0 \ 1 \ 5 \ 2 \ 4 \ X)$ . Нові нулі в рядку  $A1$  дають елементи, які мають більшу перевагу перед іншими (крім уже виділених елементів). Вага контейнера  $\{BK\}$  (в табл.2.2 закреслено штриховою лінією) утворюють новий порядковий рівень  $N1$ .

Крок 3. Перетворимо рядок  $A1$  аналогічно кроку 2, в підсумку отримаємо рядок  $A2 = (1 \ X \ 0 \ 4 \ 1 \ 3 \ X)$ . Утворений новий нуль відповідає елементові вартість вантажу  $\{BB\}$ , (в табл.2.2 закреслено суцільною лінією), що створює порядковий рівень  $N2$ .

Крок 4. Перетворимо рядок  $A2$ , виключаючи значення, відповідні "нульовим" елементам і замінюючи попередні нулі іксом. В результаті отримаємо рядок  $A3 = (0 X X 3 0 2 X)$ . Нові нулі відповідають елементам черговість доставки  $\{ЧД\}$  та план завантаження, розроблений капітаном  $\{ПЗРК\}$  (в табл.2.2 закреслено штрих-пунктирними лініями).

Крок 5. Після перетворення  $A3$  отримуємо:  $A4 = (X X X 1 X 0 X)$ , що дає нам рівень  $N4$  (в табл.2.2 закреслено двома суцільними лініями): черговість надходження контейнерів  $\{ЧНК\}$ .

Крок 6. Після перетворення  $A4$  отримуємо:  $A5 = (X X X 0 X X X)$ , що дає нам заключний рівень  $N5$ : ведення журналу процесу завантаження  $\{ЖПЗ\}$ .

Результати показують, що елементи множини розташовуються за рівнями порядку, починаючи з найвищого – рівень  $N0$ , і закінчуючи нижчим рівнем –  $N5$ .

Підсумки розрахунків можна представити в такий спосіб:

$\{ RVП \}$	$\{ BK \}$	$\{ BV \}$	$\{ ЧД, ПЗРК \}$	$\{ ЧНК \}$	$\{ ЖПЗ \}$
$N0$	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$

Підсумковий результат можна представити у вигляді рядкового графа (рис. 2.3), в якому на рядкові рівні накладаються внутрішні зв'язки елементів.

На рис. 2.3 введені наступні позначення: 1 – розподіл ваги на палубі, 2 – вага контейнера, 3 – вартість вантажу, 4 – черговість доставки, 5 – план завантаження, розроблений капітаном, 6 – черговість надходження контейнерів, 7 – ведення журналу процесу завантаження.

Як видно з графа на рис. 2.3 інформаційна модель комп'ютерної системи завантаження розділилася на 6 рівнів, кожен зі своїм колом завдань. За допомогою даної моделі в подальшому матимемо змогу розробити автоматизовану систему прийняття рішення при завантаженні контейнеровоза для отримання максимального економічного ефекту та підвищення безпеки транспортування вантажів за рахунок інтелектуалізованої системи прийняття рішення при позиціонуванні контейнера з

врахуванням часу його доставки до кінцевого місця призначення, його ваги та розподілу наявної маси вантажів на палубі.

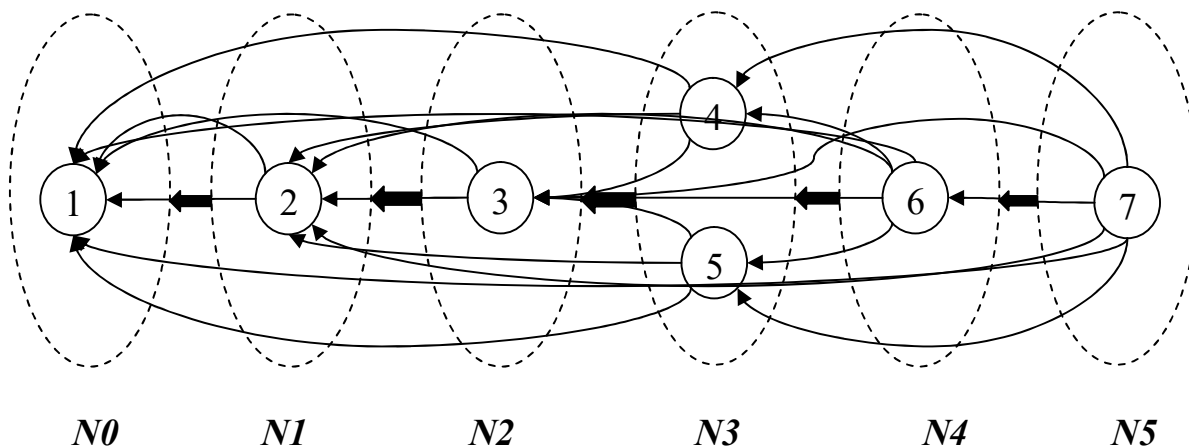


Рисунок 2.3 - Структурований граф взаємозв'язку елементів комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу

Подання системи з використанням UML-діаграм [31] наведено на рис.2.4.

Система реалізується в такий спосіб.

Передбачається, що при заході судна в порт, суднова комп'ютерна система з'єднується з портовою та на час стоянки вони утворюють єдину систему з сумісним інформаційним полем даних. На борту судна капітан після процесу верифікації в судновій системі вносить інформацію про план подальшого завантаження. Вся внесена інформація вноситься в суднову базу даних і є пріоритетною при подальшій роботі. В свою чергу, адміністрація порту має інформацію про підготовлені контейнери для завантаження та їх черговість надходження до порталу крану-завантажувача. Ще до моменту швартування судна, вказані системи при входженні контейнеровоза в порт синхронізуються і розпочинаються підготовчі роботи. Машиніст крану отримує свій план завантаження, користуючись інформацією з вказаних баз даних та починає здійснювати відповідні маніпуляції. Після закінчення процесу швартування машиністи крану розпочинають працювати в повну силу. Згідно завдань з баз даних здійснюють маніпуляції над контейнерами, при цьому

система в реальному часі визначає вагу завантажуваних контейнерів та веде журнал їх реальних переміщень. При 4 – точковій системі кріплення контейнера до крана система матиме можливість дати оцінку рівномірності розподілу ваги в контейнері та дати рекомендації для додаткового огляду фахівцем.

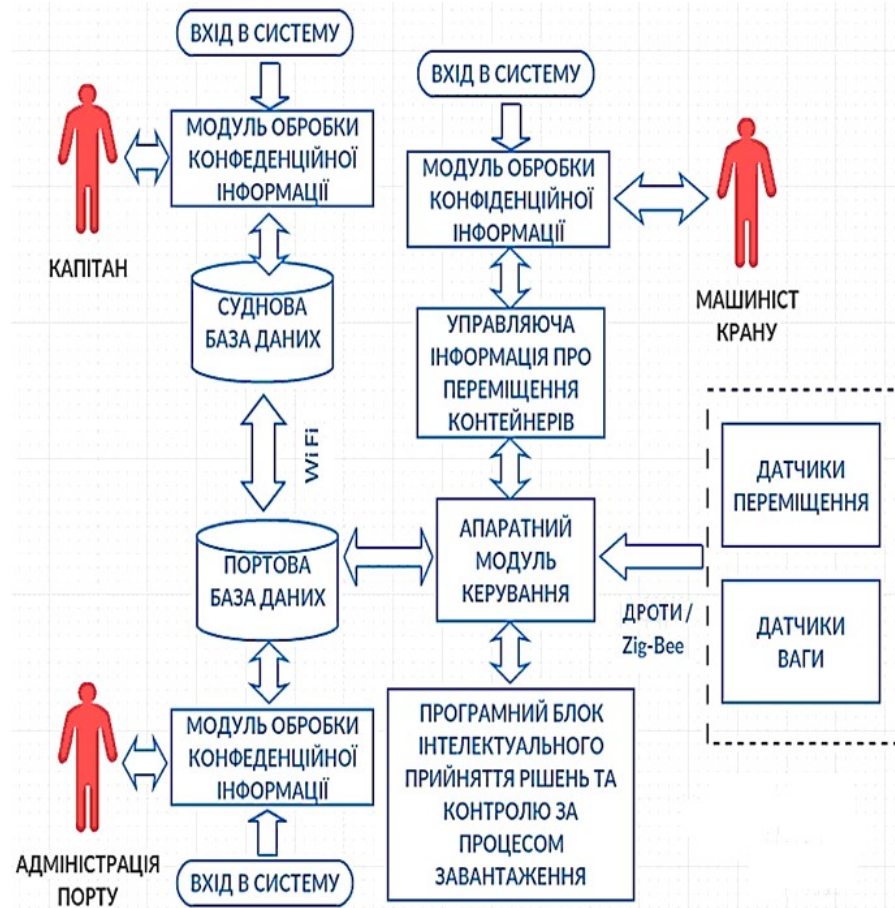


Рисунок 2.4 - UML-діаграма комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу

Таким чином, розроблена система дозволяє в автоматичному режимі формувати звітність про реальні переміщення контейнерів в середині порту та при завантаженні їх на контейнеровоз. Дається оцінка відповідності розподілу ваги в контейнері та проводиться додаткова перевірка його ваги у відповідності до заданої в базі даних. Структура системи дозволить автоматично спрогнозувати розподіл ваги на контейнеровозі, що важливо для подальшої остійності судна, спланувати оптимальне розташування контейнерів відповідно до їх черговості доставки та цінності вантажу. Система дозволяє чітко розмежувати права доступу та запобігає

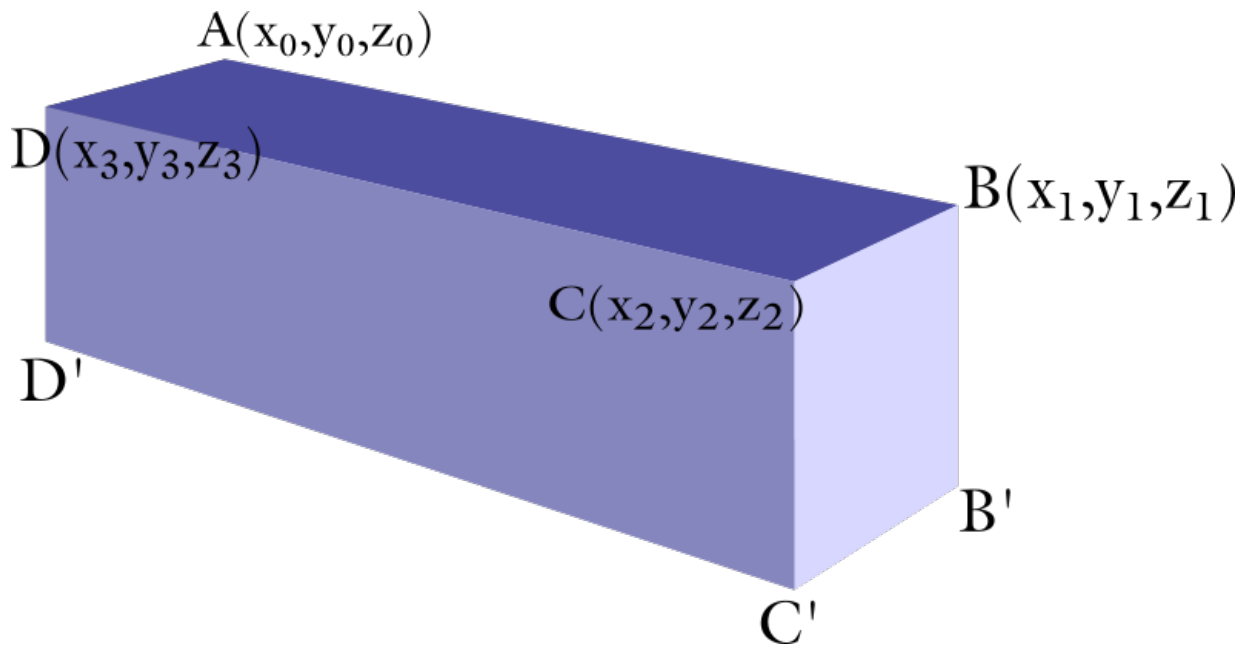
від хибних даних від сторонніх користувачів, зменшує час на вантажні операції з судном та підготовку звітної документації у відповідності до нормативних вимог. Система, наведена в цій формі, є лише концепцією і може інтерпретуватися кожним розробником по-своєму. Наприклад, при побудові невеликих систем автоматизації, наприклад для річкових портів з невеликим трафіком суден та обмеженим колом судновласників, можна всі існуючі бази даних об'єднати в один банк даних з використанням єдиної інформаційно-пошукової системи. Але при побудові систем, що оперують великими масивами інформації, дане спрощення не застосовується.

## 2.2 Розробка методу завантаження контейнеровозів

На всіх GPS-системах у порту судно є точкою, що дуже ускладнює контроль за процесом завантаження, так як дослідити положення тіла на основі даних GPS неможливо, або дуже дорого. Використання цієї технології перше, що спало на думку, коли мова зайшла про контроль за місцезнаходженням об'єктів. Так як перевізники не можуть ніяк модифікувати контейнер, то варіант із зовнішнім маркуванням також відпадає. Треба знайти спосіб контролю положення тіла, який би не передбачав ніяких додаткових об'єктів-орієнтирів та дозволяв залишити контейнер саме у тому вигляді, в якому його надав клієнт. Відповідно до цих вимог було обрано координатний метод контролю [67, 71].

Кожне тіло має координати в просторі. Увівши певну точку відліку можна точно сказати про місцезнаходження об'єкта у просторі. Звісно, одного набору координат буде замало інакше ми стикатимемося з ігноруванням фактичних розмірів тіла. Якщо ми розглядаємо контейнер, то говоримо про прямокутний паралелепіпед із заданими розмірами. Ідеально описати його положення у просторі можна зафіксувавши координати  $(x, y, z)$  усіх його вершин відносно певної базової точки (початку координат), але для спрощення, маючи розміри того чи іншого контейнера можна обмежитися координатами чотирьох точок, координати нижньої основи можна розрахувати, якщо вона буде паралельна до земної поверхні.

Паралельність можна оцінити розглянувши координати  $z$  точок верхньої основи (рис. 2.4, а) [67].



а)



б)

Рисунок 2.4 - Фіксовані точки для визначення координат ( $A'$  прихована) (а) та розрахунок нахилу (б)

Інерційні навігаційні системи (ІНС) будуть розміщені в точках  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ .  $d$  — діагональ бічної грані. Решта координат буде розрахована. Розрахунки проводитимуться наступним чином:

- візьмемо точку  $A$ , як базову, її  $z = Z$ ;
- розглянемо прямокутник  $AA'B'B$ .

У випадку, коли  $z_b = Z$ , маємо кут  $\varphi = 0$ . Якщо аналогічна ситуація повториться з прямокутником  $CC'D'D$ , то прямокутник  $ABCD$  паралельно перенесеться в  $A'B'C'D'$  з відповідною зміною координат з цих точок на  $Z$ .

Якщо на одній із бічних поверхонь не виконуватиметься умова  $\varphi = 0$ , доведеться виконати додаткові розрахунки. Треба розрахувати нахил відносно точки (рис. 2.4, б) [68].

$$\tan(\angle B_0AB) = \frac{\Delta h}{R} \quad (2.2)$$

Якщо тангенс кута збільшуватиметься до певного порогового значення, то машиніст крану отримуватиме попередження і має вирівняти положення.

Аналогічним чином можна описати місця, в яких ці контейнери можна зберігати (склад в порту) чи перевозити (зони завантаження на судні). Також можна виконати розмітку таких зон в порту (рис. 2.6).

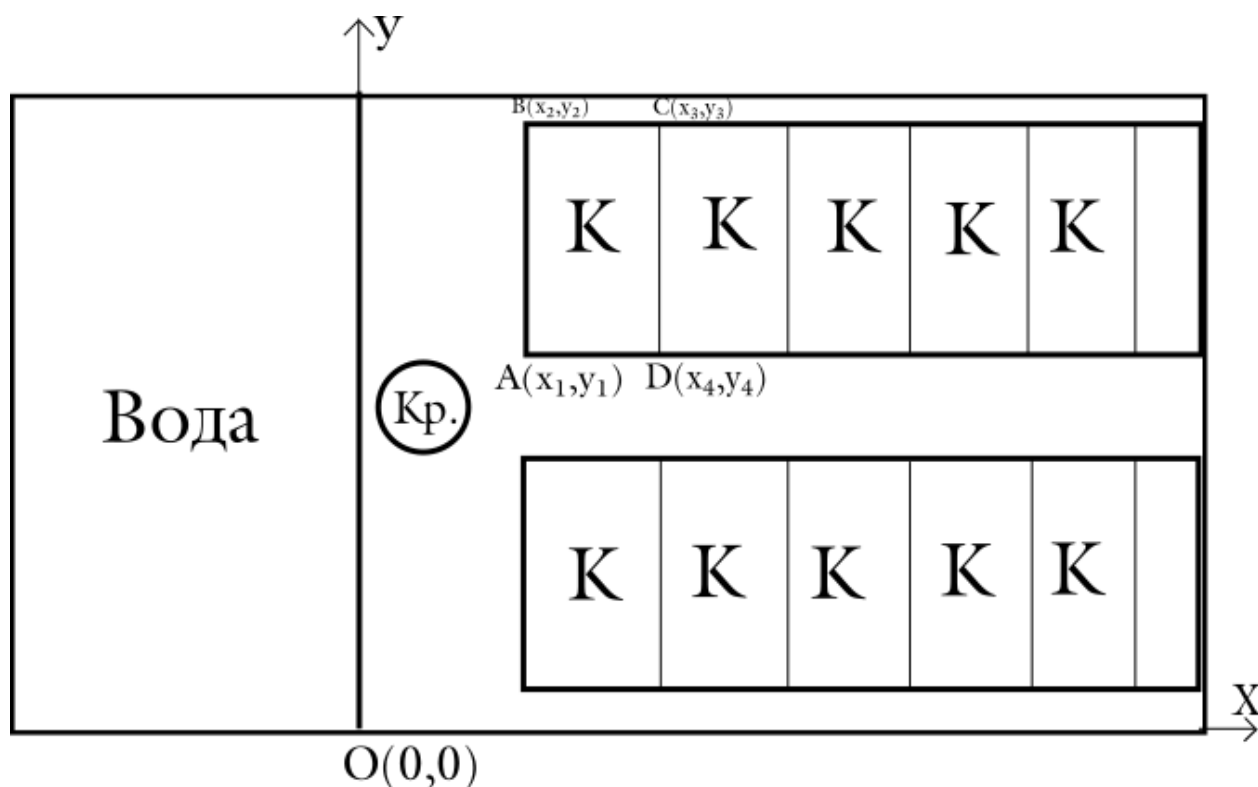


Рисунок 2.6 - Карта розміщення контейнерів у порту (прямокутник  $ABCD$  демонструє координати одного з можливих контейнерів),  $K$  — контейнер,  $Kp.$  – кран

Таким чином можна отримати дані про місцезнаходження того чи іншого контейнера відносно легко, маючи перед собою карту зон завантаження чи

портового складу. Створивши базу даних, яка пов'язуватиме координати об'єкта та його ідентифікатор (посилання на інформацію про цей контейнер) можна буде знаходити необхідний об'єкт, знаючи його координати і навпаки. А це і є однією з основних цілей системи, яка контролюватиме завантаження.

Треба тільки навчитися достатньо точно розраховувати або визначати координати точок в просторі. В будь-якому випадку доведеться отримувати певну інформацію про зміну стану контейнера, щоб дані перезаписувалися або розраховувалися спочатку. Враховуючи кількість необхідних операцій, які треба виконувати для підтримки актуальних даних та частоту виконання можна віддати пріоритет способам, які дозволятимуть безпосередньо отримати координати тіла, що рухається. Для цих цілей можна використовувати ІНС [60, 43], які дозволяють здійснювати виміри прискорення та кутові швидкості тіла і відповідно до цього розрахувати положення в просторі. Вони складаються з трьох основних компонентів [77]:

- акселерометра, пристрою, який визначає прискорення;
- гіроскоп (и), пристрій (ої), що визначають кутові швидкості;
- електронний обчислювальний пристрій, що виконує первинний аналіз даних та на їх основі розраховує швидкість руху та, власне, координати.

Треба, щоб такі ІНС були розташовані принаймні в двох вершинах контейнера. Оскільки маркувати, змінювати зовнішній вигляд чи встановлювати певні, додаткові компоненти на контейнер може тільки власник, доцільно встановити ІНС на кріплення крану. Під час перенесення вантажу кріплення крану під'єднується до кутів, тому положення датчиків на кріпленнях будуть збігатися з положенням кута тіла в просторі. До того ж фіксувати зміни положення, відповідно до наших задач, треба тільки під час перенесення.

Таким чином система буде працювати так:

1. Машиніст крану, отримавши координати потрібного контейнера, підіймає його краном. В момент зчеплення в базі виконується пошук інформації про вантаж,



який буде перенесено. Отримавши розміри контейнера розраховуються координати всіх інших вершин.

II. Виконується переміщення контейнера на судно відповідно до координат, які були задані капітаном для даного контейнера.

III. Після того, як контейнер було встановлено на потрібне місце, суднова частина системи оповіщається про це. В портову базу відправляється команда, яка підтверджує успішне перенесення вантажу.

Так буде повторюватися поки всі вантажі не буде завантажено. Окрім того, відповідно до параметрів судна система, а саме її суднова частина може висловлювати пропозиції щодо найбільш раціонального розміщення вантажів. Для того, щоб усі розрахунки здійснювалися якомога точніше — в судовій частині буде створено інтерфейс, який дозволяє налаштувати специфічні параметри та оновити, чи відкоригувати карту збереження вантажів (рис. 2.7).

Карта Збереження Вантажів (далі КЗВ) — це формальний опис усіх зон завантаження, з їх описом і урахуванням специфіки конкретного судна, кожне місце для контейнера в якій поставлено у відповідність до координат відносно певної, базової точки контейнеровозу. Але виникає проблема існування двох Декартових координатних просторів, адже таким чином кран не дізнається координат місця призначення через те, що не існує зв'язку між ними. Для вирішення цієї проблеми буде виконуватися узгодження координатних просторів. Після швартування судна в порту і встановлення каналу зв'язку із портовими кранами відбудеться передача КЗВ і розрахунок координат не відносно базової точки судна, а відносно базової точки портових кранів. Всі перетворення відбуватимуться в програмному комплексі й капітан, працюючи з КЗВ на судні може відправляти поточні, зрозумілі йому координати, які будуть автоматично перераховані системою.

Далі наведемо вимоги щодо каналу зв'язку. На борту судна є супутникові канали зв'язку через які можна отримати доступ у мережу Інтернет. Відповідно можна надсилати дані через цей канал, але це є не надто результативно, до того ж дані в процесі передачі можуть бути перехоплені. Набагато більш надійним є прямий зв'язок кранових та судна. Для забезпечення зв'язку можна скористатися

бездротовим зв'язком (дротове з'єднання було відкинута як нераціональне). З поміж стандартів бездротової передачі даних, які раціонально використовувати для побудови локальних мереж було обрано стандарт IEEE 802.11, а саме його реалізацію — WiFi. На судні буде встановлено роутер або їх низка, який(і) зможе покривати розраховану відповідно до розмірів судна зону. В зоні завантаження стоятиме ретранслятор сигналу для забезпечення необхідного радіусу дії відповідно до реалій того чи іншого порту та особливостей його зон завантаження (рис. 2.8) [67, 68].

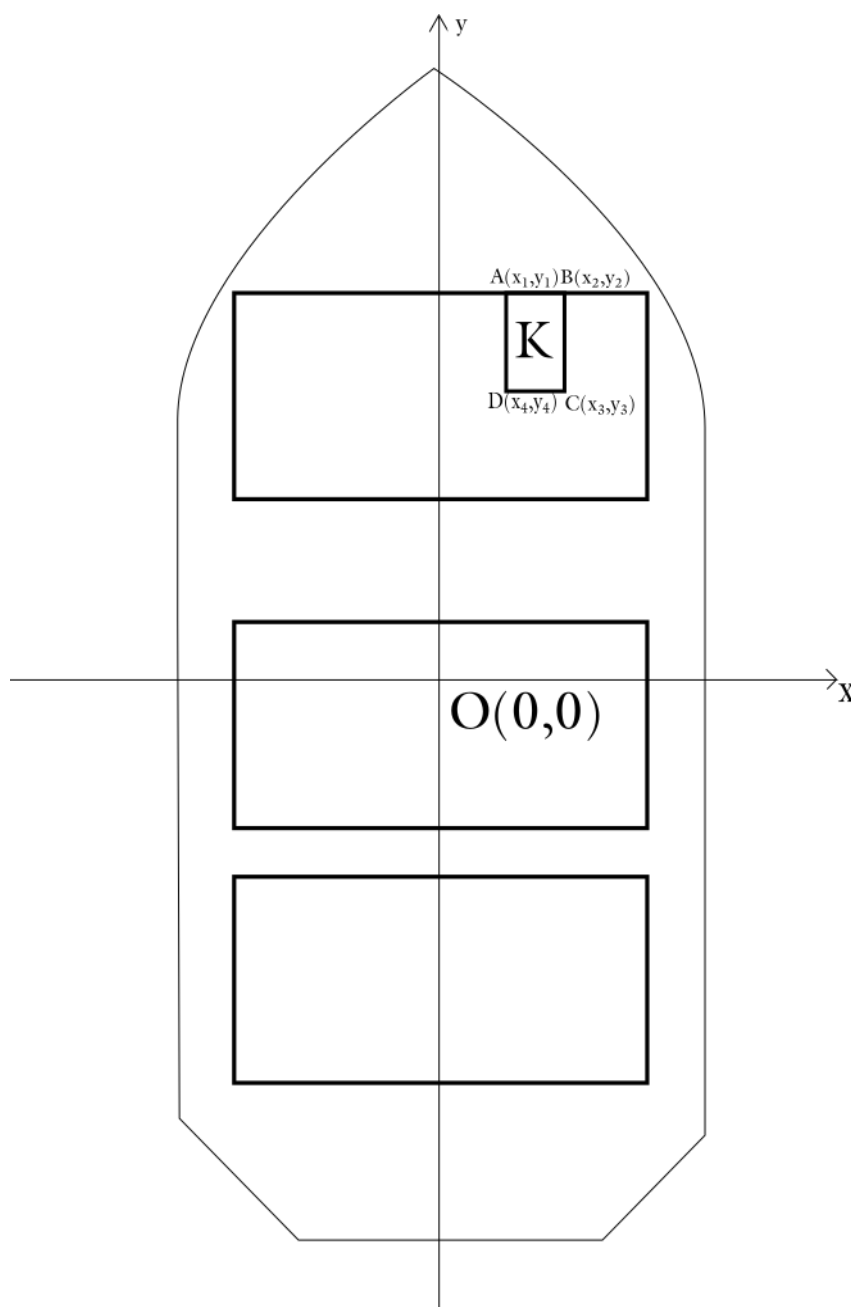


Рисунок 2.7 - Карта збереження вантажів, К - контейнер для прикладу, який характеризує розміщення

Всі модулі, встановлені на кранах відправлятимуть інформацію на судову частину системи. Вона являє собою комп'ютер, який приєднано до роутера, що створює мережу комунікації. На комп'ютері встановлено програмне забезпечення, яке виконує обробку всіх даних, які надходять від кранів. Заповнюється судовий реєстр вантажів, який являє собою надбудову на КЗВ і, по суті, поєднує координатну інформацію про місцезнаходження об'єкта і дані про цей об'єкт. Напрямку з даними, які надходять з мережі, працюватиме лише один програмний модуль. Буде відбуватися логування та занесення контейнера до реєстру вантажів судна. Всі інші програмні модулі працюватимуть з ним. В програмі передбачено: графічний інтерфейс користувача, який дозволяє відобразити розміщення контейнерів; модуль, який дозволяє переглянути історію перевезень; модуль аналізу розміщення, який підбиратиме найбільш оптимальне положення для контейнера; модуль зв'язку, через який здійснюватиметься зв'язок між судном та крановими.

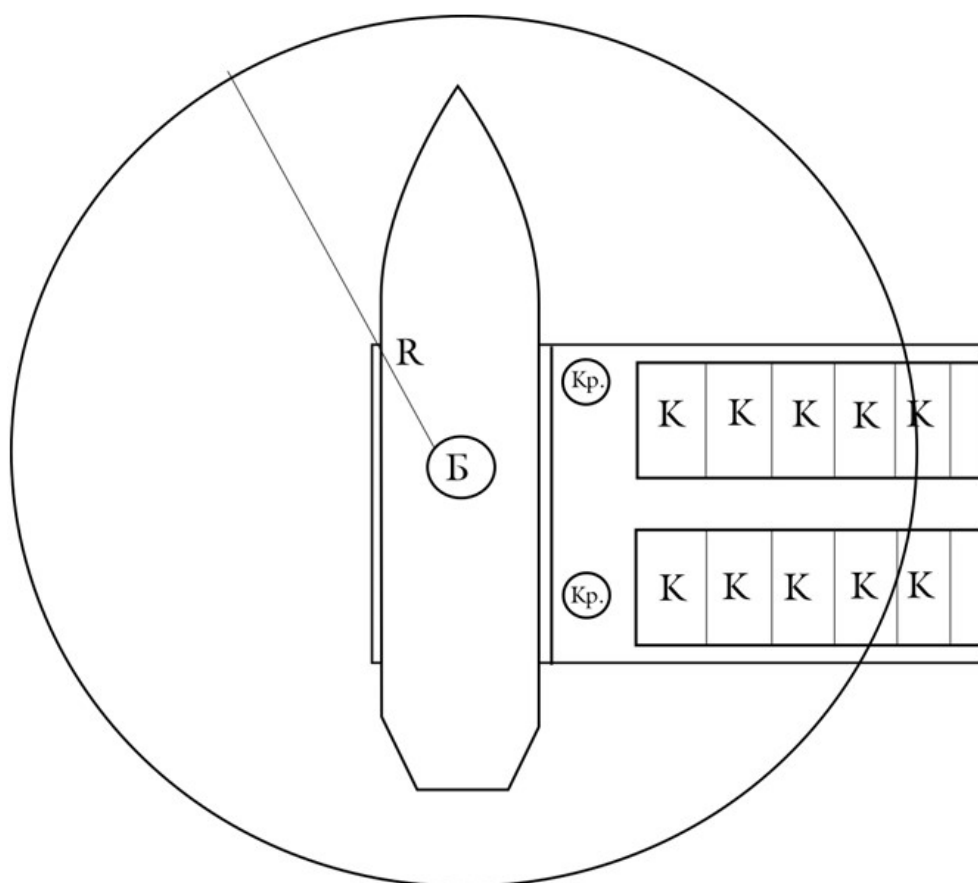


Рисунок 2.8 - Покриття WiFi — бази (Б), яка має радіус покриття ( $R$ ,  $R > L$  (довжина судна)/2)

Кранова ж частина системи складається з двох модулів ІНС та мікроконтролеру, через який здійснюватиметься передача інформації. Мікроконтролер під'єднується через інтерфейс RJ-45 до більш потужного роутера. Можлива пряма передача з мікроконтролера, якщо до його складу входить вбудований модуль WiFi. Таким чином маємо мережу, як зображено на рис. 2.9 [67, 68, 69, 71].

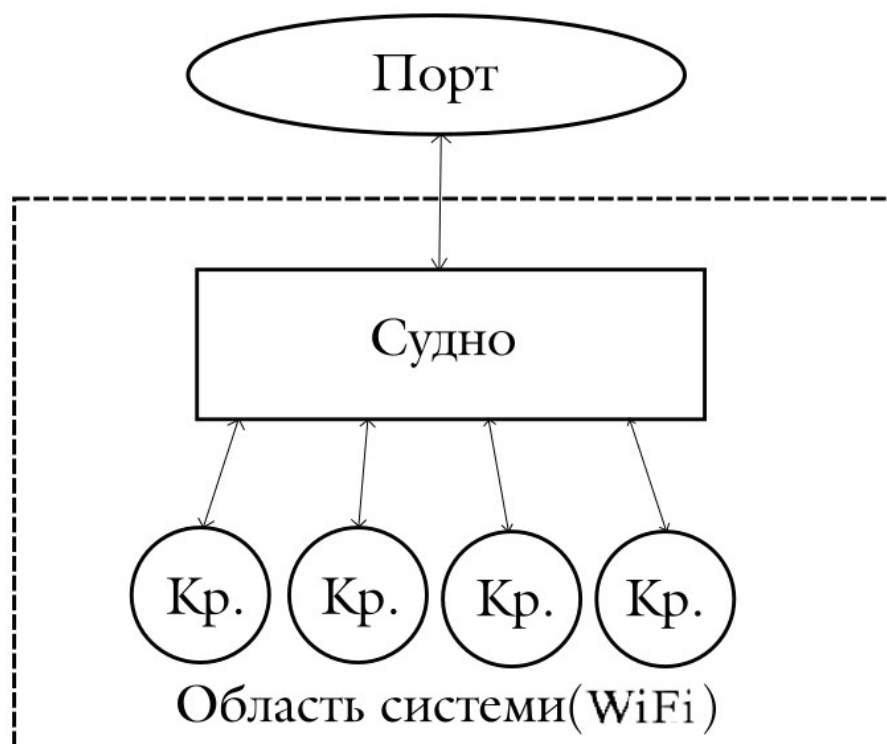


Рисунок 2.9 - Ієрархія мережі

Таким чином, модель дає можливість здійснити повну автоматизацію контролю за процесом завантаження, об'єднати в єдину мережу судові та портові комп'ютерні інформаційні системи, здійснювати якісний аналіз процесу завантаження та скоротити його процес загалом.

### 2.3 Розробка розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження

Незважаючи на значну кількість задіяних працівників в процесі завантаження контейнерів на контейнеровоз, найбільша відповідальність покладається на капітана

судна. В найбільш складних ситуаціях, капітану доводиться самотійно знаходитись на містку чи на палубі судна та слідкувати за процесом. В наш час такий підхід неприпустимий, оскільки в такому разі капітан не може займатися іншими управлінськими питаннями, іншим чином ефективно використати час стоянки судна в порту. Оптимальним рішенням вказаної проблеми є повна автоматизація реєстрації всіх процесів, що відбуваються при проведенні вантажних операцій з судном та введення в модель додаткового блоку мобільного терміналу, за яким капітан судна зможе слідкувати за перебігом процесу завантаження з будь якої точки порту, чи міста.

В розробленій моделі (п. 2.1) роль капітана передбачається для попереднього планування процесу завантаження, введення службових даних до системи та контроль за перебігом вантажних операцій з мостика, що позбавляє його мобільності під час стоянки в порту. В спеціалізованих системах широкої популярності набули спеціалізовані термінали віддаленого доступу, як з дротовим з'єднанням, так і з бездротовим, хоч номенклатура на ринку останніх не така широка, як попереднього варіанту. За такого підходу, капітан набуває мобільності, але натомість він змушений буде постійно носити з собою зайвий прилад. Оскільки в процесі завантаження основне завдання – це моніторинг перебігу процесу та можливість оперативного введення корелюючих завдань, логічним виходом з ситуації буде адаптації наявних апаратно-програмних засобів, що вже знаходяться у власності капітана, до вирішення поставлених завдань. До таких приладів можна віднести планшетні комп'ютери та сучасні смартфони на базі операційних систем Android чи iOS. На рис. 2.10 проведено модель взаємодії мобільної системи доступу до серверу даних.

Дана модель взаємодії передбачає використання довільної технології передачі даних, WiFi чи GSM / GPRS. За використання такого підходу знімаються обмеження на пересування капітана. Разом з тим виконується ще одна вимога, яка пред'являється до промислових комплексів та систем збору даних – резервування каналу передачі даних. Здійснювати розробку програмного забезпечення потрібно буде таким чином, щоб воно постійно обирало найшвидший з доступних протоколів передачі даних.



Рисунок 2.10 - Модель взаємодії мобільної системи доступу до серверу даних

Таким чином, розроблена модель з п.2.1, рис. 2.4 набуде вигляду, приведеного на рис. 2.11.

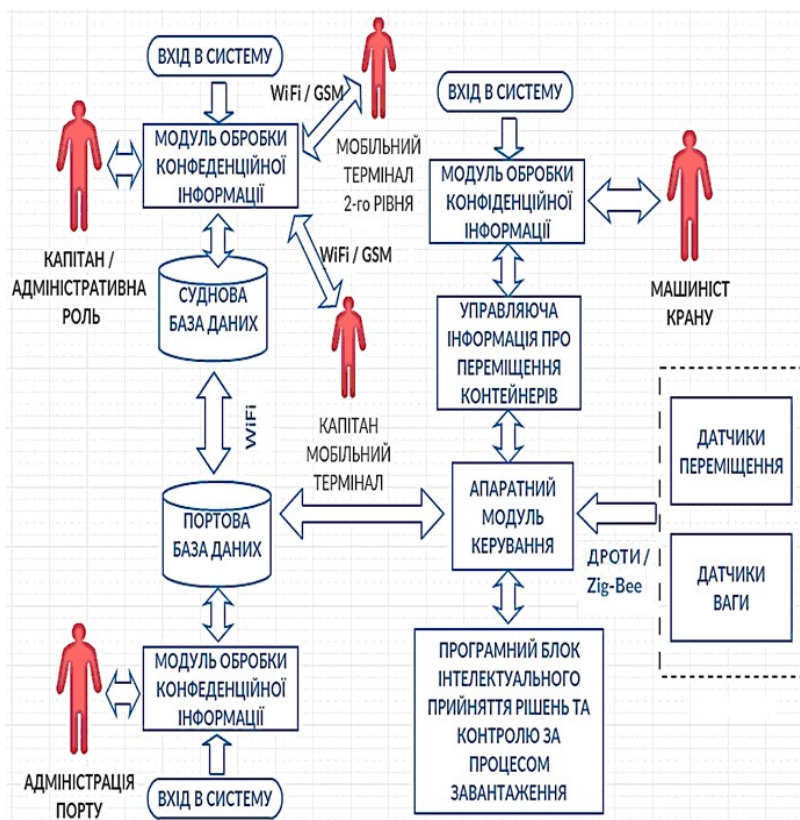


Рисунок 2.11 - UML-діаграма комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу з врахуванням мобільних пристроїв моніторингу даних

Пропонована методика забезпечить безперервне надходження даних в реальному часі про процес завантаження.

За відсутності мережі WiFi можуть зніматися зайві кошти при користуванні технологією GSM / GPRS. Для уникнення вказаної ситуації в програмному забезпеченні, яке розроблятиметься, потрібно врахувати можливість вибору мінімального часового проміжку при оновленні даних.

При конвеєрному механізмі завантаження, середній час операції з контейнером становить близько двох хвилин. В залежності від ситуації (якщо потрібно попередньо переставити контейнери, що вже містяться на судні або якась інша нештатна ситуація), час на завантаження може сягати від декількох десятків хвилин, до декількох годин.

З врахуванням вказаних параметрів, користувач сам матиме змогу задавати дискретність оновлення даних на своєму смартфоні, що дозволить ефективно контролювати витрати на оплату мережі GSM / GPRS.

## 2.4 Висновки до розділу 2

1. Виконані дослідження показали можливість побудови комп'ютерних систем та мереж, які дадуть можливість при заході судна в порт інтегрувати його комп'ютерну систему в портову для підвищення якості процесу завантаження. Приведена структура інформаційної моделі комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу, яка дозволяє істотно спростити процес завантаження за рахунок введення цифрових точок контролю та впровадження єдиного інформаційного поля портової зони та судна. Отримані результати дають можливість впроваджувати запропоновану модель у вже існуючі мережі, що значно скорочує час розгортання проекту та економічні витрати при її інтеграції.

2. Пропонується метод завантаження контейнеровозів, що передбачає автоматичне визначення поточних координат контейнеру, який завантажуються, з можливістю подальшого ведення журналу проведеного процесу, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних судових системах з можливістю контролю

перебігу завантаження в режимі реального часу. Даний метод дозволив здійснити збір даних в реальному часі таких, як маса контейнерів в кожній точці, та їх кількість. Даний підхід дозволяє в автоматичному режимі здійснювати контроль за навантаженням судна та основними його параметрами остійності. Метод дозволяє оптимізувати процес завантаження, скоротити кількість його кроків. Відпала необхідність залучення додаткового персоналу для контролю за вантажними операціями.

3. Розроблено модель системи мобільного моніторингу за процесом завантаження, що дозволяє капітану перебувати в довільній точці порту та дізнаватись про кількісний склад розвантажених чи завантажених контейнерів, а також безпосередні їхні маршрутні дані. Це, в свою чергу, дозволяє капітану безпосередньо контролювати остійні параметри судна та запобігти утворенню крену і диференту судна, зменшити паперовий документообіг, підвищити продуктивність праці, скоротити час на обробку інформації.



## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ

#### 3.1 Розробка математичної моделі системи завантаження контейнеровозу

Виходячи із завдань, сформульованих в п.1.4, для отримання моделі функціонування, необхідно отримати рішення кожної з задач. На основі розроблених моделей в розділі 2, можна отримати математичну модель функціонування системи, що дозволить розробити механізм функціонування комплексу та ввести певні критерії оптимізації її роботи. На початковому етапі всю систему можна розглядати в якості моделі «чорного ящика» (рис. 3.1) [45, 46, 61, 82].



Рисунок 3.1 - Модель системи автоматизації процесу завантаження у вигляді  
«чорного ящика»

Як відомо, модель «чорного ящика» пов'язана із середовищем за допомогою своїх входів і виходів. Опишемо ці параметри. На вхід системи подані параметри:  $L$

– комплексна характеристика кількості виділених блоків для завантаження та координат їх розташування,  $L$  – кількість завантажуваних контейнерів,  $W_{BX}$  – комплексна величина, що визначається кількістю та масою контейнерів, які накопичені на палубі та масою нових контейнерів, що завантажуються на судно. На виході системи спостерігаються величини:  $W_{ВИХ}$  – комплексна величина, яка надасть інформацію про розподіл маси контейнерів та їх кількості, на основі чого можна розрахувати основні параметри остійності судна,  $t$  – час виконання системою завдань,  $M$  – загальна маса контейнерів, що будуть транспортуватися в подальшому.

Також на вхід системи передаються параметри завдань, які в даному випадку будуть часом завантаження конкретного контейнера, кількість маніпуляцій при завантаженні, порядок доставки вантажів.

Так як ці параметри можуть коригуватися поза системою, їх можна вважати керованими. Важливо відзначити, що пріоритет завдань встановлюється в залежності від маси завантажуваного контейнера та порядку й часу його доставки в місце призначення: від меншого до більшого за часом і від більшого до меншого за масою.

Таким чином була отримана вихідна модель комп'ютерної системи завантаження контейнеровозів, яка потребує подальшого математичного розв'язку.

На першому етапі потрібно ввести умову ефективної безперервної та надійної роботи системи завантаження:

$$\sum_{j=1}^n (S_j^{нак} + S_j^{поступ}) = 0, \quad (3.1)$$

де  $S_j^{нак}$  – кількісно-масовий показник, комплексна величина, що визначається кількістю та масою контейнерів – співвідношення кількості та маси вантажів, що вже містяться на палубі;  $S_j^{поступ}$  – кількісно-масовий показник, комплексна величина що визначається кількістю та масою контейнерів, які завантажуються. Дана рівність визначатиме стійкість судна та вантажу. Відмінність від нуля вказуватиме на

наявність крену чи диференту судна, що може призвести до втрати вантажу під час транспортування.

За умови, що комплексна величина сумарного обсягу та ваги завантажених контейнерів, не повинна перевищувати допустимий обсяг та масу можливого додаткового вантажу:

$$m_{ij}^{СУДНА} \geq x_{ij} \cdot m_i^{КОН}, \quad (3.2)$$

де  $m_i^{КОН}$  – маса  $i$ -го контейнера, який завантажується;  $m_{ij}^{СУДНА}$  – допустимий обсяг та маса  $j$ -го блоку на палубі судна;  $i = \overline{1, l}$  – кількість контейнерів, які завантажуються;  $j = \overline{1, n}$  – кількість виділених блоків.

У зв'язку зі специфікою функціонування даної системи прийняття рішення при завантаженні контейнерів, а саме обмеженим часом при проведенні вантажних операцій з судном та розподіленням маси при завантаженні, для виконання  $i$ -го завдання вибирається контейнер з максимальним значенням кількісно-масового показника:

$$S_j^{поступ} = \max_{j=1}^n \{S_j^{поступ} * \overline{r_j}\}, \quad (3.3)$$

де  $\overline{r_j}$  – ваговий коефіцієнт для  $j$ -го контейнера та вибирається, як:

$$\overline{r_i} = \max_{j=1}^L \{k_j\} \quad (3.4)$$

де  $k_j$  - поточний ваговий коефіцієнт контейнера, який знаходиться як:

$$k_i = \frac{t_i^{дост}}{\sum_{p=1}^i t_p^{мерм}}, \quad (3.5)$$

де  $t_p^{терм}$  – час затрачений на переміщення контейнера в термінали,  $t_i^{дост}$  – час на доставку контейнера до кінцевого місця призначення

Сформуємо матрицю оптимального розподілу завдань завантаження, в якій кожен елемент може приймати такі значення:

$$\begin{cases} x_{ij}=0, & i\text{-е завдання не призначено } j\text{-му контейнеру,} \\ x_{ij}=1, & i\text{-е завдання призначено } j\text{-му контейнеру.} \end{cases} \quad (3.6)$$

Тоді цільова функція мінімізації часу виконання завдань, що надійшли в систему керування завантаженням, буде мати вигляд:

$$\left( \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_j^{поступ} x_{ij} \cdot t_{ij} \right) \rightarrow \min \quad (3.7)$$

Ще одна умова остійності формулюється так: кількісно-масовий показник навантаженого судна повинен бути не менше або рівний сумі кількісно-масових показників накопичених та завантажених контейнерів:

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{судна} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{нак} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{поступ}. \quad (3.8)$$

Продуктивність системи завантаження визначається з виразу:

$$W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \times K_{ij} \times I_{ij}, \quad (3.9)$$

де  $K_{ij}$  - кількість операцій, виконаних при виконанні  $j$ -им завантажувачем  $i$ -ої роботи по переміщенню контейнера;  $I_{ij}$  - кількість завантажувачів, які задіяні при проведенні вантажних операцій.

Таким чином, модель функціонування комп'ютерної системи завантаження контейнеровозу набуде вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n S_j^{\text{нак}} + S_j^{\text{поступ}} = 0, \\ \left( \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij} \right) \rightarrow \min, \text{ при } m_{ij}^{\text{СУДНА}} \geq x_{ij} \cdot m_i^{\text{КОН}}, \\ S_j^{\text{поступ}} = \max_{j=1}^n \{S_j^{\text{поступ}}\}, S_{ij}^{\text{поступ}} > 0, \\ \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{\text{судна}} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{\text{нак}} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{\text{поступ}}, \\ W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot K_{ij} \cdot I_{ij} \rightarrow \min, \text{ при } K_{ij} \rightarrow 0, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, l}. \end{array} \right. \quad (3.10)$$

Виходячи з отриманої моделі, можна перетворити модель «чорного ящика» в модель «прозорого ящика» (рис. 3.2).

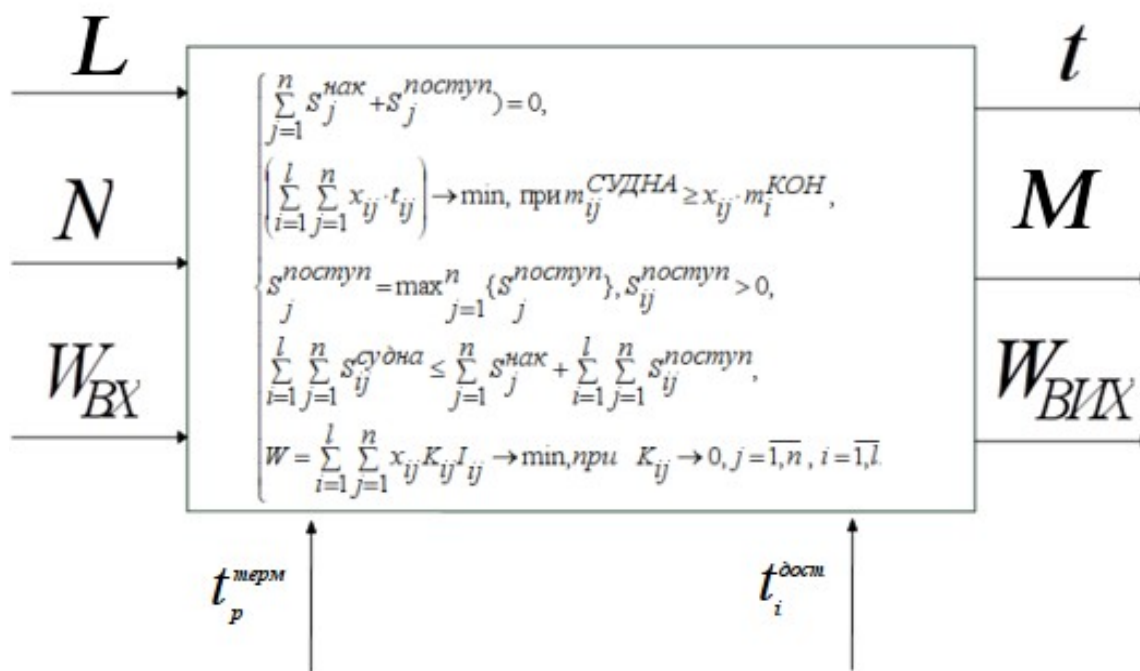


Рисунок 3.2 - Подання системи у вигляді моделі «прозорого ящика»

Таким чином була розроблена математична модель функціонування комп'ютерної системи завантаження контейнеровозу, яка описує ключові параметри системи, як час завантаження, продуктивність, подальша безпека вантажу та

ефективність при розвантаженні в наступному місці призначення, при цьому враховує енергетичні обмеження системи.

Розроблена модель дозволяє встановити залежності між вхідними і вихідними параметрами та використати її під час подальшої апаратно-програмної реалізації.

### 3.2 Розробка математичної моделі остійності судна при розподілі ваги контейнерів

В практиці експлуатації контейнеровозів досить часто трапляються випадки, коли контейнери, які завантажуються, не відповідають заявленим характеристикам (вазі, розташуванню центра його маси, та й інше), або через прорахунки відповідальних за вантажні операції чи не кваліфікованість машиністів крану сумарна вага завантажених контейнерів неправильно розподіляється по палубі судна. Подібні прорахунки досить часто призводять до втрат вантажу, а подекуди й до затоплення судна в цілому. Щоб уникнути подібних аварійних ситуацій, під час завантаження судна потрібно додатково перевіряти вагу кожного контейнера і в автоматичному режимі здійснювати контроль впливу ваги контейнера в точці його позиціонування на основні характеристики судна. Головною характеристикою судна в такому випадку є остійність – здатність плавзасобу протистояти зовнішнім силам, що викликають його крен або диферент, і повертатися в стан рівноваги після закінчення збурюючого впливу [33, 55].

Остійність кожного судна повинна відповідати вимогам Кодексу остійності непошкоджених суден всіх типів, на які поширюються документи ІМО. В даному Кодексі встановлено мінімально допустимі критерії остійності для всіх типів суден і для деяких окремих типів суден.

Також потрібно враховувати вплив погодних умов. Так, Кодекс остійності непошкоджених суден всіх типів від 2008 р., на які поширюються документи ІМО вимагає, щоб остійність перевірялася на відповідність критерію погоди. При розрахунку критерію погоди у формулі використовується значення тиску вітру, відповідно до швидкості вітру 26 метрів в секунду. У судовій інформації про

остійності і комп'ютерних програмах по остійності для оцінки остійності судна за критерієм погоди також використовується тиск вітру при швидкості 26 м / сек.

Якщо судно завантажено так, що фактична поперечна метацентрична висота, виправлена поправкою на вплив вільної поверхні рідини, незначно перевищує мінімально допустиму для даного випадку завантаження, то цілком може виявитися, що на діаграмі статичної остійності (рис. 3.3) [64], площа *III* буде значно більше площі *II* [33, 55, 64]. Для судна з великою площею парусності, наприклад, контейнеровозу, при плаванні в районі, де швидкість вітру буде перевищувати 26 м / сек, а висота хвиль, сформована при такій швидкості вітру, може сягати понад 20 метрів, може виникнути реальна загроза втрати остійності і перекидання судна [55, 92].

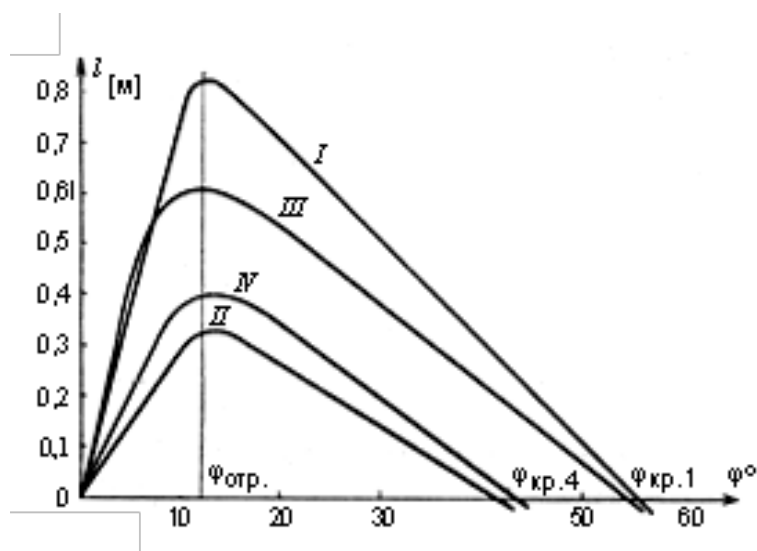


Рисунок 3.3 - Діаграма остійності ( $l$  – плече остійності,  $\varphi$  – амплітуда качки)

Розрахунки показали, що у фідерного контейнеровоза місткістю 1100 TEU, з варіантом повного завантаження, при метацентричній висоті, що на 5 сантиметрів перевищує мінімально допустиму, при швидкості вітру 35 м/сек, площа графіка буде менше за площу за нормальних умов. З урахуванням динамічних прискорень від спільної дії качки і вітру, втрата остійності може наступити навіть при швидкості вітру нижче 35 м / сек [55]. Також необхідно брати до уваги, що в штормових умовах остійність може погіршитися від статичного крену, викликаного витратою

палива з паливного танка одного борту, а також скупченням води в вантажних трюмах, яка може почати надходити туди через нещільності, що виникають від згинання і скручування корпусу на високих хвилях. Крім цього, вільна поверхня води в трюмах зменшить початкову поперечну метацентричну висоту. Ці фактори, навіть маючи незначні величини, можуть виявитися критично важливими для остійності судна.

При завантаженні контейнеровозу основним фактором впливу на його показники остійності є вага контейнера та центр його ваги. Висота центра ваги контейнера нормована провідними класифікаційними товариствами як половина висоти контейнера. В основі розрахункових алгоритмів вантажних програм, що використовуються на контейнеровозах, лежить правило, згідно з яким центр ваги контейнера відповідає його геометричному центру. При цьому на практиці дуже часто фактичний центр тяжіння не співпадає з геометричним, що призводить до зміни значення метацентричної висоти судна як одного з критеріїв остійності. В результаті екіпаж судна отримує недостовірні дані про значення метацентричної висоти. Наступні операції по баластуванню і бункеруванню судна, базовані на невірних даних, можуть, як мінімум, привести до невиправданих витрат або навіть мати негативний вплив на безпеку судна.

При завантаженні найбільшу увагу слід приділяти нормуванню аплікати центра тяжіння контейнера, оскільки не всі власники дотримуються вимог завантаження контейнерів, внаслідок чого з'являється ексцентриситет – відхилення його фактичного центру тяжіння від розрахункового. Хоч на кожному контейнеровозі наявне програмне забезпечення по розрахунку остійності, але всі вони базуються на тому принципі, що центр мас контейнера повинен збігатися з його геометричним центром та рівний половині висоти контейнера. Таким чином, розрахунок остійності, що виконується з урахуванням цих припущень, свідомо включає в себе похибку, викликану можливим ексцентриситетом контейнера [99].

Оскільки вага кожного контейнера відрізняється, то подальший розгляд навантаженого контейнеровоза можна звести до дослідження неоднорідного твердого тіла.



При подальшому дослідженні можна використовувати два шляхи оцінки відхилення показників завантаженого судна від норми: просторове дослідження розподілення ваги вантажу та визначення відхилення загального центру тяжіння від норми, та побудови неоднорідної поверхні, утвореної центрами мас навантажених контейнерних штабелів. Вибір лише одного методу не дає повної інформації, оскільки лише при просторовому розгляді можна обрахувати виключно відхилення центру тяжіння від норми, а побудова поверхні розподілу маси дасть можливість оцінити проблемні місця з перевантаженими штабелями, що дозволить ліквідувати чи передбачити та ліквідувати ці відхилення на етапі проведення вантажних операцій.

Розглянемо побудову площини розподілу центрів мас навантажених контейнерних штабелів.

Положення центра тяжіння контейнера в просторі визначається трьома координатами: абсцисою, ординатою і аплікатою. Залежно від розв'язуваної задачі, як систему координат варто використовувати дві системи (рис. 3.4 і 3.5) [99]:

- система координат, прив'язана до контейнера або контейнерного штабелю;
- система координат, прив'язана до судна [99].

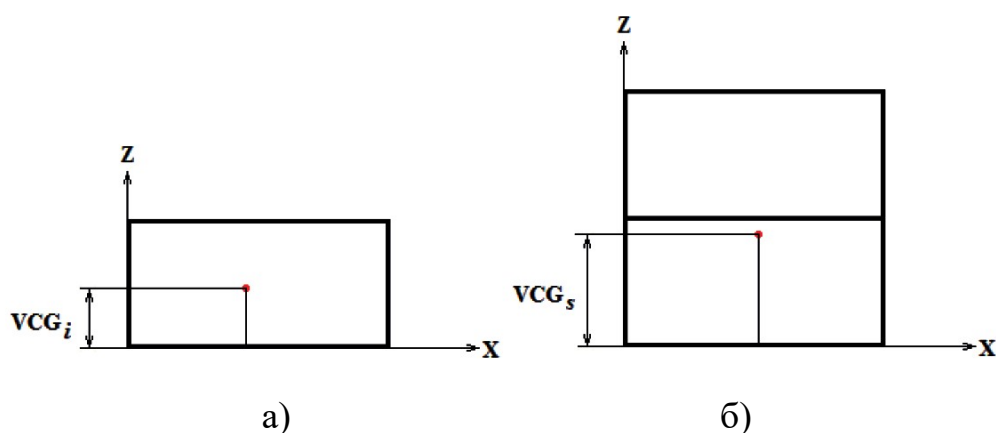


Рисунок 3.4 - Система координат, прив'язана до контейнера (а) або контейнерного штабелю (б)

При вирішенні задачі розташування безпосередньо центра тяжіння контейнера, в залежності від того, як в нього завантажений вантаж, необхідно використовувати першу систему координат. У цій системі використовується

значення  $VCG_i$  – апліката центра тяжіння контейнера від його днища (м).  $VCG_S$  – апліката центру тяжіння контейнерного штабелю від його основи (м), відраховується від днища нижнього контейнера [99].



Рисунок 3.5 - Система координат, прив'язана до судна

При розрахунку остійності судна і оцінці положення центру тяжіння контейнерів, що завантажуються, як суднового вантажу необхідно використовувати другу систему координат. У цій системі відлік положення центру тяжіння ведеться від основної площини (кіля судна):  $KG$  – є відстань між точками  $K$  (кіль) і  $G$  (центр ваги) [99].

Величини  $KG$  і  $VCG$  пов'язані між собою в такий спосіб:

$$KG = VCG + D, \quad (3.11)$$

де,  $D$  – підвищення над основною площиною палуби, на яку завантажений контейнер (настил подвійного дна, кришка трюму або контейнер нижнього ярусу), м [99].

Центр тяжіння контейнерного штабелю розраховується за формулою

$$VCG_S = \frac{\sum M_i VCG_i}{\sum M_i} \quad (3.12)$$

або

$$KG_S = \frac{\sum M_i VCG_i}{\sum M_i} + D, \quad (3.13)$$

де,  $KG_S$  – апліката центру ваги контейнерного штабелі від основної площини, м [99].

З врахуванням того, висота кожного штабеля та їх вага відрізняються, будемо неоднорідну поверхню розподілення центрів тяжіння кожного зі контейнерних штабелів (рис. 3.6, 3.7) [53, 100]

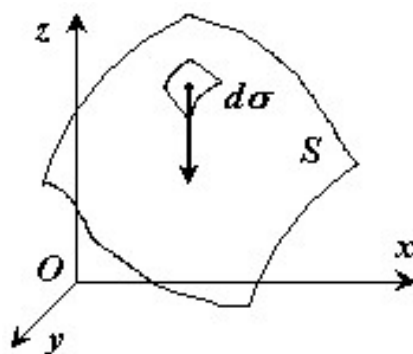


Рисунок 3.6 - Приклад побудови неоднорідної поверхні розподілу центрів тяжіння

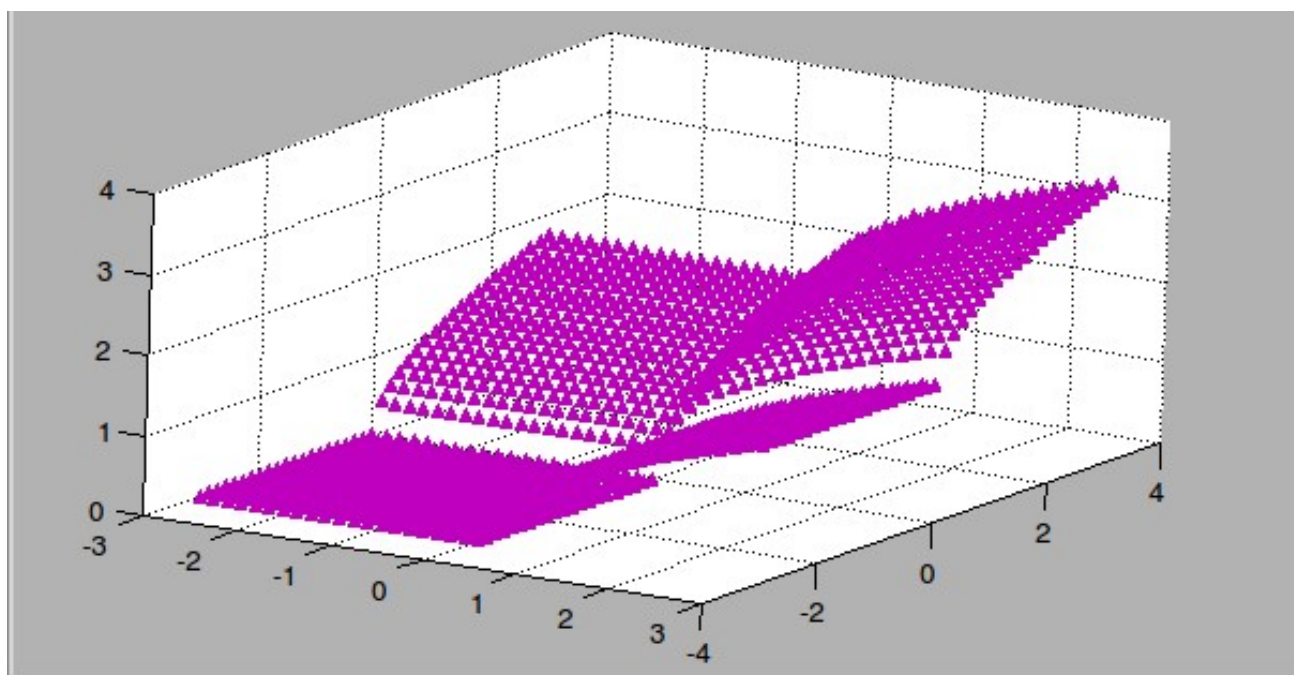


Рисунок 3.7 - Приклад побудови поверхні, утвореної центрами тяжіння контейнерних штабелів в FreeMat

При проектуванні даної поверхні на модель палуби судна можна наочно побачити розподіл маси по поверхні та відхилення від норми в кожній точці.

При цьому варто також зважати на рекомендації класифікаційних товариств. Так, в кодексі СТУ приводиться діаграма розподілу навантажень на прикладі 40-футового контейнера (рис. 3.8) [99, 76].

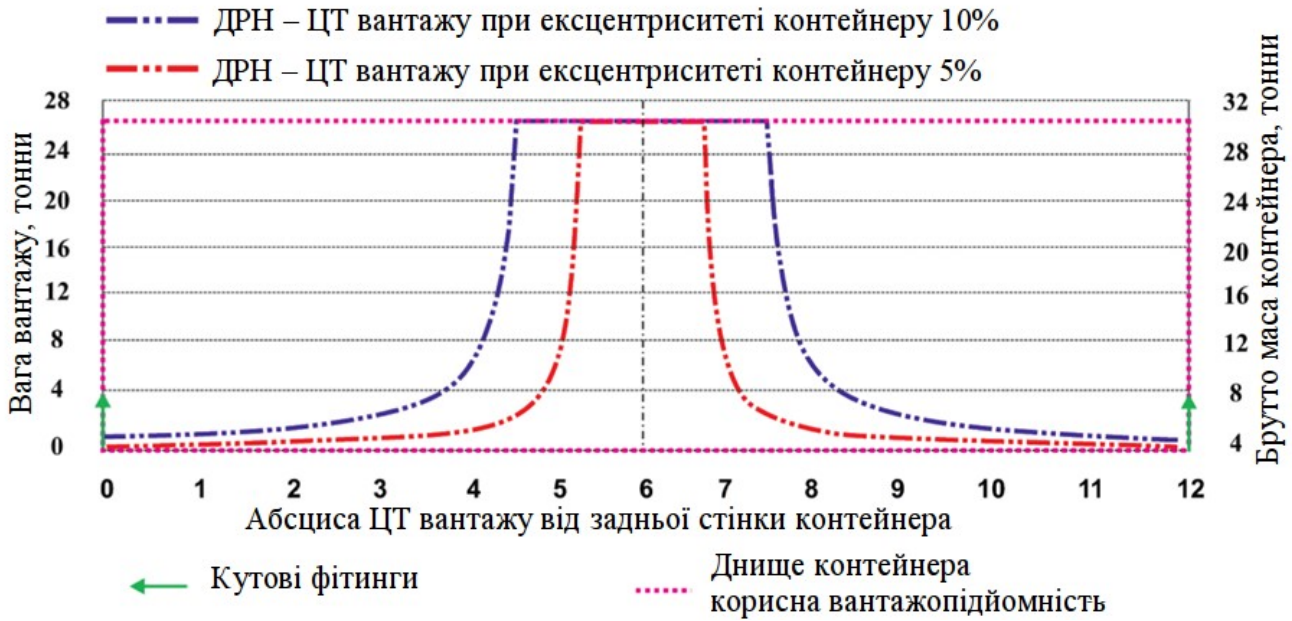


Рисунок 3.8 - Діаграма розподілення навантажень (40-футовий контейнер)

Діаграма дозволяє визначити допустиме поздовжнє відхилення центру тяжіння вантажу в контейнері ( $\Delta X$ ) в залежності від його маси. Діаграма розподілу навантажень наочно показує, що чим важче вантаж, тим ближче до середини контейнера (геометричного центру) він повинен бути розташований. Для судна в цілому ця діаграма також є справедливою і може розглядатися пропорційно до його розмірів [99].

Для неоднорідної поверхні координати центра тяжіння визначаються наступним чином [53, 100]:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_c = \frac{\int x \gamma_S(x, y, z) d\sigma}{\int \gamma_S(x, y, z) d\sigma} \\ y_c = \frac{\int y \gamma_S(x, y, z) d\sigma}{\int \gamma_S(x, y, z) d\sigma} \\ z_c = \frac{\int z \gamma_S(x, y, z) d\sigma}{\int \gamma_S(x, y, z) d\sigma} \end{array} \right. , \quad (3.14)$$

де  $\gamma_S(x, y, z)$  – вага одиниці площі поверхні тіла, що в даному випадку співпадатиме з вагою одного конкретного штабеля контейнерів,  $\int_S \gamma_S(x, y, z) d\sigma$  – вага всього тіла,

яка в даному випадку буде рівною вазі всіх завантажених контейнерів [53, 100]. За одиницю площі тіла для спрощення можна взяти площу основи одного з контейнерів, оскільки вони всі типові. Додатково потрібно враховувати вагу та центр тяжіння самого судна. За даних умов, вагу утвореної поверхні можна замінити на суму мас контейнерів та судна разом взятих:

$$\int_S \gamma_S(x, y, z) d\sigma = \sum_{i=1}^N m_i^{\text{кон}} + M^{\text{СУДНА}} \quad (3.15)$$

Вагу одиниці площі утвореної поверхні також можемо обрахувати, як масу всіх контейнерів в конкретному штабелі:

$$\gamma_S(x, y, z) = \sum_{j=1}^K m_j^{\text{кон}} \quad (3.16)$$

З урахуванням відповідних введень та додаткової ваги судна та центру його тяжіння, 3.14 можна переписати в наступному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_c = \frac{\int_S \sum_{j=1}^K m_j^{\text{кон}} d\sigma + x^{\text{СУДНА}} M^{\text{СУДНА}}}{\sum_{i=1}^N m_i^{\text{кон}} + M^{\text{СУДНА}}} \\ y_c = \frac{\int_S \sum_{j=1}^K m_j^{\text{кон}} d\sigma + y^{\text{СУДНА}} M^{\text{СУДНА}}}{\sum_{i=1}^N m_i^{\text{кон}} + M^{\text{СУДНА}}} \\ z_c = \frac{\int_S \sum_{j=1}^K m_j^{\text{кон}} d\sigma + z^{\text{СУДНА}} M^{\text{СУДНА}}}{\sum_{i=1}^N m_i^{\text{кон}} + M^{\text{СУДНА}}} \end{array} \right., \quad (3.17)$$

Таким чином, отримана модель дозволяє побудувати поверхню розподілу центрів тяжіння контейнерів для виявлення місць перевантаження та перевірки розподілу мас у відповідності до рекомендацій класифікаційних товариств. Також модель дозволяє визначити відхилення загального центру тяжіння навантаженого судна від номінального.

### 3.3 Розробка математичної моделі методу автоматичного позиціонування при проведенні вантажних операцій з суднами контейнеровозами у контейнерних терміналах

Для здійснення повного контролю за переміщеннями контейнерів під час проведення вантажних операцій потрібно мати можливість автоматичної реєстрації їх переміщень. Основною проблемою при роботі з контейнерами – є заборона встановлення на контейнери додаткового обладнання та нанесення будь-яких додаткових графічних позначень. Як вже було визначено вище, визначено за необхідне пов'язати відстеження переміщень кранового маніпулятора з повним веденням журналу його дій. Розроблений спосіб включає в себе наступні етапи: отримання інформації про місцезнаходження контейнеровоза від датчика переміщення, позиціонування контейнеровозів, отримання інформації про місцезнаходження контейнера з пристроїв позиціонування контейнерів, під його розміщення у вихідній точці та визначення місця розташування контейнера в контейнеровозі, спочатку обчислюючи відносне положення контейнера в контейнеровозі, виходячи як з інформації про розташування контейнеровоза, так і з інформації про розташування контейнера, а потім корелюючи відносне положення з планом розміщення контейнерного судна.

Зазвичай машиністи крану керуються планом завантаження, в якому вказані координати розташування контейнерів в системі координат, прив'язаній до судна. Місця складання однозначно вказуються в цифрах за допомогою системи координат номер ряду-відсіку-ярусу. Відповідно до цієї системи, ряди являють собою повздовжні рядки, відсіки – поперечні, а яруси – вертикальні шари. Цифри, показані

на рис. 3.9.а, 3.9.б є типовим способом нумерації відсіків, рядів та рівнів їх місця розташування [19]. Місця зберігання контейнерів (майже завжди) фіксуються в супроводжуючій документації.

Під час завантаження звичайним явищем є перевантаженість одних ділянок судна порівняно з іншими. Також саме судно може відхилитись від берегової лінії (рис. 3.10) [19]. Це призводить до того, що координати одного й того ж контейнера під час завантаження можуть коливатися в принаймні межах 1 ярусу чи ряду. Тому під час визначення координат знаходження контейнера в процесі завантаження потрібно включити наступні етапи: 1) отримання інформації про місцезнаходження контейнерного судна; 2) отримання інформації про місцезнаходження контейнера, коли він знаходиться в його місці розміщення; 3) визначення місця розташування контейнера в контейнеровозі шляхом спочатку обчислення відносної позиції контейнера в контейнеровозі на основі інформації про розташування контейнерного судна та інформації про розташування контейнера, а потім кореляції відносної позиції з планом складання контейнерного судна.

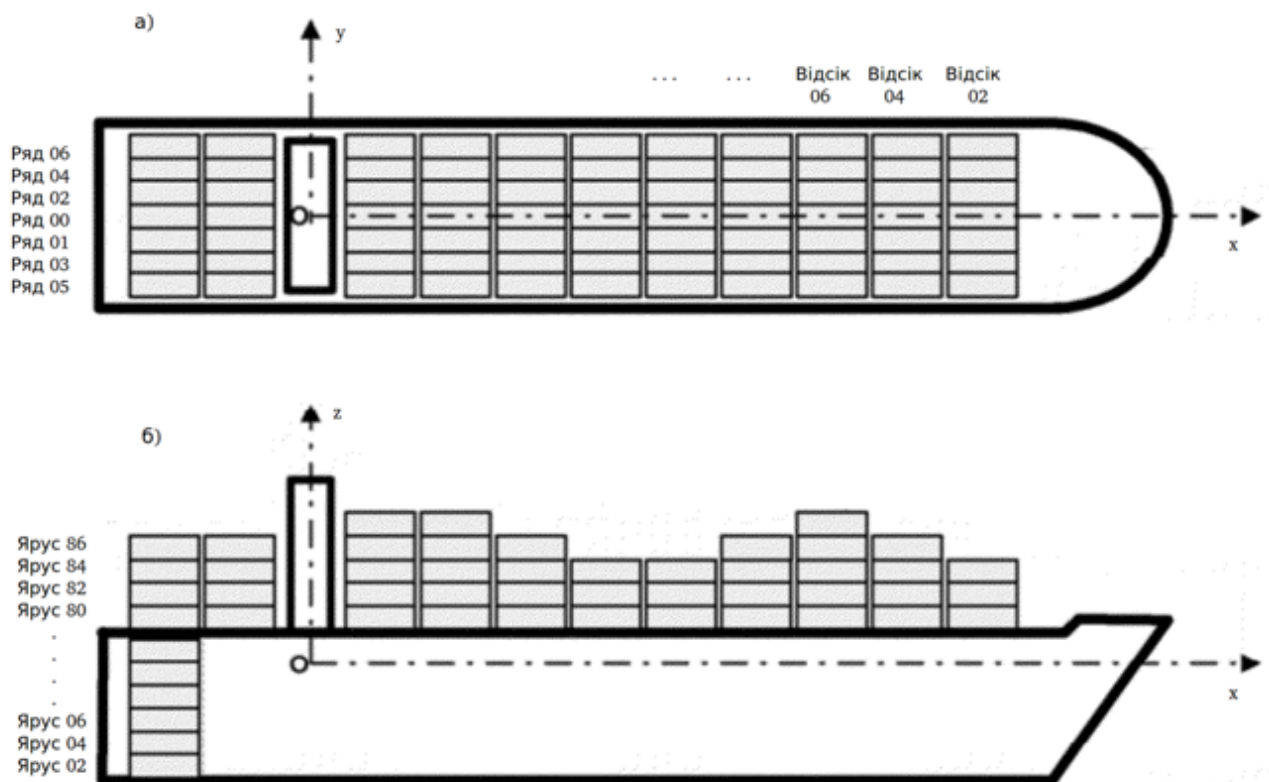


Рисунок 3.9 - Схема нумерації контейнерів на судні, а – вид зверху, б – вид збоку

Для можливості здійснення автоматичної корекції на зміщення всіх точок судна пропонується ввести декілька контрольних точок для надання інформації про місцезнаходження та просторове розташування контейнерного судна. Мінімально необхідно визначити принаймні дві такі точки, наприклад точки  $A$  та  $B$ . Для покращення точності визначення координат можна визначити три контрольні точки, такі як точки  $A$ ,  $B^*$  та  $C$ . Ці точки попередньо відібрані для того, щоб в подальшому отримати геометричні співвідношення, які полегшать визначення орієнтації контейнерного судна. Наприклад, якщо обрано дві контрольні точки, то їх переважний вибір повинен бути таким чином, щоб вони знаходилися в діагональних кінцях контейнеровоза (як показано  $A$  і  $B$ ); якщо обрано три точки, то їх розташування повинно утворювати прямокутний трикутник (як показано на  $A$ ,  $B^*$  і  $C$ ), який охоплює частину корисної площі палуби і полегшує визначення руху судна.

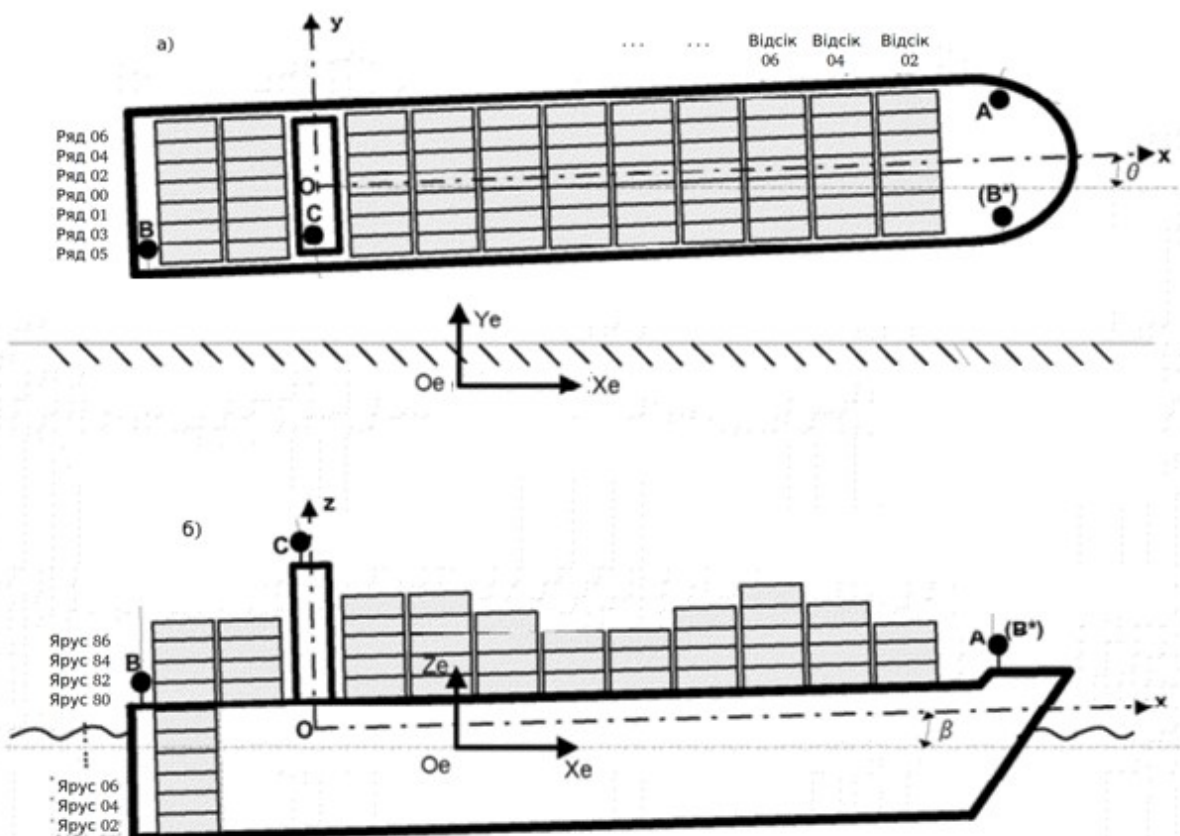


Рисунок 3.10 - Зміщення контейнерів на судні відносно статичної точки відліку, а – вид зверху, б – вид збоку



В іншому варіанті реалізації, отримана інформація про позицію контейнеровоза включає в себе положення щонайменше однієї попередньо відібраної точки (наприклад, місцезнаходження  $O$  на 3.10, *a* та 3.10, *б*) та просторової орієнтації судна (наприклад, кути  $\theta$ ,  $\beta$ , а також додатковий кут повороту  $\gamma$  (не показаний)) [19]. У такому варіанті реалізації позиціонування потрібно використовувати вимірювальні датчики орієнтації для надання орієнтаційної інформації судна; такі сенсори вимірювання орієнтації включають компас, датчики кутових швидкостей та інерційну одиницю вимірювання (IMU), і вони зазвичай встановлюються на судні.

Установки позиціонування для забезпечення позицій попередньо вибраних точок можуть бути як абсолютними системами позиціонування, так і відносними системами позиціонування. На рис. 3.10, *a*, 3.10, *б* [19] показано варіант реалізації, в якому використовуються абсолютні системи позиціонування, а блоки позиціонування встановлюються в кожній з попередньо відібраних точок. Приклади систем абсолютного позиціонування включають систему глобальних координат (GPS), диференціальну GPS (DGPS), DGPS, інтегровану з датчиками руху, систему інтеграції DGPS / INS та DGPS у режимі реального часу (RTK). Ці абсолютні системи позиціонування встановлюються в попередньо відібраних точках і безпосередньо забезпечують абсолютні координати попередньо вибраних точок у географічній системі координат.

З інформацією щодо (абсолютної або відносної) позиції попередньо вибраних місць розташування можна визначити положення контейнерного судна. Як показано на рис. 3.10, позиціонування судна може бути однозначно визначено, коли визначається судно-фіксована координатна система ( $x$ - $y$ - $z$  з початком відліку в точці  $O$ ). Система координат судна ( $x_{yz}$ ) вважатиметься визначеною, якщо положення точки відліку  $O$  та орієнтація осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  відносно контрольної координатної системи (наприклад,  $X_e$ - $Y_e$ - $Z_e$  та  $O_e$  як вихідні) є визначеними. Система вихідних координат може бути географічною системою координат, яка закріплена на причалі (тобто земля), і не змінюється в часі. Система географічних координат є переважною, коли позиціонуючі пристрої використовують абсолютні системи позиціонування. У варіантах здійснення, де блоки позиціонування використовують відносні системи

позиціонування, система еталонної координати може бути зафіксована на відомій точці відліку на крані контейнера, наприклад, розташування камери, радіолокаційного або лазерного датчика або радіочастотних приймачів (або передавачі); система еталонної координати може рухатися, коли рухається контейнерний кран.

Система координат судна  $x$ - $y$ - $z$  змінюється щодо системи координат координат (наприклад,  $X_e$ - $Y_e$ - $Z_e$ ) за рахунок таких чинників, як приплив та умови навантаження. Тобто, положення  $O$ ,  $(O_xe, O_ye, O_ze)$  змінюється, а орієнтація осі  $x$  і осі  $y$  змінюється, як показано кутом  $\theta$  і  $\beta$ . Отже, позиція судна може бути однозначно визначена, якщо відома позиція точки  $O$  та кутів  $\theta$  та  $\beta$  [93].

Оскільки попередньо відібрані точки  $A$  та  $B$  відомі, фіксоване розташування на судні, їхні позиції в судновій системі координат  $(A_x, A_y, A_z)$  та  $(B_x, B_y, B_z)$  не зміняться. Координати  $A$  та  $B$   $(A_xe, A_ye, A_ze)$  та  $(B_xe, B_ye, B_ze)$  в системі координат, представлені блоками позиціонування, можуть бути представлені як [19]:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} A_xe \\ A_ye \\ A_ze \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_xe \\ O_ye \\ O_ze \end{bmatrix} + T \times \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} B_xe \\ B_ye \\ B_ze \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_xe \\ O_ye \\ O_ze \end{bmatrix} + T \times \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \end{cases}, \quad (3.18)$$

де  $T$  – матриця обертальної трансформації між двома системами координат:

$$T = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Таким чином, положення  $O$   $(O_xe, O_ye, O_ze)$  та кути  $\theta$  і  $\beta$  можна оцінити, виходячи з координат  $A$  та  $B$   $((A_x, A_y, A_z)$  та  $(B_x, B_y, B_z))$ , що забезпечують позиціонування всіх інших точок [90].

Якщо попередньо вибрано три точки (наприклад,  $A$ ,  $B^*$  та  $C$ ), припущення про незначне зміщення в межах системи відліку може бути знято, а позиції цих трьох точок однозначно визначають систему координат судна. Визначення або обчислення встановленої судновою системою координат також ґрунтується на ротаційному та трансляційному перетворенні між встановленою судновою системою та системою координат з додатковим обертальним перетворенням для кута валу  $\gamma$ . Матриця обертання перетворення  $T$  набуває наступного вигляду:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.20)$$

У варіантах здійснення, де орієнтування судна (тобто кути  $\theta$ ,  $\beta$ , а також додатковий кут повороту  $\gamma$ ) отримують безпосередньо на основі датчиків вимірювання орієнтації, таких як компаси, датчики кутових швидкостей та IMU – фіксована система координат і матриця обертального перетворення  $T$  доступні на основі даних, отриманих від датчиків. У таких варіантах здійснюється позиціонування лише однієї попередньо визначеної точки (наприклад,  $O$ ) необхідної для встановлення положення початку відліку суднової системи координат [47].

Позиції з блоків позиціонування повинні зчитуватись в режимі реального часу для постійного визначення та оновлення позиції контейнерного судна. Для економії часу та ресурсів здійснення операції позиціонування системи координат може здійснюватися лише у певний час, наприклад, спрацюванні датчиків захвату (спредера) крана на контейнері, що вказуватиме на конкретний момент часу, коли кран завантажує або відвантажує контейнер.

Додаткові датчики, такі як датчики вимірювання висоти (наприклад, лазерні або ультразвукові вимірювальні пристрої висоти), також можуть бути використані для поліпшення позиціонування контейнерного судна. Більше того, більшість контейнерних суден обладнані GPS, і цей бортовий GPS також може використовуватися як один з датчиків для позиціонування (наприклад, при розташуванні точки відліку в точці  $C$  на капітанському містку).

На рис. 3.11 [19] показаний варіант здійснення позиціонування для надання інформації про місцезнаходження контейнера, який переноситься перевантажувачем (конвеєрним краном), в якому використовуються абсолютні системи позиціонування. В одному варіанті здійснення позиціонування може бути із абсолютним датчиком / системою позиціонування, таким як GPS, DGPS, DGPS, інтегрованим з датчиками руху, системою інтеграції DGPS / INS або DGPS у режимі реального часу (RTK). Переважно, блок позиціонування встановлюється поблизу захвата контейнера. Альтернативно, блок позиціонування може бути встановлений на спредері, який рухається за тією ж траєкторією, що й контейнер з незначною різницею координат.

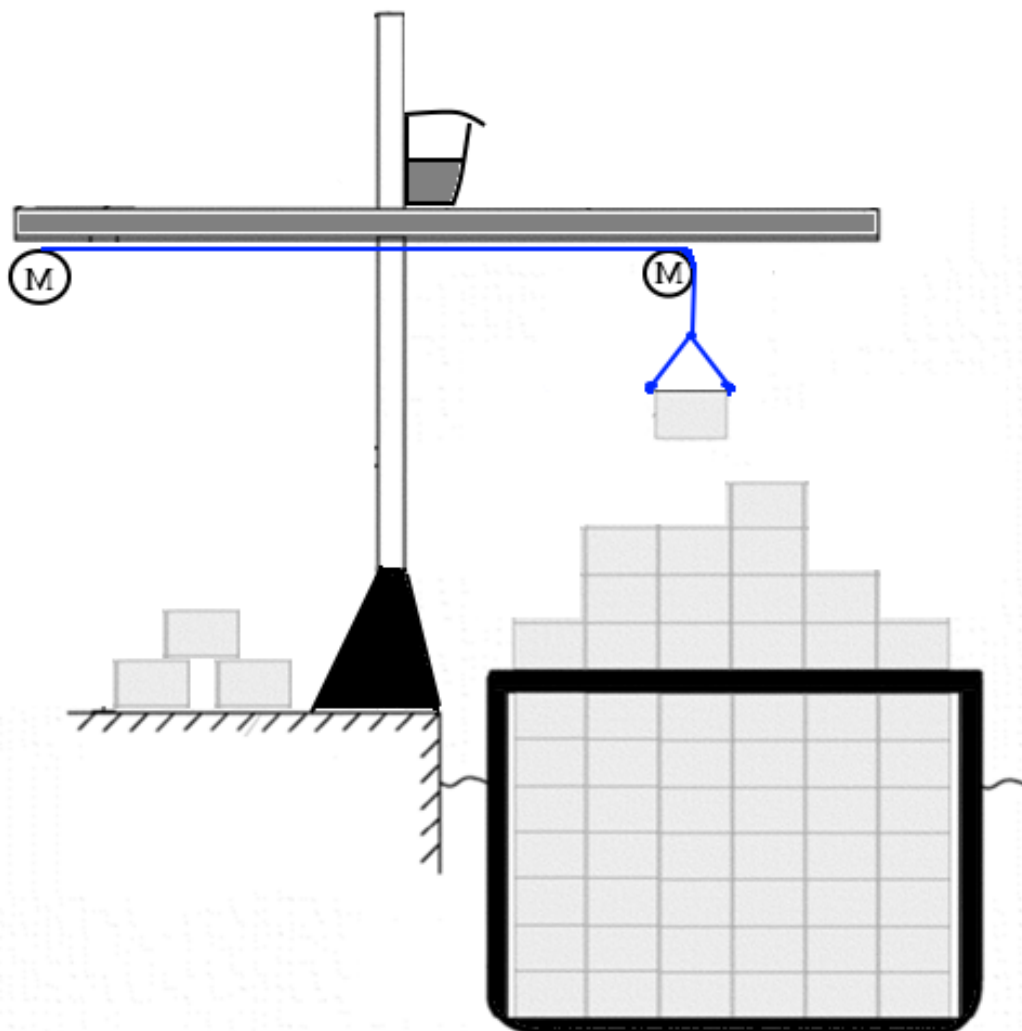


Рисунок 3.11 - Розташування блоку позиціонування на транспортованому контейнері під час завантаження

Для практичного використання найбільш важливим є позиціонування контейнерів в судно-фіксованій системі координат. Для цього потрібно встановити відношення трансформації від вихідної системи координат до судно-фіксованої системи координат. Тобто, з урахуванням оціночних ( $Oxe$ ,  $Oye$ ,  $Oze$ ) та кутів орієнтації ( $\theta$ ,  $\beta$  та, можливо,  $\gamma$ ), відношення перетворення з позиції в вихідній системі координат ( $Xxe$ ,  $Xye$ ,  $Xze$ ) до положення в судно-фіксованій координатній системі ( $Xx$ ,  $Xy$ ,  $Xz$ ) полягає в наступному [47]:

$$\begin{bmatrix} Xx \\ Xy \\ Xz \end{bmatrix} = T^{-1} \times \begin{bmatrix} Xxe \\ Xye \\ Xze \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} Oxe \\ Oye \\ Oze \end{bmatrix}, \quad (3.21)$$

де  $T^{-1}$  є зворотним до вищезазначеної матриці оберտального перетворення:

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Наступним кроком є визначення відносного положення контейнера в контейнеровозі, яке виводиться шляхом перетворення інформації про розташування контейнера ( $Pxe$ ,  $Pye$ ,  $Pze$ ) у вихідній системі координат) у положення ( $Px$ ,  $Py$ ,  $Pz$ ) в судно-фіксованій системі координат, що базується на відношенні трансформації:

$$\begin{bmatrix} Px \\ Py \\ Pz \end{bmatrix} = T^{-1} \times \begin{bmatrix} Pxe \\ Pye \\ Pze \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} Oxe \\ Oye \\ Oze \end{bmatrix}, \quad (3.23)$$

де  $T^{-1}$  – отриманим вище і є зворотним до вищезазначеної матриці оберտального перетворення.

Наступним кроком є суміщення показів акселерометру, систему координат, пов'язаної з нерухомою береговою лінією (вихідна система координат) з судно-фіксованою системою координат. Акселерометри видають показники прискорення по трьом вісям, що прив'язані виключно до його власної системи координат ( $aX$ ,  $aY$ ,  $aZ$ ). Оскільки кранова система встановлена на березі, то отримані показники

потрібно спершу перерахувати з власної системи в показники, що прив'язані до берегової (вихідної) системи координат. Для цього потрібно додатково обрахувати кути повороту між зв'язаною системою координат та вихідною. Класичними незалежними параметрами, що дозволяють однозначно задавати кутове положення об'єкта в просторі, є три кути Ейлера – Крилова  $\psi$ ,  $\theta$  і  $\varphi$  (рис. 3.12) [44, 54, 96].

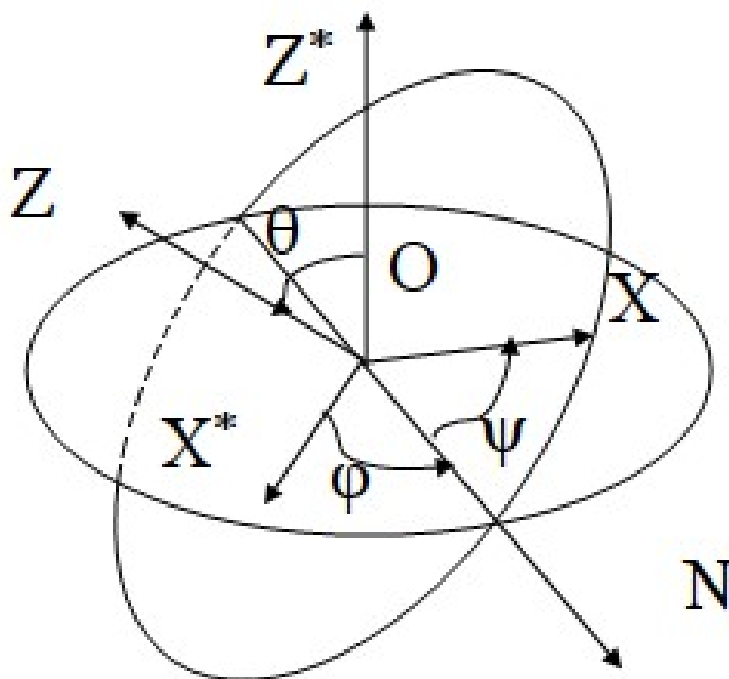


Рисунок 3.12 - Взаємне розташування зв'язаної з акселерометром системи координат та берегової системи координат

На рис. 3.12 зображені зв'язана система координат  $OXYZ$  (рухається разом з об'єктом) і берегова (вихідна) система координат  $OX^*Y^*Z^*$  (в якій відбувається початковий відлік координат контейнера). Перехід з однієї системи в іншу здійснюється рядом послідовних поворотів на кути  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\theta$  через відповідні осі. Акселерометр вимірює проекції кутових швидкостей у зв'язаній системі координат  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  потім записуються кінематичні рівняння Ейлера [44]:

$$\varphi = \frac{1}{\cos \theta_0} (\omega_y \cos \psi_0 - \omega_z \sin \psi_0), \quad (3.24)$$

$$\theta = \omega_y \sin \psi_0 + \omega_z \cos \psi_0, \quad (3.25)$$

$$\psi = \omega_x - \operatorname{tg} \theta_0 (\omega_y \cos \psi_0 - \omega_z \sin \psi_0), \quad (3.26)$$

Інтегруючи рівняння чисельними методами, отримуємо шукані кути Ейлера-Крилова. Потім за даними кутами складається матриця переходу з пов'язаної системи координат у берегову (вихідну) [57, 96]:

$$C = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & -\cos \psi \cos \varphi \sin \theta + \sin \psi \sin \varphi & \sin \psi \cos \varphi \sin \theta + \cos \psi \sin \varphi \\ \sin \theta & \cos \psi \cos \theta & -\sin \psi \cos \theta \\ -\cos \theta \sin \varphi & \cos \psi \sin \varphi \sin \theta + \sin \psi \sin \varphi & -\sin \psi \sin \varphi \sin \theta + \cos \psi \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Звідси переведені прискорення в береговій (вихідній) системі координат набудуть вигляду:

$$\begin{bmatrix} a_{xe} \\ a_{ye} \\ a_{ze} \end{bmatrix} = C \times \begin{bmatrix} a_X \\ a_Y \\ a_Z \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Після отримання перетворених значень прискорення слід провести їх перевірку на предмет аномальних вимірювань, які іноді мають місце при роботі з акселерометрами. Якщо значення  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  перевищують  $0,5 \text{ м/с}^2$ , а значення кутової швидкості  $\omega$  перевищують  $50 \text{ град/с}$ , то такі дані розглядати не потрібно і варто провести повторні вимірювання [54]. Після цього можна шукати значення координат контейнера, здійснивши подальше інтегрування:

$$\begin{cases} v_{xe}^i = v_{xe}^{i-1} + a_{xe}^i (t_i - t_{i-1}) \\ v_{ye}^i = v_{ye}^{i-1} + a_{ye}^i (t_i - t_{i-1}) \\ v_{ze}^i = v_{ze}^{i-1} + a_{ze}^i (t_i - t_{i-1}) \end{cases} \quad (3.29)$$

$$\begin{cases} xe^i = xe^{i-1} + v_{xe}^i (t_i - t_{i-1}) + \frac{a_{xe}^i}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \\ ye^i = ye^{i-1} + v_{ye}^i (t_i - t_{i-1}) + \frac{a_{ye}^i}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \\ ze^i = ze^{i-1} + v_{ze}^i (t_i - t_{i-1}) + \frac{a_{ze}^i}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \end{cases} \quad (3.30)$$

Таким чином, в кінцевому варіанті, координати контейнера, який завантажується, в судно-фіксованій системі координат набудуть вигляду:

$$\begin{bmatrix} p_x^i \\ p_y^i \\ p_z^i \end{bmatrix} = T^{-1} \times \begin{pmatrix} Pxe^{i-1} + v_{xe}^i (t_i - t_{i-1}) + \frac{a_{xe}^i}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \\ Pye^{i-1} + v_{ye}^i (t_i - t_{i-1}) + \frac{a_{ye}^i}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \\ Pze^{i-1} + v_{ze}^i (t_i - t_{i-1}) + \frac{a_{ze}^i}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \end{pmatrix} \bullet \begin{bmatrix} Oxe \\ Oye \\ Oze \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Тут  $v_{xe}^i$ ,  $v_{ye}^i$ ,  $v_{ze}^i$  – компоненти швидкості контейнера у береговій (вихідній) системі координат,  $xe^i, ye^i, ze^i$  – координати центру маси контейнера в береговій (вихідній) системі координат у момент проведення вимірювань  $t_i$ ,  $t_{i-1}$  момент прийому попередніх вимірів.

При збереженні правил завантаження контейнерів, центр його маси завжди повинен збігатися з його геометричним центром. Тому при обрахунках потрібно враховувати, що ми отримуємо траєкторію руху не просто матеріальної точки, а тіла з геометричними розмірами:  $L$  – довжина,  $W$  – ширина,  $H$  – висота.

Тому при позиціонуванні контейнера в координатах  $(Px, Py, Pz)$  потрібно забезпечити в програмному забезпеченні виділення місця з діапазоном координат в просторі ( $[Px-L/2, Px + L/2]$ ,  $[Py-W/2, Py + W/2]$ ,  $[Pz-H/2, Pz + H/2]$ ) [67, 68].

Таким чином, отримана модель дозволяє обрахувати координати контейнеру в довільний момент часу, проте подібна процедура передбачає безперервну постійну



роботу в режимі реального часу та потребує попереднього калібрування задля точного встановлення початків координат кожної з систем вимірювання та верифікації показань, які отримані від акселерометру.

### 3.4. Висновки до розділу 3

1. Розроблено математичну модель системи завантаження контейнеровозу, яка дозволяє визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження. Модель передбачає контроль за належною масою контейнерів, її рівномірний розподіл, відповідність контейнерів, які завантажуються, до обраних критеріїв оптимізації завантаження.

2. Розроблена математична модель остійності судна при розподілі ваги контейнерів, яка дозволяє побудувати поверхню розподілу центрів тяжіння контейнерів для виявлення місць перевантаження та перевірки розподілу мас у відповідності до рекомендацій класифікаційних товариств. Також модель дозволяє визначити відхилення загального центру тяжіння навантаженого судна від номінального.

3. Розроблена математична модель методу автоматичного позиціонування при проведенні вантажних операцій з суднами контейнеровозами у контейнерних терміналах. Розроблений алгоритм розрахунку координат контейнеру, який завантажується, дозволяє обрахувати координати контейнера в довільний момент часу, проте подібна процедура передбачає безперервну постійну роботу в режимі реального часу та потребує попереднього калібрування задля точного встановлення початків координат кожної з систем вимірювання та верифікації показань, які отримані від акселерометру.

## РОЗДІЛ 4

АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ  
ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ

## 4.1 Реалізація системи визначення координат контейнера для комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза

На основі попередньо-проведених досліджень визначено, що оптимальним способом визначення переміщень контейнера при завантаженні є встановлення датчика безпосередньо на кранові маніпулятори. Досить поширеним засобом, що використовується завантажувачами, є навісні автоматичні захоплювачі – спредери. На рис. 4.1 представлена схема розташування блоку вимірювання координат контейнера на спредері [70], який включає в себе програмований контролер (PLC) з вбудованим Web-сервером, модуль WiFi, блок датчиків [39].

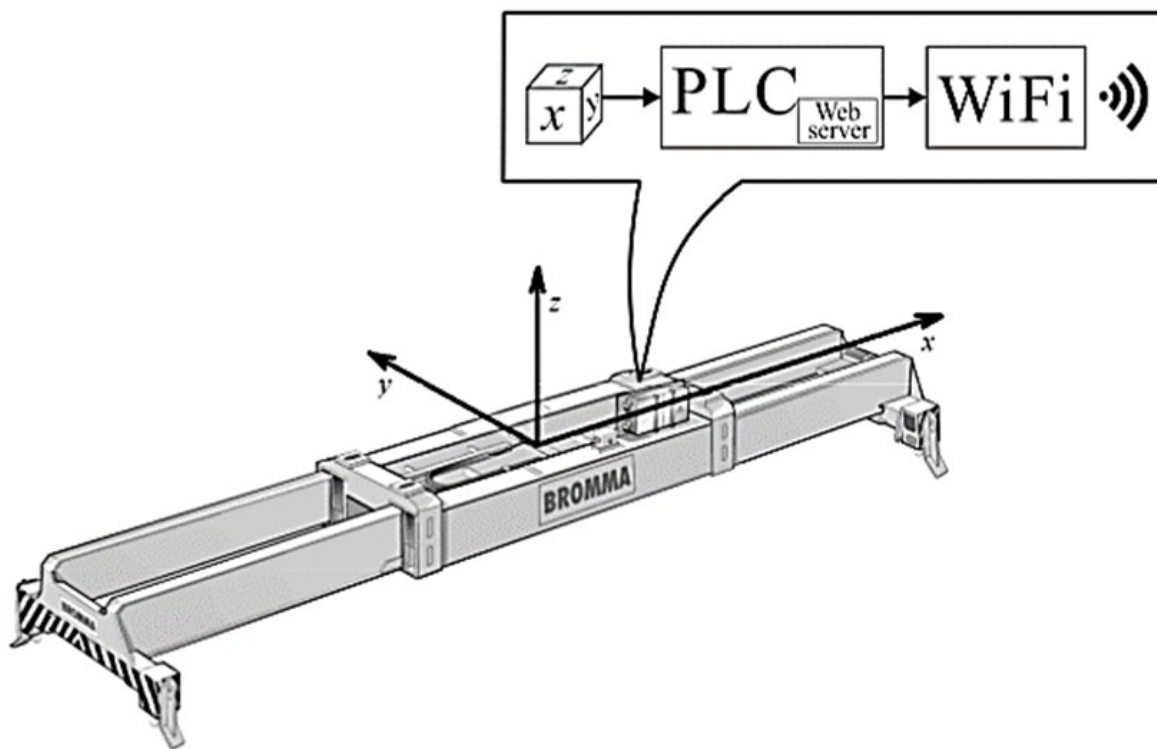


Рисунок 4.1 - Встановлення акселерометру на спредер

В даний час для визначення координат використовуються різні типи систем і датчиків: GPS, ІНС, БІНС, акселерометри, гіроскопи, гірокомпаси. Проаналізуємо

можливість використання цих систем і датчиків для комп'ютерної системи обліку завантаження контейнеровоза.

При використанні GPS для реєстрації переміщення контейнера в просторі в якості основної системи сумарна похибка при врахуванні всіх складових для вимірювання псевдо дальності складе більше 13 метрів, що неприпустимо при стандартних габаритних розмірах 20-ти футового контейнера 6,1x2,4x2,8 м. На відміну від GPS інерційні навігаційні системи (ІНС) мають переваги [43]:

- висока інформативність і універсальність застосування;
- повна автономність дії;
- висока перешкодозахищеність;
- можливість високошвидкісної видачі інформації (до 100 Гц і вище) [70].

Однак недоліком таких систем є те, що в своєму складі ІНС використовують гіростабілізовані платформи, що є складними і дорогими технічними пристроями. Цього недоліку позбавлені безплатформені інерційні навігаційні системи (БІНС), які в порівнянні з ІНС мають наступні переваги:

- менші розміри, масу і енергомісткість;
- істотне спрощення механічної частини системи і її компоновки і, як наслідок, підвищення надійності системи;
- скорочення часу установки початкових параметрів;
- універсальність системи, оскільки перехід до визначення тих чи інших параметрів навігації здійснюється алгоритмічно.

До головного недоліку БІНС відносять помилки, які накопичуються при тривалій і безперервній роботі (як правило, більше шести годин), проте в розробленій комп'ютерної системі довгострокова і безперервна робота не передбачена специфікою роботи – вантажно/розвантажувальні роботи (завантаження одного контейнера відбувається протягом двох хвилин).

У даних системах кутові швидкості об'єкта вимірюються гіроскопом, а переносні прискорення – акселерометрами. Класифікація гіроскопів і акселерометрів виконана на основі [84, 87, 78, 79] після аналізу та коригування (рис. 4.2 і 4.3) [70].

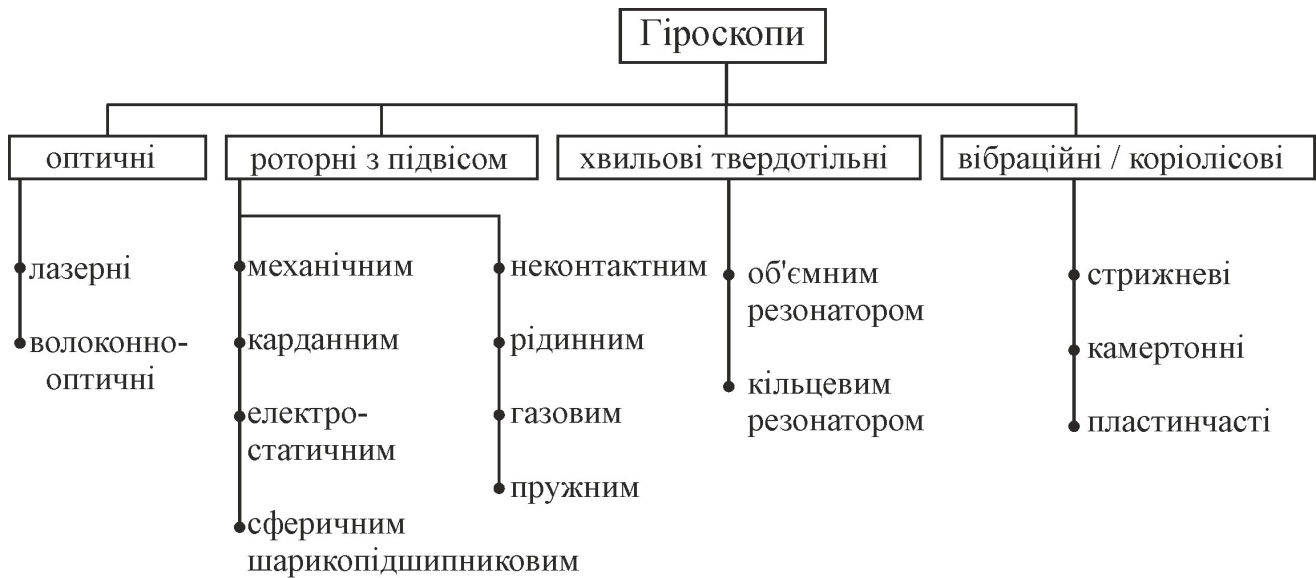


Рисунок 4.2 - Класифікація гіроскопів

Перед вибором гіроскопа і акселерометра необхідно визначитися з типом вимірюваних параметрів, які присутні при вантажних роботах.

У процесі роботи ці параметри міняються і проходять три стадії:

- ударне прискорення на початку роботи;
- рух в процесі переміщення контейнера;
- ударне прискорення в кінці завантаження контейнера.

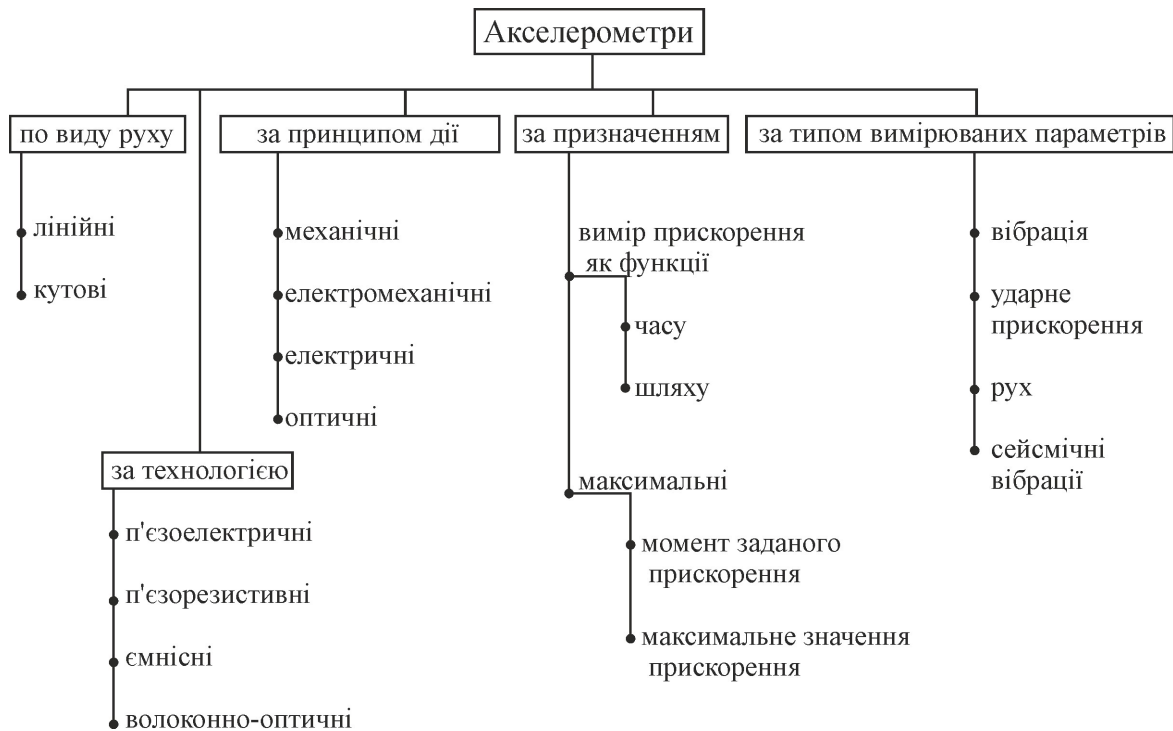


Рисунок 4.3 - Класифікація акселерометрів

В результаті аналізу [5] була синтезована табл.4.1 за видами ударного прискорення відповідно до впливу, який застосовується до об'єкту.

Таблиця 4.1 - Ударне прискорення відповідно до сили впливу

вид прискорення і зона реєстрації	Сила впливу, г
низький рівень зіткнення	<500
дальня зона	500 ... 1000, датчик на відстані 2 м від точки удару
ближня зона	> 5000, датчик на відстані менше 1 м від точки удару

Детальний аналіз цієї групи ударних прискорень дозволив зробити такі висновки. Для вимірювання малих ударних прискорень оптимально використовувати акселерометри загального застосування. Акселерометр повинен мати лінійний діапазон до 500 г і максимально допустиму ударостійкість 500 м. Зазвичай для цього використовуються датчики з вихідним сигналом по напрузі, тому що вони менш чутливі до вібрацій кабелю. Для ослаблення резонансу рекомендується використовувати підсилювач з фільтром нижніх частот.

Великі ударні прискорення застосовуються в разі тестових випробовувань автотранспорту на безпеку при моделюванні аварійних ситуацій та у розробленій комп'ютерній системі не можуть бути використані. Для вимірювання ударів в далекій зоні застосовуються спеціалізовані акселерометри з вбудованим фільтром і здвиговим модом.

Електронний фільтр зменшує власну резонансну частоту акселерометра, запобігаючи перевантаженню устаткування. Робочий діапазон акселерометрів для вимірювання в ближній зоні може досягати понад 20 тис. м. В цьому випадку використовуються пристрої з вбудованим механічним фільтром і параметрами, порівняними з параметрами акселерометрів далекої зони.

Проведемо аналіз акселерометрів (рис. 4.3) [70], виконаних за різними технологіям, для використання в розробленій комп'ютерній системі. Волоконно-оптичні акселерометри [88] використовуються в основному, як датчики вібрацій і в

розробленій системі можуть застосовуватись тільки як додаткові датчики нівелювання даного паразитного ефекту. П'єзорезистивні акселерометри мають низку чутливість і використовуються для вимірювання ударного прискорення і в меншій мірі – при вимірюванні вібрацій. Вони широко застосовуються в випробуваннях на ударну міцність при зіткненні з перешкодою і використання їх в нашій системі є малоефективним.

Ємнісні акселерометри використовуються для вимірювань низькочастотних вібрацій, руху і сталого прискорення, але не призначені для реєстрації ударного прискорення. П'єзоелектричні акселерометри найбільш широко застосовуються в пристроях з тестування та вимірювань. Ці пристрої працюють в дуже широкому діапазоні частот (від декількох Гц до 30 кГц) і мають різну чутливість, вагу, розміри і форму. Вони мають зарядовий вихід або вихід по напрузі і застосовуються для вимірювання руху і ударів. Однак п'єзокераміка володіє наступними недоліками:

1. Нестабільність параметрів матеріалу в часі і при зміні температури навколишнього середовища. Одним з найважливіших параметрів акселерометра є крутизна функціональної залежності вихідного сигналу від вимірюваного прискорення у всьому діапазоні вимірювань. Якщо цей параметр лінійний, він називається масштабним коефіцієнтом і залежить від температури навколишнього середовища, при якій працює акселерометр. Ця залежність пояснюється впливом температури на електромеханічні компоненти, які є складовими акселерометра – датчик, який формує вихідний електричний сигнал як функцію вимірюваного прискорення, і електронні компоненти схеми обробки сигналу акселерометра [29].

2. При порушенні п'єзоелемента на резонансній частоті на його електродах з'являються змінні заряди, величина і фаза яких визначаються амплітудою і фазою механічних коливань п'єзоелемента і відповідно зовнішньої збуджуючої напруги і струму через нього. Виникає резонансна залежність опору п'єзоелемента від частоти збуджуючої напруги.

3. Гістерезис і залежність переміщення при дії постійного і змінного навантаження. Режим змінного навантаження є робочим режимом. Введення в схему постійного навантаження дозволяє змістити петлю гістерезису. При

проектуванні попереднє навантаження повинно бути не менше  $1/10$  від жорсткості п'єзоелементу [21].

4. При впливі на п'єзоелемент електричного поля, він деформується і при цьому у нього, як і у багатьох інших твердих тіл, спостерігається релаксація, яка характеризується часом переходу в рівноважний стан. Якщо при чисто механічній деформації це пов'язане тільки з втратами на внутрішнє тертя, то в даному випадку можна говорити про сукупний вплив діелектричних і механічних втрат. Механічна релаксація п'єзокераміки – це післядія (або повзучість). Величина деформації повзучості для різних п'єзоматеріалів може перебувати в межах від 4 до 20% від загального переміщення. Час релаксації також може коливатися від десятих часток секунди до декількох годин. На відміну від повзучості, післядія є деформацією п'єзоматеріалу після зняття електричної напруги і має практично такі ж чисельні значення характеристик.

Нівелювання розглянутих недоліків можливо шляхом зміни режимів роботи п'єзоелементів [41, 97]. Таким чином, в результаті аналізу існуючих типів компонентів для вимірювання координат, типу вимірюваних параметрів, в зв'язку зі специфікою об'єкта, який переміщується, проведено обґрунтування вибору п'єзокераміки в якості матеріалу для блоку датчиків в складі вимірювального блоку комп'ютерної системи обліку завантаження контейнеровоза.

#### 4.2 Реалізація системи контролю та підтримки прийняття рішення при завантаженні контейнеровозів

Нами пропонується система підтримки прийняття рішення щодо завантаження великотоннажного контейнеровоза, яка представлена на рис.4.4, в якій вводиться новий маршрут передачі інформації: судно – навантажувальний комплекс, який є відсутньої зворотним зв'язком..

Вибір способу передачі даних був зроблений з урахуванням сучасних тенденцій в області бездротової передачі даних на користь мереж WiFi, з резервним каналом передачі даних по GPRS.

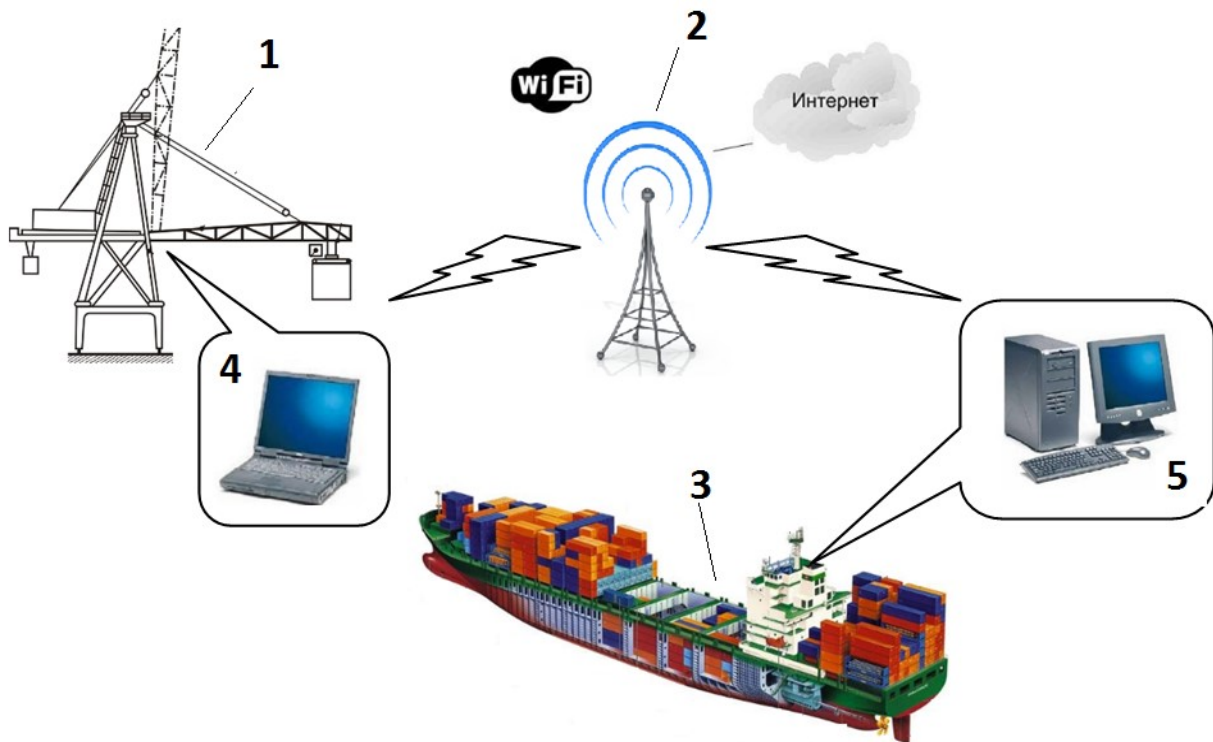


Рисунок 4.4 - Структура системи підтримки прийняття рішення по завантаженню контейнеровоза – судно / перевантажувач: 1 – контейнерний перевантажувач; 2 – станція WiFi; 3 – контейнеровоз; 4 – ноутбук в кабіні контейнерного перевантажувача; 5 – персональний комп'ютер у складі суднової автоматизованої системи, в яку вводиться нова підсистема прийняття рішення

Апаратна частина реалізована на базі промислових контролерів компанії Phoenix Contact, широка лінійка яких дозволяє без особливих труднощів проводити подальшу модернізацію та вдосконалення системи моніторингу, та які отримані учбовим закладом НУ «ОМА» за програмами EduNet та TATU (544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES).

Робота системи здійснюється наступним чином. При заході контейнеровоза (3) в порт здійснюється підключення по мережі WiFi (2) судової системи підтримки прийняття рішення (5) контейнеровоза до мережі інтернет, в яку вже підключені комп'ютери (4) причальних контейнерних перевантажувачів (1). Відбувається реєстрація в мережі і план завантаження відображається на комп'ютері перевантажувача. Піднятий контейнер зважується вагами перевантажувача, і інформація про вагу надходить через мережу Інтернет в суднову. Таким чином,



комп'ютерна система підтримки прийняття рішення дозволяє капітану судна оперативно оцінити ступінь завантаження, скоротивши простої, і забезпечити безпеку перевезень. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення можливості використання інших технологій, зокрема, і передачі інформації технологія ZigBee.

Система працюватиме наступним чином:

1. Машиніст крану, отримавши координати потрібного контейнера підіймає його краном. В момент зчеплення в базі виконується пошук інформації про вантаж, який буде перенесено. Отримавши розміри контейнера розраховуються координати всіх інших вершин.

2. Виконується переміщення контейнера на судно відповідно до координат, які були задані капітаном для даного контейнера.

3. Після того, як контейнер було встановлено на потрібне місце, суднова частина системи оповіщається про це. В портову базу відправляється команда, яка підтверджує успішне перенесення вантажу.

Для того, щоб програма на борту судна могла перевірити правильність розміщення треба мати карту зон завантаження з усіма потрібними параметрами. Під час старту система зчитує ці дані зі спеціального файлу і працює з ними не змінюючи оригінальний файл. Для можливих змін та корекцій можна застосовувати спеціальну утиліту, яка поставлятиметься разом з основною програмою.

В якості основи для файлу з параметрами судна було взято формат XML. Це дозволить використовувати карту з багатьма програмними інтерфейсами так як механізм запису/зчитування в XML безпосередньо чи через сторонні бібліотеки підтримують всі основні мови програмування [34, 85, 94].

На рис. 2.7 наведено орієнтовну карту збереження вантажів, інтерфейс якої дозволяє налаштувати специфічні параметри та оновити, чи відкоригувати карту. За даною картою створено приклад файлу, в якому описані зони завантаження судна (рис. 4.5).

Якщо ж судовласники чи певні вимоги з безпеки обмежуватимуть відкритість даних, всю цю інформацію можна зберігати у бінарному файлі, тоді ніхто сторонній,

не знаючи алгоритму заповнення цього файлу не зможе зчитати звідти корисну інформацію. На рис. 4.6 показано спробу зчитати бінарний файл за допомогою текстового редактора.

Спеціальна утиліта знатиме точно структуру такого файлу щоб, за необхідності, зчитати його чи змінити вносячи корективи у відповідні місця файлу. Для підтримки найвищого рівня захисту, якщо в цьому постане необхідність, можна додатково скористатися синхронними механізмами шифрування такими як AES чи RSA [34, 94].

```

XMLShipMap.xml
~/CSharpProjectsMono/ShipMap/bin/Debug

Відкрити [lock icon]

<?xml version="1.0"?>
<ShipMap xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <areas>
    <anyType xsi:type="RectArea">
      <angles>
        <Point>
          <X>10</X>
          <Y>20</Y>
        </Point>
        <Point>
          <X>40</X>
          <Y>20</Y>
        </Point>
        <Point>
          <X>40</X>
          <Y>5</Y>
        </Point>
        <Point>
          <X>10</X>
          <Y>5</Y>
        </Point>
      </angles>
    </anyType>
    <anyType xsi:type="RectArea">
      <angles>
        <Point>
          <X>5</X>
          <Y>5</Y>
        </Point>
      </angles>
    </anyType>
  </areas>
</ShipMap>

XML Ширинна табу.

```

Рисунок 4.5 - Приклад фрагменту файлу з характеристиками контейнеровозу

Всі модулі, встановлені на кранах відправлятимуть інформацію на суднову частину системи. Вона являє собою комп'ютер, який приєднаний до роутера, який, в свою чергу, створює мережу для здійснення комунікації. На комп'ютері встановлено програмне забезпечення, яке виконує обробку всіх даних, які надходять від кранів. Заповнюється судновий реєстр вантажів, який являє собою надбудову над картою завантаження і, по суті, поєднує інформацію про координати

місцезнаходження об'єкта і дані про цей об'єкт. Напряму з даними, які надходять з мережі працюватиме лише один програмний модуль. Буде відбуватися редагування та занесення контейнера до судового реєстру вантажів. Всі інші програмні модулі працюватимуть з ним. В програмі передбачено: графічний інтерфейс користувача, який дозволяє відобразити розміщення контейнерів на судні; модуль, який дозволяє переглянути історію перевезень; модуль аналізу розміщення, який підбиратиме найбільш оптимальне положення для контейнера; модуль зв'язку, через який здійснюватиметься зв'язок між судном та машиністами кранів.



Рисунок 4.6 - Спроба зчитати бінарний файл (фрагмент)

Кранова ж частина системи складається з двох модулів Інерційної системи навігації (ІНС) та мікроконтролеру з вбудованим Web – сервером, через який здійснюватиметься передача інформації [85]. ІНС визначає зміну положення тіла через вимірювання прискорень, які діють на тіло, та його кутових швидкостей. На основі змін цих параметрів відбувається розрахунок координат, які показують відхилення тіла від точки початку руху (місце, в якому ініціалізовано ІНС). Датчики

розташовано на захваті контейнеру. Таким чином в систему заводитимуться координати не контейнеру, а захвату крану.

Для розробки було обрано мікроконтролер Phoenix Contact, а саме модель PLC 151 GSM/GPRS (2916545). Зараз на його основі створюється модуль для закріплення на крані. Після його закінчення буде проведено серію повномасштабних тестів. Перевагою нашого модулю є те, що він може встановлюватися на майже будь-який кран, який уже встановлено в порту, що знижує витрати на її запровадження. Мікроконтролер під'єднується через інтерфейс RJ-45 до більш потужного роутера. Можлива пряма передача з мікроконтролера, якщо до його складу входить вбудований модуль WiFi. Таким чином маємо мережу, що зображена на рис. 2.9.

В роботі також досліджено можливість використання додаткового каналу передачі даних з контролера до комп'ютерної системи за допомогою вбудованого GSM/GPRS модуля.

#### 4.3 Апаратна реалізація системи контролю за завантаженням

Для здійснення апаратної реалізації на сьогоднішній день є практично необмежена кількість варіантів вибору технічних засобів. Серед усіх можливих варіантів можна виділити дві основні лінії розробки:

використання сучасної елементної бази у вигляді універсальних мікроконтролерів та мікропроцесорів спеціального призначення;

розробка системи з переважним використанням готових апаратних рішень в галузі промислової автоматики.

Оскільки розробка здійснюється для потужного комплексу завантаження контейнеровозів та передбачає досить об'ємний підхід в створенні програмного забезпечення, перший варіант не цілком задовільним, оскільки розроблене апаратне забезпечення потребуватиме більшого часу на відлагодження та подальшого здійснення сертифікації і інше. Тому пріоритетним в роботі обрано розробку комплексу з використанням засобів промислової автоматики з частковим застосуванням мікропроцесорної техніки для вирішення підзадач автоматизації проведення вантажних операцій. Серед усіх представлених засобів на ринку, в ході

детального їх аналізу, визначено, що найбільш оптимальним рішенням буде використання промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact, який пропонує широкий асортимент ПЛК для будь-яких вимог: модульні контролери для невеликих і середніх установок, високопродуктивні контролери для складних завдань автоматизації та програмні ПЛК, за допомогою яких можна перетворити промисловий ПК в продуктивний контролер.

Переваги для використання:

- продуктивність довільного масштабу завдяки великій кількості контролерів різноманітного призначення;
- комунікативність, завдяки вбудованому веб-серверу і великій різноманітності підтримуваних інтерфейсів і протоколів;
- висока гнучкість, завдяки можливості розширення за допомогою модулів введення-виведення;
- довговічність, завдяки міцному корпусу і електроніці із захистом від дії ЕМВ (електромагнітних випромінювань);
- відкрита і гнучка система управління для PLCnext Control на базі нової технології PLCnext Technology.

Найпродуктивніші контролери RFC (Remote-Field-Controller) (рис. 4.7), пропоновані Phoenix Contact, оптимально інтегруються в мережу PROFINET. Повідомлення про стан системи контролера і системи польової шини зручно виводяться на діагностичний дисплей. Продуктивний процесор дозволяє виконувати складні завдання автоматизації з високою швидкістю [83, 40].

Безперебійна робота системи автоматизації забезпечується завдяки резервним пристроям управління PROFINET від Phoenix Contact. Високопродуктивні ПЛК автоматично створюють резервну систему на базі технології AutoSync. При цьому завдяки використанню синхронізуючого оптоволоконного кабелю відстань між двома резервними контролерами може досягати 80 км [7].



Рисунок 4.7 - Контролер RFC (Remote-Field-Controller)

Контролери Inline (ILC) (рис.4.8, а) є перевіреним стандартом в асортименті ПЛК від Phoenix Contact. Дані контролери підтримують всі поширені технології зв'язку, такі як Ethernet, мобільний зв'язок або стаціонарна мережа. Крім того, вони просто розширюються різноманітними модулями введення-виведення Inline і мають інтегрований веб-сервер.

Контролери серії Axiocontrol (AXC) (рис.4.8, б) є підходящим рішенням при наявності високих вимог до продуктивності і міцності. У поєднанні з системою введення-виведення AxioLine F від Phoenix Contact контролер Axiocontrol забезпечує максимальну швидкість роботи завдяки прямому підключенню до шини [40, 83].



а)

б)

Рисунок 4.8 - Зовнішній вигляд контролерів: а - серії Inline (ILC); б - серії Axiocontrol (AXC)

Майже всі модульні контролери працюють в розширеному діапазоні для екстремальних температур.

Серед представлених сімейств контролерів для реалізації розроблених теоретичних засад, оптимальним буде використання контролерів серії Inline (ILC).

Для відпрацювання розроблених алгоритмів обрано контролер ILC 150 GSM/GPRS (рис. 4.9), який поєднує в собі варіанти контролерів у класі продуктивності 100 з бездротовим зв'язком через мобільні телефонні мережі. В контролер входить модем GSM / GPRS. Це дозволяє надсилати та отримувати SMS-повідомлення, а також підтримувати їх пакетний (IP) зв'язок через GPRS.

Контролер має вбудовані 16 цифрових входів і 4 цифрові виходи для різних контрольних завдань. Достатньо великий об'єм вбудованої пам'яті для зберігання програм роботи контролера та оброблюваних даних. Контролери серії (ILC) охоплюють досить широкий спектр задач та мають різну степінь продуктивності. Тому під кожне вирішуване завдання можна підібрати оптимальний тип контролера [6, 83].

Особливості контролерів серії Inline (ILC) [6]:

- вбудований GSM / GPRS модем;
- безкоштовне програмне забезпечення з PC Worx Express (IEC 61131-3);
- інтегрований інтерфейс Ethernet;
- підтримуються численні протоколи, такі як: HTTP, FTP, SNMP, SMTP, SQL, MySQL та ін.;
- файлова система Flash;
- інтегрований веб-сервер для візуалізації за допомогою WebVisit;
- повний майстер fieldbus (4096 точок введення / виводу);
- FTP-сервер.

В апаратній реалізації використовувався контролер GSM / GPRS ILC 151 (рис. 4.6) – невеликий, масштабований, модульний контролер з вбудованими портами для підключення мереж Ethernet та Interbus та інтегрований чотиридіапазонний модем [6].

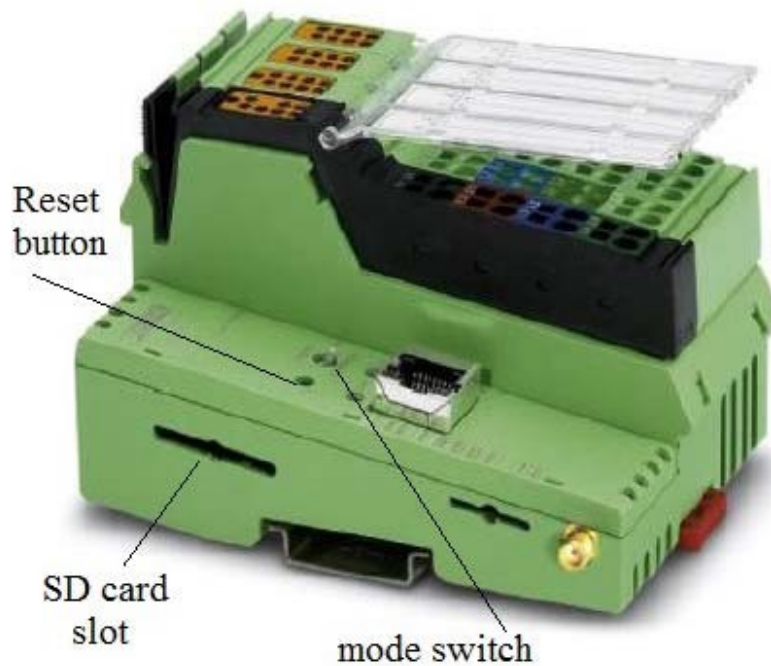


Рисунок 4.9 - ILC 151 GSM / GPRS контролер

Контролер може бути налаштований та запрограмований у PC Worx за допомогою Ethernet з'єднання на всіх п'яти мовах програмування відповідно до IEC 61131-3. З'єднання з мережею Ethernet здійснюється за допомогою кабелю типу вита пара. При підключенні використовуються типові протоколи передачі даних TCP / IP та UDP / IP, за ними ж отримується повний доступ до всіх функцій контролера. Вбудовані функції зв'язку дозволяють обмінюватися даними через мережу Ethernet з використанням функціональних блоків IP\_USEND (надсилання користувацьких даних через TCP / IP протокол) і IP\_URCV (отримання даних користувача через протокол TCP / IP) в PC Worx. Таким чином можна організувати обмін даними (тобто значення змінних, що відповідають вимірюваним параметрам контрольованих процесів та фізичних величин) між контролерами. Такий підхід дозволяє реалізувати розподілені та налаштовувані рішення для всіх рівнів автоматизації [20, 40, 83].

При використанні сервера AX OPC, контролер доступний через Ethernet мережу і може використовуватися в різних пакетах візуалізації. Протокол зв'язку Modbus TCP можна ввімкнути через Ethernet або інтерфейси контролера GSM / GPRS ILC 151. Контролер може бути налаштований як клієнт Modbus.



Локальна шина Inline та віддалена Interbus активуються за допомогою відповідного з'єднання. У цьому випадку розробник може створити повну систему Interbus (максимум чотири рівні віддаленої шини), використовуючи один контролер як координатор всіх підключених до нього ліній введення-виведення через шину Interbus. Контролер може працювати з зовнішньою флеш пам'яттю у форматі SD. Даний тип пам'яті може бути використаний для зберігання програм і конфігурацій для користувацьких проектів. Ця зовнішня пам'ять є необов'язковою і не потрібна для нормальної роботи контролера [20, 83].

GSM-модем, інтегрований в цей контролер, дозволяє виконувати наступні функції:

- надсилання та отримання SMS;
- керування пультом дистанційного керування через GPRS (загальна служба пакетного радіозв'язку) або CSD (Circuit Switched Data);
- постійне GPRS-з'єднання для роботи з цим протоколом без виконання програм.

З'єднання TCP / IP у користувацькому проекті має використовувати відповідну функцію з програмних блоків у відповідному середовищі програмування. PC Work має вбудовані функціональні блоки зв'язку MOBILE\_CONNECT, SMS\_SEND і SMS\_RECEIVE для реалізації обміну даними, відправки SMS через мережу GSM за допомогою ILC 151 GSM / GPRS контролер. Можна вставити рисунок с етими модулями!!

PC Work має стандартний функціональний блок GPRS\_CONNECT для налаштування GPRS-зв'язку з контролером GSM / GPRS ILC 151. Блоки TCP / IP дозволяють передачу даних через GPRS-з'єднання за допомогою протоколу TCP / IP [20, 40].

Контролер GSM / GPRS ILC 151 не має аналогових виходів/виходів. Для розширення можливостей контролера можна використовувати додаткові апаратні модулі (рис. 4.7, 4.8) [13, 14, 40].

Модуль IB IL DO 4-ME (рис 4.10) має 4 цифрові виходи. На модулі вводяться наступні скорочення для маркування його роз'ємів: IB – InterBus, IL – InLine, DO –

Цифровий вихід, ME – Machine Edition (призначений для інженерії, позиціонування та контролю переміщень) [13, 40].

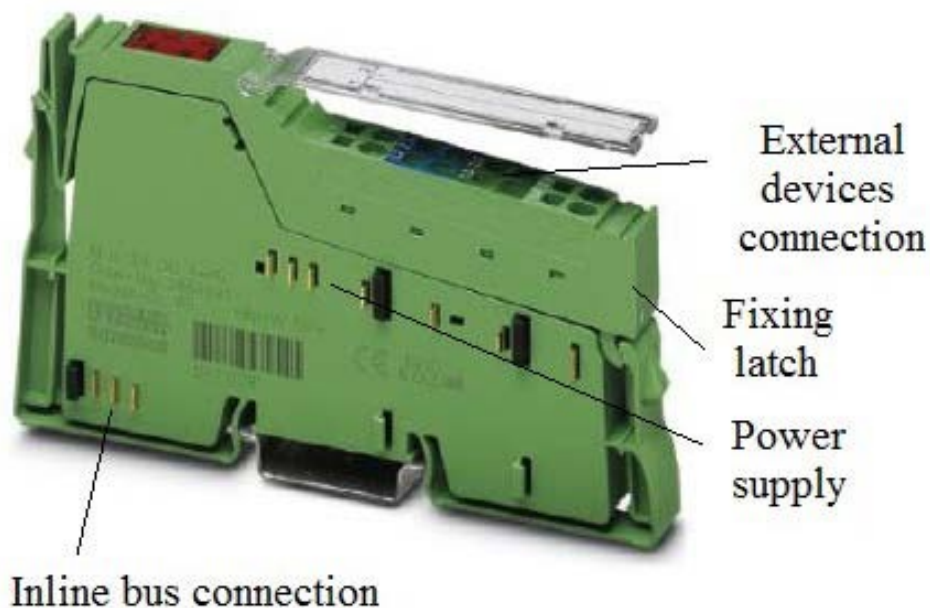


Рисунок 4.10 - Модуль розширення IL DO 4-ME

Шина Interbus модуля для з'єднання з контролером має 4 виходи 24 В, 500 мА постійного струму. Вона призначена для виведення цифрових даних і має такі характеристики [40]:

- з'єднання по 4 цифрових лініях;
- підключення виконавчих механізмів дво- та тридротовими технологіями;
- номінальний вихідний струм 500 мА;
- загальний модульний струм 2 А;
- виходи захищені від короткого замикання та перевантаження;
- індикатори стану та діагностики [13, 40].

Модуль IB IL AI 4 / U-PAC (рис 4.11) має 4 аналогових входи. На модулі використовують наступні скорочення при маркуванні його роз'ємів: IB - InterBus, IL - InLine, AI - Аналоговий вхід [14, 40].

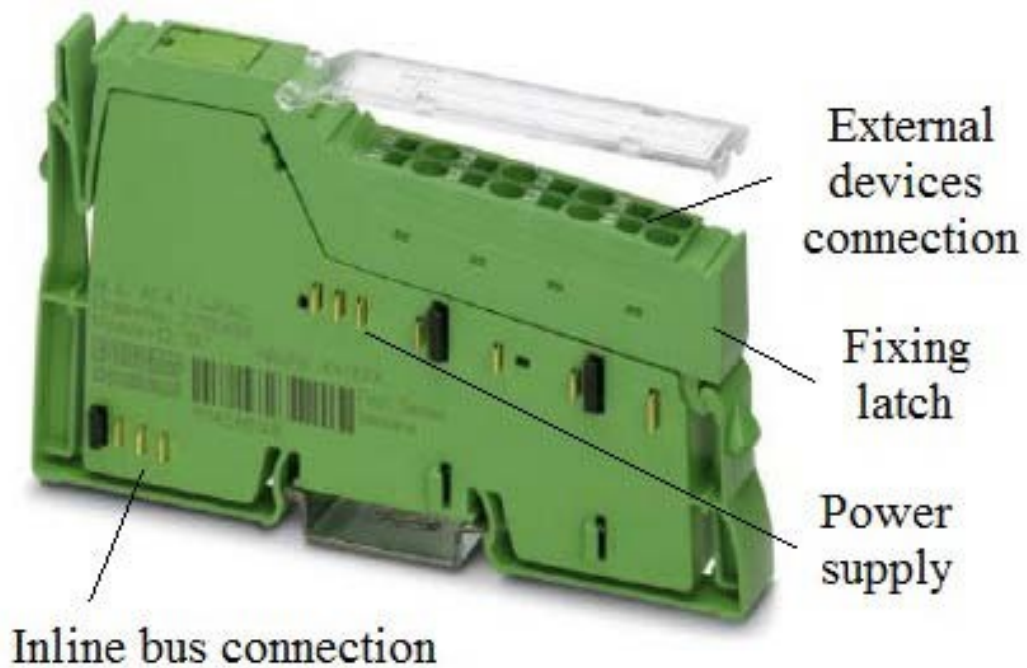


Рисунок 4.11 - Модуль розширення IB IL AI 4 / U-PAC

Модуль має 4 входи для підключення джерел з різною напругою або струмом.

Характеристики модуля [40]:

- 4 аналогових, біполярних вхідних канали;
- підключення датчиків дводровою технологією;
- діапазони напруг від 0 до 10 В і від -10 В до +10 В;
- генерація середніх значень на входах;
- оновлення даних на входах кожні 250 мсек;
- індикатори стану та діагностики [14].

Для реалізації всіх розроблених положень потрібно передбачити можливість роботи в мережі з використанням також бездротових технологій з'єднання, таких як WiFi. Для реалізації такої можливості потрібно використовувати додаткове обладнання що зможе підтримувати технологію WLAN.

WLAN (IEEE 802.11 b / g / n / a) – це стандартна бездротова технологія, яка забезпечує надійну передачу даних в середовищах, де є металеві предмети та в середовищі з високим рівнем перешкод. WLAN став стандартом для бездротового зв'язку передачі контрольних даних у мережах автоматизації. Бездротові локальні

мережі Factoryline оптимізовані як частина стандарту для автоматизації технологічних процесів [26].

Бездротова точка доступу FLASH WLAN EPA (EPA - Ethernet Port Adapter) дозволяє реалізувати високопродуктивний інтерфейс між кабельним Ethernet PROFINET і бездротовими мережами (рис 4.12) [23, 26]. В модулі використовується відкритий протокол для передачі даних на другий рівень (L2) семирівневої моделі OSI (відкрита система взаємозв'язку). Відкрита система взаємозв'язку, призначена для стандартизації пристроїв та даних передачі від різних виробників, що дозволяє легко інтегруватися в мережі, які базуються на промислових Ethernet (PROFINET і Modbus / TCP) [23].



Рисунок 4.12 - Бездротова точка доступу FL WLAN EPA

FL WLAN EPA відповідає вимогам класу А PROFINET і має профіль PROFI-safe, щоб уникнути збоїв в передачі даних. FL WLAN EPA сертифікована для сумісності з бездротовими локальними мережами стандарту IEEE 802.11 b / g / n і працює на частоті 2,4 ГГц. Цей стандарт підтримується стаціонарними комп'ютерами та ноутбуками, мобільними пристроями, сканерами штрих-кодів, зчитувачами RFID міток, системи зважування [23].

Для програмної реалізації розроблених положень також є значна кількість середовищ розробки.

Середовище програмного забезпечення AUTOMATIONWORX було розроблено компанією Phoenix Contact і являє собою пакет узгоджених програм для налаштування і програмування контролерів, діагностики модулів введення-виведення, а також інструменти для створення в контролерах веб-інтерфейсів. Програмний комплекс AUTOMATIONWORX включає наступні компоненти [20, 22, 40, 83]:

- PC Worx;
- PC Worx Express;
- Config+;
- Diag+;
- Diag+ NetScan;
- Visu+;
- WebVisit;
- AX OPC Server.

PC Worx – універсальне програмне забезпечення для розробки проектів і підходить для всіх задач автоматизації та всіх серій контролерів виробництва Phoenix. Залежно від кількості підтримуваних процесів входів / виходів, може бути використана одна з двох програмних версій: PC Worx BASIC або PC Worx PRO. Програмне забезпечення підтримує такі функції [20, 22]:

- складання топологій мережі за допомогою методу Drag-and-Drop;
- контроль пристрою за допомогою інтегрованої конфігурації та адресації PROFINET (стандарт для мереж автоматизації побудований на базі Ethernet мережевої технології в режимі реального часу та використання протоколу TCP / IP);
- PROFIBUS (технологія попереднього покоління, яка використовує швидкість передачі даних між пристроями від 9,6 кбіт / с до 12 Мбіт / с), INTERBUS, а також Modbus-TCP;
- тестування програм на ранніх етапах, використовуючи функцію симуляції;

- діагностика всіх компонентів системи;
- кілька користувачів із захистом паролем;
- запуск декількох проектів та порівняння проектів.

Програмне забезпечення містить:

- каталоги пристроїв і модулів;
- помічник імпорту проектів між контролерами в разі зміни моделі.

PC Worx Express – це безкоштовна, спрощена версія PC Worx. Він підтримує модульні міні-контролери серії ILC1XX (100-ї серії) -ILC1XXX (1000-ї серії), а також програмовані контролери PC Worx SRT з мовами програмування ST та LD згідно IEC 61131-3. Максимальна кількість даних для введення-виведення становить 128 Кб [20, 40].

PC Worx Express підтримує наступні функції: діагностика та від лагодження на всіх етапах програмування, наприклад, налагодження бібліотек і структури проекту; внесення змін до програми під час роботи контролера; зручний контроль пристрою PROFIBUS, INTERBUS, а також вбудована конфігурація та адресація Modbus-TCP; швидке введення в експлуатацію та програмування, використовуючи велику колекцію стандартних бібліотек [20, 22, 40].

Config + – це програмне забезпечення для налаштування мережі INTERBUS. Він виконує наступні функції [22, 83]:

- читання даних та порівняння фактичних та проектних топологій;
- призначення адресів автоматично або методом перетягування;
- параметризація декількох провідних блоків зв'язку та модулів в одному проекті;
- призначення IP-адресу за допомогою сервера BootP;
- параметризація пристроїв незалежно від виробника за допомогою концепції FDT / DTM;
- налаштування параметрів кількох пристроїв за допомогою майстра MDC;
- моніторинг кабельного з'єднання;
- діагностика мереж INTERBUS за допомогою графічної індикації помилок в топології мережі, текстові повідомлення з порадами щодо виправлення

помилки, відображення стану пристрою в Інтернеті, що надає статистичні дані про якість передачі, зберігання коментарів на повідомлення про помилки.

Програмне забезпечення Config + має вбудований діагностичний інструмент Diag + для усунення несправностей.

Diag + є діагностичним програмним забезпеченням для PROFINET та INTERBUS, яке повідомляє як про мережеві помилки, так і про поточний стан керуючих пристроїв. Вона включає в себе наступні діагностичні функції [20, 22, 40]:

- початок і зупинка передачі даних через INTERBUS;
- підтвердження повідомлень про помилки INTERBUS;
- ввімкнення та відключення модулів INTERBUS;
- з'являються повідомлення про помилки з порадами щодо їх усунення та докладна інформація про тип пристрою та його статус;
- виведення кольорових символів для виявлення помилок та стан пристрою;
- контроль якості передачі волоконно-оптичних ліній для профілактичної діагностики;
- порівняння та обробка пакетів діагностичних даних LWL, що змінюють час;
- створення протоколів прийому у форматі PDF;
- підключення до інших програмних засобів, наприклад, до інструментів візуалізації;
- відображення збережених повідомлень із архіву повідомлень контрольного пристрою;
- огляд топології пристроїв Ethernet / PROFINET у вигляді дворівневого графіка;
- відображення повідомлення про наявність пристроїв Ethernet / PROFINET;
- управління окремими правами користувачів для різних користувачів.

Diag + NetScan – це програмне забезпечення для циклічної діагностики мереж INTERBUS. Забезпечує синхронний моніторинг мереж INTERBUS з кількома підключеними модулями/контрольними пристроями. Наприклад, безперервний

моніторинг якості передачі на всіх оптичних каналах системи. Можна керувати низькорівневими пристроями, підключеними через системні інтерфейсні пристрої [20, 22, 40].

Крім того, це - 32-бітна програма з інтерфейсом програмування, до якого може бути підключено елемент ActiveX.

Основні функції програмного забезпечення:

- виконання основних команд (start / stop / ...);
- введення даних на структуру шини;
- розпізнавання / подання умов тривоги (текстові повідомлення з бази даних);
- зберігання діагностичної інформації у флеш-пам'яті або пам'яті для програми контролера;
- діагностика волоконно-оптичних каналів (контроль якості передачі);
- циклічне читання діагностичних даних з усіх контролерів або контролерів INTERBUS тієї ж мережі (кількість контрольних груп необмежена);
- відображення структури мережі, де всі контролери (INTERBUS контрольні пристрої) однієї системи візуально відображаються як структурне дерево;
- одночасний моніторинг до 10 контролерів / INTERBUS пристроїв управління [22].

Visu + – це програмне забезпечення візуалізації, яке забезпечує розширене спостереження за допомогою відображення діаграм або налаштування значень для нештатних ситуацій. Це також дозволяє реєструвати всі параметри процесу та здійснювати обмін даними з базами даних або підприємствами системи планування ресурсів [20, 40].

Елементи візуалізації можна вибрати за допомогою функції перетягування. Дані можна переглядати за допомогою веб-клієнта, наприклад мобільного телефону. Програмне забезпечення може працювати на платформі ARM або на багатопроцесорних серверних системах.

WebVisit – це програмний інструмент для візуалізації пристроїв і процесів в мережі. Це допомагає створювати графічні інтерфейси без програмування, які дозволяють візуально контролювати процеси з будь-якої точки локальної чи



глобальної мережі. Безкоштовна версія WebVisit 6 Express дозволяє організувати візуалізацію на базі Інтернет технологій. Крім того, до 10 web-сторінок візуалізації можна створити з відображенням параметрів від 60 точок контролю [20, 22, 40].

Найбільша перевага WebVisit полягає в тому, що це виключно графічний редактор (Java або програмування HTML не потрібно). Сторінки візуалізації WebVisit можуть бути відображені у будь-якому стандартному браузері.

AX OPC SERVER є інтерфейсом зв'язку для SCADA-системи з OPC системами підтримки та управління на основі PC Worx. OPC (OLE для процесу Control) – це сімейство програмних технологій, що забезпечують єдиний інтерфейс для управління об'єктами автоматизації та технологічними процесами. PC Worx Інтерфейс забезпечує можливість доступу до локальних та глобальних даних. Змінна імен автоматично синхронізується з поточним проектом. Основні функції [20, 22, 40]:

- підтримка стандартних функцій OPC, а також усіх додаткових інтерфейсів (відповідно до специфікації OPC DA 1.0a та DA 2.04 / 2.05);
- одночасна підтримка декількох контрольованих пристроїв;
- вбудований клієнт для тестування OPC та діагностики.

Підтримуються наступні типи контролерів: ILC 1xx, AXC 1xxx, ILC 3xx, AXC 3xxx, RFC 4xx, PC Worx RT BASIC / SRT. Підтримуються наступні стандартні типи даних: BOOL, BYTE, INT, DINT, UINT, SINT, USINT, UDINT, WORD, DWORD, REAL, LREAL, STRING, TIME (згідно з IEC 61709). Підтримуються такі типи даних, які ви користуєтесь: ARRAY OF, STRUCTS, ВАРІАНТ STRUCT, STRUCT в STRUCT (згідно з IEC 61131-3) [20, 22, 40, 83].

Для відпрацювання переважної більшості розроблених методів та алгоритмів зібрано та використано лабораторні зразки (рис. 4.13, 4.15– 4.16).



Рисунок 4.13 - Модель крану - підйомника

Оскільки побудова моделі конвеєрного крану є економічно не доцільною, в роботі реалізовано спрощену модель на основі тельфера, яка дозволяє здійснити операції підйому та переміщення вантажів, а також має можливість встановлення необхідних датчиків визначення переміщення та ваги контейнера. Підбір датчика переміщення здійснено в п.4.1, а в якості датчика ваги використано тензOMETричний датчик. Первинні перетворювачі в системі надсилають дані на універсальний мікроконтролер, який здійснює первинну обробку даних. Контролер, в свою чергу, підключений до модуля бездротової передачі даних, що працює на технології ZigBee.

Стандарт IEEE 802.15.4 [IEEE] є одним з найновіших в серії бездротових технологій передачі даних (прийнятий в жовтні 2003 р). На його основі ZigBee Alliance розробив специфікацію протоколів мережевого і прикладного рівня, які анонсував в грудні 2004 року під назвою "ZigBee". ZigBee Alliance включає в себе більше 180 компаній, що працюють спільно над просуванням стандартів, стека протоколів і прикладних профілів для споживчого та промислового сектора економіки. Прикладні профілі орієнтовані, зокрема, на автоматизацію будівель, промисловий моніторинг, вентиляцію і кондиціонування, роботу з датчиками.

Специфікація ZigBee описує побудову мережі, питання безпеки, прикладне програмне забезпечення [42].

Основною областю застосування ZigBee / IEEE 802.15.4 є: передача інформації від рухомих і обертових частин механізмів (конвеєрів, роботів) у промислові системи управління та моніторингу, бездротові мережі датчиків; відстеження маршрутів руху та місця розташування майна та інвентарю; "інтелектуальне" сільське господарство; системи охорони [104].

На відміну від інших бездротових технологій, де ставиться завдання забезпечити високу швидкість передачі, велику дальність або високу якість обслуговування, ZigBee / IEEE 802.15.4 створювався спочатку за критеріями малої дальності дії, низьку ціну, низьку споживану потужність, низьку швидкість передачі і малі габарити. Ці властивості ідеально відповідають вимогам до більшості промислових датчиків. Тому ZigBee часто ототожнюють з промисловими бездротовими сенсорними мережами WSN (Wireless Sensor Network). Пристрої ZigBee використовуються в застосуваннях, де Bluetooth виявляється занадто дорогим, і не потрібна висока швидкість передачі [42].

ZigBee, як і Bluetooth, використовується в неліцензованому діапазоні 2,4 ГГц. Стандарт передбачає також використання частот 868 МГц в Європі і 915 МГц в США. Максимальна швидкість передачі становить 250 кбіт / с в діапазоні 2,4 ГГц. Смуга пропускання 2,4 ГГц розділена на 11 ... 26 каналів шириною по 5 МГц кожен [42, 104].

Незважаючи на те, що вся ідеологія стандарту IEEE 802.15.4 побудована в припущенні, що типовий зв'язок буде здійснюватися на відстані близько 10 м, стандарт не встановлює вимог до потужності передавача. Цей параметр регулюється нормативними документами в галузі радіозв'язку, специфічними для кожної держави. Найбільшого поширення на ринку мають передавачі з потужністю 1 мВт, які забезпечують зв'язок на відстані до 10 м в приміщенні, що використано в лабораторній моделі, а також передавачі з потужністю 10 мВт, що збільшують цю відстань до 80 м в приміщенні і до 1 км в умовах прямої видимості (цей варіант

пропонується до застосування на реальному об'єкті). Дальність зв'язку можна збільшити застосуванням антен спеціальної конструкції [59].

У ZigBee є три основні типи пристроїв:

1. координатор – формує топологію мережі і може встановлювати мостове з'єднання з іншими мережами. У кожній ZigBee мережі є тільки один координатор;
2. маршрутизатор – працює як проміжна ланка, передаючи в потрібному напрямку дані від інших пристроїв;
3. кінцевий пристрій – передає дані координатору або маршрутизатору і не може зв'язуватися з аналогічними йому пристроями.

Весь протокол також підпорядковується загальним принципам, закладених в модель OSI мережі і включає в себе фізичний рівень (PHY), каналний рівень, що складається з підрівня доступу до середовища передачі MAC і LLC, які визначаються стандартом IEEE 802.15.4, а також мережевий рівень NWK (NetWoRK) і рівень додатків APL, що складається з підрівня підтримки додатків (Application Support sub-layer – APS), підрівні об'єктів пристроїв ZigBee (ZigBee Device Object – ZDO) і об'єктів Application Objects, що визначаються виробником ZigBee-пристроїв [42, 59].

Рівень NWK використовує методи, що забезпечують [104]:

- реєстрацію в мережі нового пристрою і виключення його з мережі;
- забезпечення безпеки при передачі фреймів;
- вказівка маршруту фрейму до місця призначення;
- прокладку маршрутів між пристроями в мережі;
- виявлення в мережі найближчих сусідів;
- запам'ятовування необхідної інформації про сусідні вузли.

Рівень NWK координатора відповідає за організацію нової мережі, коли це потрібно, і призначення адрес нових пристроїв, що підключаються до мережі.

Підрівень APS рівня додатків забезпечує [42]:

- обслуговування таблиць для зв'язування пристроїв мережі на основі інформації про необхідність і можливість зв'язування;
- передачу повідомлень між пов'язаними пристроями;

- визначення групової адреси пристроїв, видалення і фільтрацію повідомлень з груповими адресами;

- відображення 64-бітної адреси в 16-бітну;
- фрагментацію, перекомпонування і транспортування даних.

Підрівень ZDO забезпечує [59]:

- визначення ролі пристроїв в мережі (координатор, маршрутизатор або термінал);
- ініціювання або відповідь на запит з'єднання;
- захист інформації;
- виявлення пристроїв в мережі і визначення, який сервіс вони надають.

Топологія Zigbee-мережі підтримується рівнем NWK і може мати форму зірки, дерева або коміркової мережі. У топології типу зірки мережа контролюється координатором. Координатор відповідає за ініціалізацію і обслуговування мережевих пристроїв і всіх кінцевих пристроїв, які безпосередньо взаємодіють з координатором. У комірковій і деревовидній структурі мережі координатор відповідає за організацію мережі і вибір деяких ключових параметрів, але мережа може бути розширена за допомогою ZigBee маршрутизаторів. У мережі з деревоподібної топологією маршрутизатори переміщують дані і керуючі повідомлення по мережі, використовуючи ієрархічну стратегію маршрутизації. Деревовидні мережі можуть використовувати маячкову стратегію маршрутизації [42, 59, 104].

Коміркова мережа повинна забезпечити повну однорангову комунікацію пристроїв, тобто в комірковій мережі немає пристроїв різних рангів (координаторів, маршрутизаторів і т.п. – всі пристрої рівноправні).

Оскільки в системі може бути ситуація, коли потужності встановленого WiFi обладнання в порту не вистачає для надійного покриття всіх кранових пристроїв, тому в роботі також розглянуто альтернативний варіант передачі даних від вимірювальних пристроїв на центральний блок. На основі проведеного аналізу наявних технологій, оптимальним варіантом буде застосування технології передачі даних LoRa.

На початку 2015 року Semtech Corporation і дослідницький центр IBM Research представили новий відкритий енергоефективний мережевий протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks), що забезпечує значні переваги перед іншими бездротовими технологіями [25].

Метою створення протоколу LoRaWAN була реалізація єдиного стандарту для глобальних мереж з низьким енергоспоживанням (LPWAN – від англ. Low Power Wide Area Network) [24].

Розробники LoRa Alliance позиціонують LoRa як технологію, що має значні переваги перед стільниковими мережами і WiFi завдяки можливості розгортання міжмашинної (M2M) комунікації на відстанях до 20 км. і швидкостях до 50 Кбіт/с, при мінімальному споживанні електроенергії, що забезпечує кілька років автономної роботи на одному акумуляторі типу AA [4].

Діапазон застосувань даної технології величезний: від домашньої автоматизації та інтернету речей (Internet of Things, IoT) до промисловості і розумних міст.

Метод модуляції LoRa запатентований компанією Semtech, заснований на техніці розширення спектра (spread spectrum modulation) і варіації лінійної частотної модуляції (chirp spread spectrum, CSS), при якій дані кодуються широкосмуговими імпульсами з частотою, що збільшується або зменшується на деякому часовому інтервалі. Таке рішення, на відміну від технології прямого розширення спектра, робить приймач стійким до відхилень частоти від номінального значення і спрощує вимоги до тактового генератора, що дозволяє використовувати недорогі кварцові резонатори. LoRa використовує пряму корекцію помилок (forward error correction, FEC), працює в субгігагерцовому діапазоні частот [4, 24, 25].

LoRa дозволяє демодулювати сигнали на рівні 20dB нижче рівня шумів, тоді як більшість систем з частотною модуляцією (frequency shift keying, FSK) можуть коректно працювати з сигналами на рівні не нижче 8-10dB над рівнем шумів. Модуляція LoRa визначає фізичний рівень (physical layer, PHY, OSI level 1), який може використовуватися в мережах з різною архітектурою – mesh-мережі, зірка, точка-точка та інші [15, 24].

Завдяки своїй високій чутливості (-148dbm) LoRa ідеально підходить до пристроїв з вимогами низького споживання електроенергії і високої остійності зв'язку на великих відстанях.

Типова мережа LoRaWAN (рис. 4.14) складається з наступних елементів: кінцеві вузли, шлюзи, мережевий сервер і сервер додатків [15].

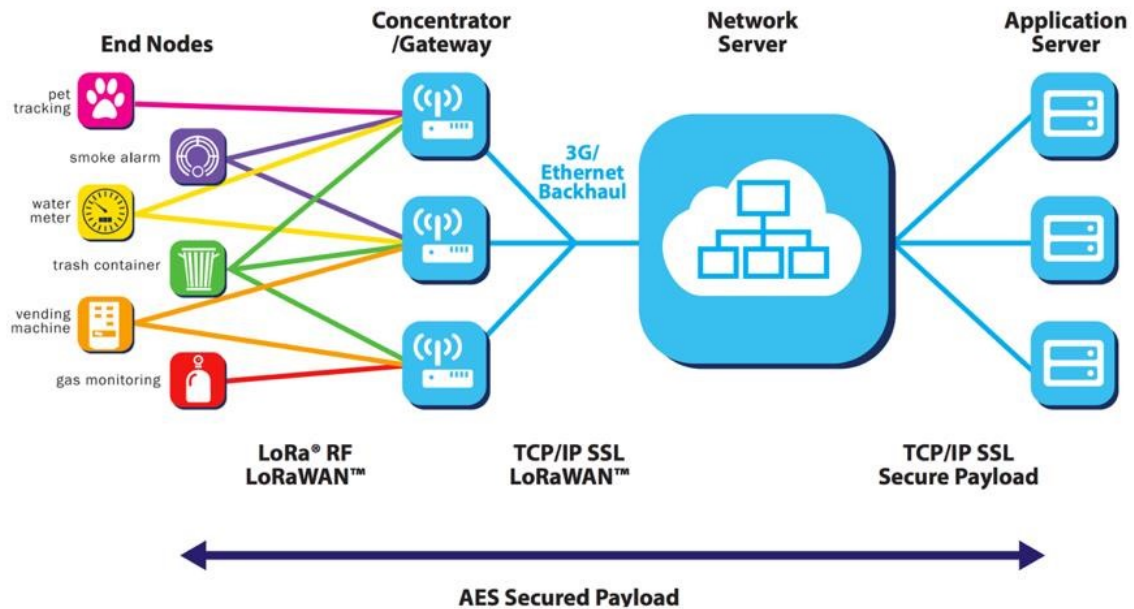


Рисунок 4.14 - Архітектура мережі LoRaWAN [15]

Кінцевий вузол (End Node) призначений для здійснення керуючих або вимірювальних функцій. Він містить набір необхідних датчиків і керуючих елементів.

Шлюз LoRa (Gateway / Concentrator) – пристрій, що приймає дані від кінцевих пристроїв за допомогою радіоканалу і передає їх в транзитну мережу. В якості такої мережі можуть виступати Ethernet, WiFi, стільникові мережі та будь-які інші телекомунікаційні канали. Шлюз і кінцеві пристрої утворюють мережеву топологію типу зірка. Зазвичай даний пристрій містить багатоканальний приймач для обробки сигналів в декількох каналах одночасно або, навіть, кількох сигналів в одному каналі. Відповідно, кілька таких пристроїв забезпечує зону покриття мережі та прозору двосторонню передачу даних між кінцевими вузлами і сервером [4, 15, 25].

Мережевий сервер (Network Server) призначений для управління мережею: завданням розкладу, адаптацією швидкості, зберіганням і обробкою отриманих даних.

Сервер додатків (Application Server) може віддалено контролювати роботу кінцевих вузлів і збирати необхідні дані з них.

В кінцевому підсумку, мережа LoRaWAN має топологію зірка із зірок, має кінцеві вузли, які через шлюзи, що утворюють прозорі мости, спілкуються з центральним сервером мережі. При такому підході зазвичай передбачається, що шлюзами і центральним сервером керує оператор мережі, а кінцевими вузлами – абоненти. Абоненти мають можливість прозорої двобічної і захищеної передачі даних до кінцевих вузлів.

Оскільки LoRaWAN утворюють глобальну мережу, то розробники приділили особливу увагу безпеці і гарантують конфіденційність, які забезпечуються шифруванням AES на декількох рівнях [4, 24]:

- На мережевому рівні з використанням унікального ключа мережі (Unique Network key, EUI64).
- Наскрізну безпеку на рівні додатків за допомогою унікального ключа додатків (Unique Application key, EUI64).
- Безпеку на рівні додатків за допомогою спеціального ключа пристрою (Device specific key, EUI128).

Для вирішення різних завдань і застосувань в мережі LoRaWAN передбачено три класи пристроїв [24, 25]:

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу А» (Bi-directional end-devices, Class A). Пристрої цього класу застосовуються, коли необхідна мінімальна споживана потужність при переважанні передачі даних до сервера. Ініціатором сеансу зв'язку виступає кінцевий вузол, відправляючи пакет з необхідними даними, а потім виділяє два вікна, на протязі яких чекає даних від сервера. Таким чином, передача даних від сервера можлива тільки після виходу на зв'язок кінцевого пристрою [15, 24].

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу Б» (Bi-directional end-devices, Class B). Основна відмінність від пристроїв «класу А» полягає у виділенні додаткового вікна



прийому, яке пристрій відкриває за розкладом. Для складання розкладу кінцевий пристрій здійснює синхронізацію за спеціальним сигналом від шлюзу. Завдяки цьому вікну сервер має можливість почати передачу даних в заздалегідь вказаний час [15, 25].

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу C» з максимальним прийомним вікном (Bi-directional end-devices, Class C). Пристрої цього класу мають майже безперервне вікно прийому даних і закривають його лише на час передачі даних, що дозволяє застосовувати їх для вирішення завдань, що вимагають одержання великого обсягу даних [15, 24, 25].

Разом, LoRaWAN дозволяє будувати глобальні розподілені бездротові мережі з великим числом кінцевих вузлів. За заявами Semtech, один LoRa-шлюз допускає обслуговування до п'яти тисяч кінцевих пристроїв, що досягається за рахунок [4, 15]:

- Топології мережі.
- Адаптивної швидкості передачі даних і адаптивної вихідної потужності пристроїв, що задаються мережевим сервером.
- Тимчасовим поділом доступу до середовища.
- Частотним поділом каналів.
- Особливістю LoRa-модуляції, що дозволяє в одному частотному каналі одночасно демодулювати сигнали, що передаються на різних швидкостях.

Вся зібрана інформація передавалася на центральний контролер, який здійснював подальшу обробку зібраних даних, записував всі дії в базу даних, вів попередні обрахунки остійності судна та коректність розташування вантажів на палубі (рис. 4.15).

На цьому ж контролері реалізовано WEB-сервер з відповідним інтерфейсом, що дозволяє віддалено контролювати перебіг процесу завантаження з містка капітана чи іншого мобільного пристрою. Також даний контролер має підключення до модуля бездротового зв'язку за протоколом WiFi, що дозволяє використовувати одночасно два канали передачі даних – WiFi та GSM / GPRS.

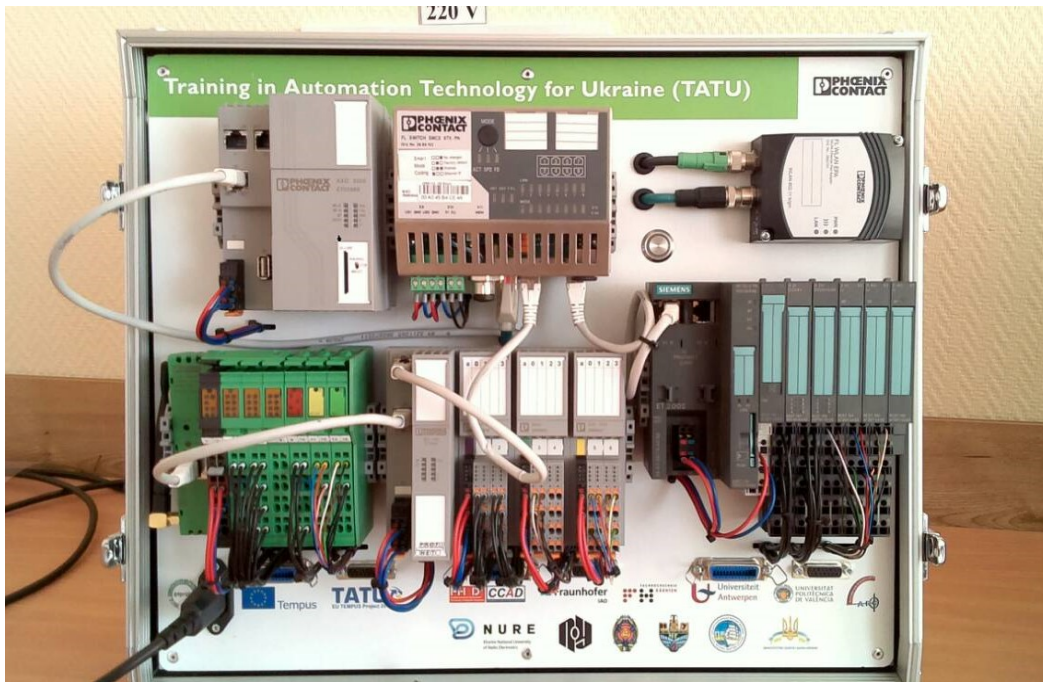


Рисунок 4.15 - Модель контролера збору первинних даних, який отримано учбовим закладом за програмою TATU (544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES)

Також потрібно передбачити можливість машиніста крану контролювати всі свої маніпуляції з вантажем, бачити всю службову інформацію щодо завантажуваних контейнерів (рис. 4.16).

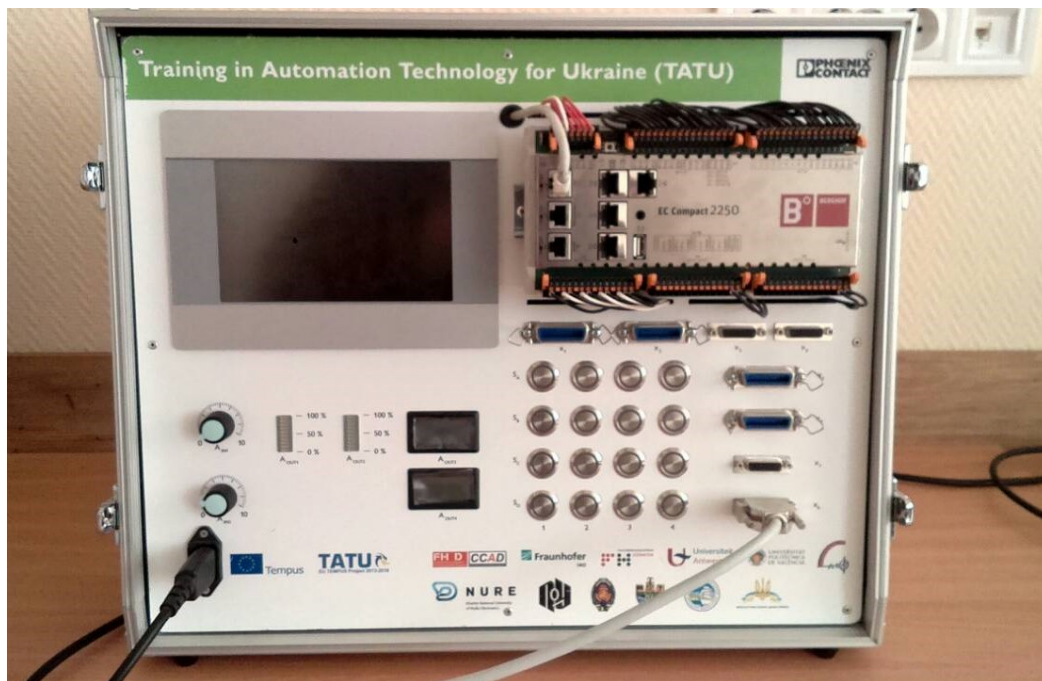


Рисунок 4.16 - Модель пульта машиніста крану

Подібний підхід дозволяє скоротити час розробки системи та здійснити повну автоматизацію процесу завантаження контейнеровоза.

#### 4.4 Верифікація результатів дослідження на лабораторному зразку

Проведення лабораторних експериментів на дослідних зразках – невід’ємний етап в реалізації фундаментальних і прикладних досліджень. Для перевірки розроблених теоретичних положень зібрано дослідну установку (рис. 4.17).

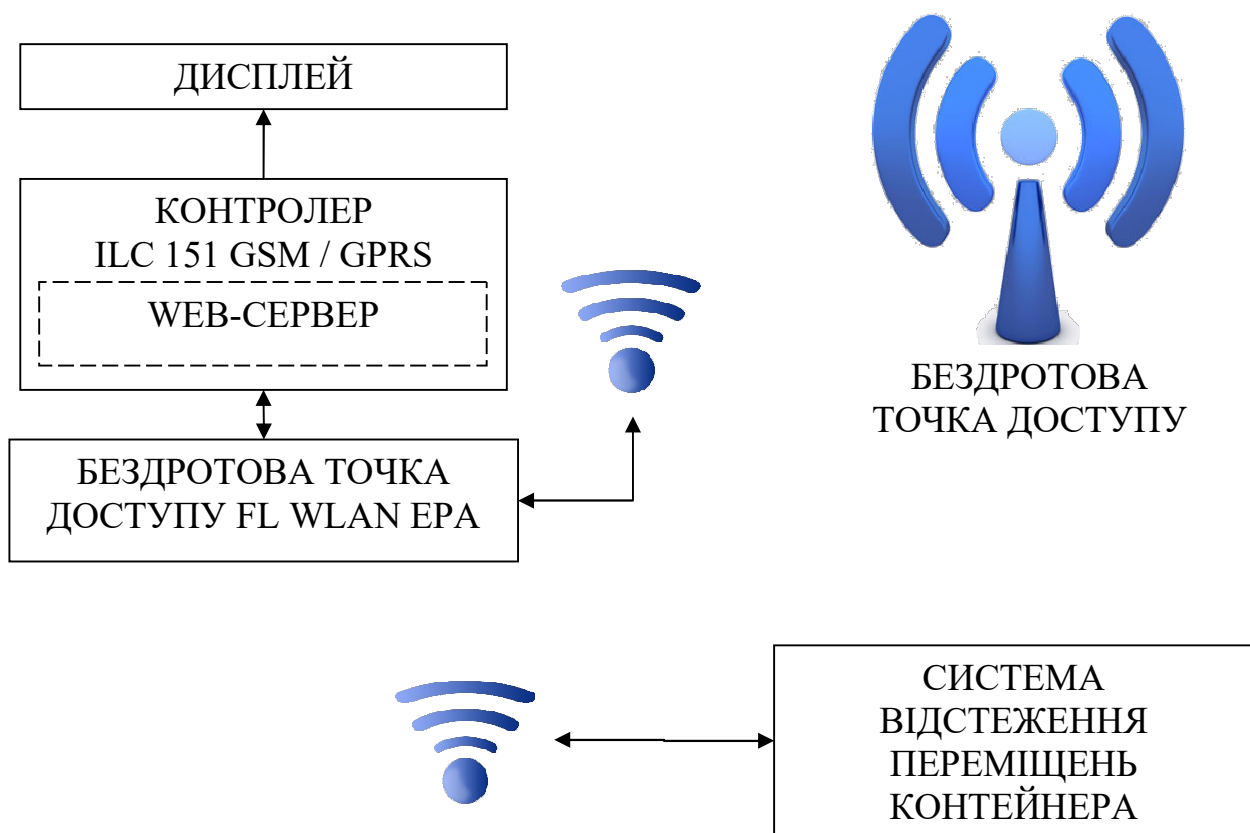


Рисунок 4.17 - Блок-схема дослідної установки

Для реалізації центрального контролера, WEB-сервера та пульта оператора в цілому в ході експерименту використовувались блоки, описані в п. 4.4.

Загальний вигляд розробленого дослідного комплексу приведено на рис. 4.18.

Оскільки лабораторний експеримент не дозволяє відтворити роботу крану в повному масштабі, апаратну частину, що відповідає за реєстрацію переміщень контейнера в просторі, зібрано з альтернативних компонентів, що задовольняють

вимогам мінімалізації розміру, ваги, енергоспоживання, але з максимальним наближенням забезпечують точність та відтворюваність експерименту.

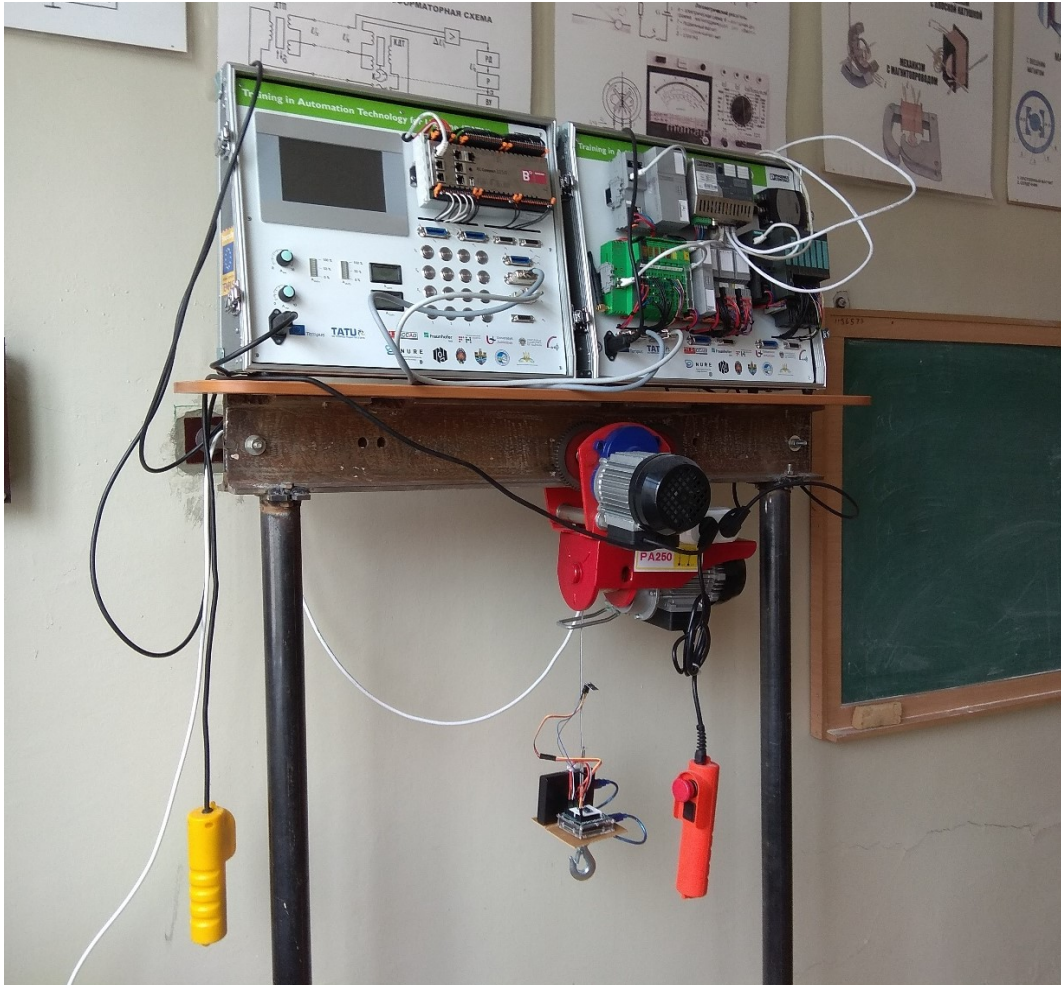


Рисунок 4.18 - Лабораторна дослідна установка в зборі

Блок-схему блоку відстеження переміщень контейнеру приведено на рис. 4.19.

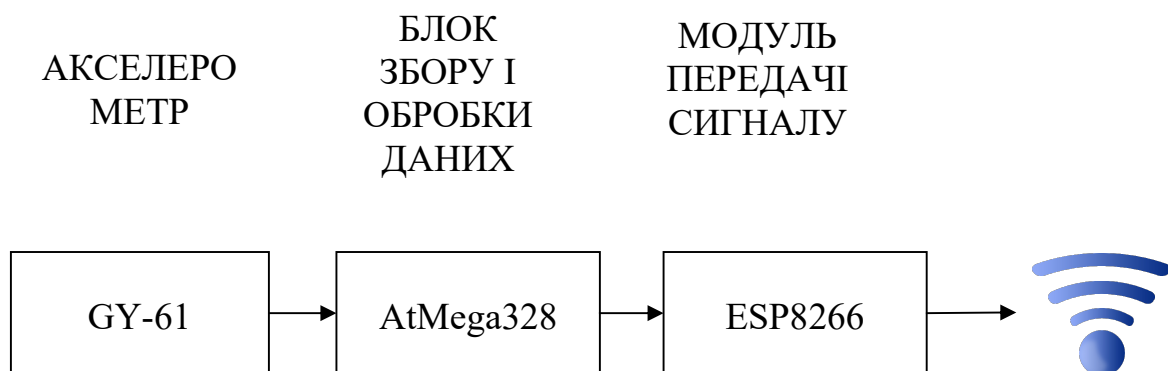


Рисунок 4.19 - Блок-схема дослідного блоку відстеження переміщень контейнеру

Оскільки обраний тип акселерометра в п.4.1 для проведення лабораторного експерименту надто громіздкий, для зменшення загальних габаритів використано модуль 3-х осевого акселерометра GY-6 на основі інтегрованої схеми ADXL335. Датчик може вимірювати статичне прискорення сили тяги при застосуванні зондування нахилом, а також динамічне прискорення внаслідок руху, удару або вібрації [12]. ADXL335 – це невеликий, тонкий, потрійний осевий акселерометр з надзвичайно низьким рівнем шуму та енергоспоживанням. Датчик має аналогові виходи, що відповідають за сигнали по кожній з осей. Точність вимірювання прискорення з мінімальним повномасштабним діапазоном  $-3,6\text{ g} - +3,6\text{ g}$ . Він може вимірювати статичне прискорення сили тяжіння при відхиленні від нульового положення, а також динамічне прискорення внаслідок руху, удару або вібрації. Користувач вибирає пропускну здатність акселерометра, використовуючи конденсатори  $C_X$ ,  $C_Y$  та  $C_Z$  на контактах  $X_{OUT}$ ,  $Y_{OUT}$  та  $Z_{OUT}$  (рис. 4.20) [1]. Пропускна здатність може бути вибрана відповідно до застосування, з діапазоном від 0,5 Гц до 1600 Гц для осей X і Y, а також діапазону від 0,5 Гц до 550 Гц для осі Z. ADXL335 доступний у невеликому, низькопрофільному 16-контактному корпусі типу LFCSP\_LQ з габаритними розмірами  $4\text{ мм} \times 4\text{ мм} \times 1,45\text{ мм}$ . Мікросхема має вбудований регулятор напруги 3.3V для живлення своїх компонентів, тому вхідна напруга може бути в межах 3.3 В – 6 В постійного струму [1].

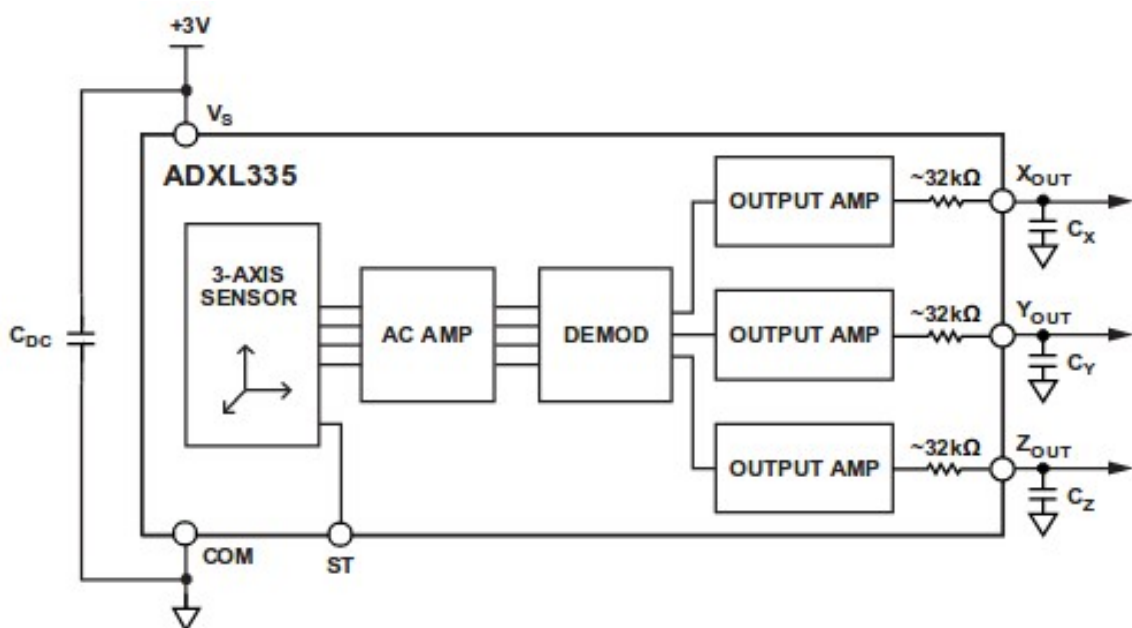


Рисунок 4.20 - Функціональна блок-схема акселерометру ADXL335

Сама мікросхема містить полікристалічний поверхнево-мікрообробний сенсор та схему перетворення сигналів для реалізації архітектури вимірювання прискорення з відкритим контуром. Вихідні сигнали – це аналогові напруги, пропорційні прискоренню. Датчик – це поверхнево-кремнієва структура з полікремнеземом, змонтована поверх кремнієвої пластини. Поліціліконові пружини забезпечують стійкість поверхневої пластини під час зовнішнього впливу сил прискорення. Відхилення структури вимірюється за допомогою диференціального конденсатора, який складається з незалежних нерухомих пластин і пластин, прикріплених до рухомої маси. Прискорення відхиляє рухомий масив, що призводить до зміни ємності динамічного конденсатора, в результаті чого на виході датчика формується сигнал, амплітуда якого пропорційна прискоренню. Потім використовуються фазочутливі методи демодуляції для визначення величини та напрямку прискорення [1].

Отримані сигнали обробляються за допомогою мікроконтролера ATmega328 в складі відлагоджувальної плати Arduino Uno (рис. 4.21) [2].

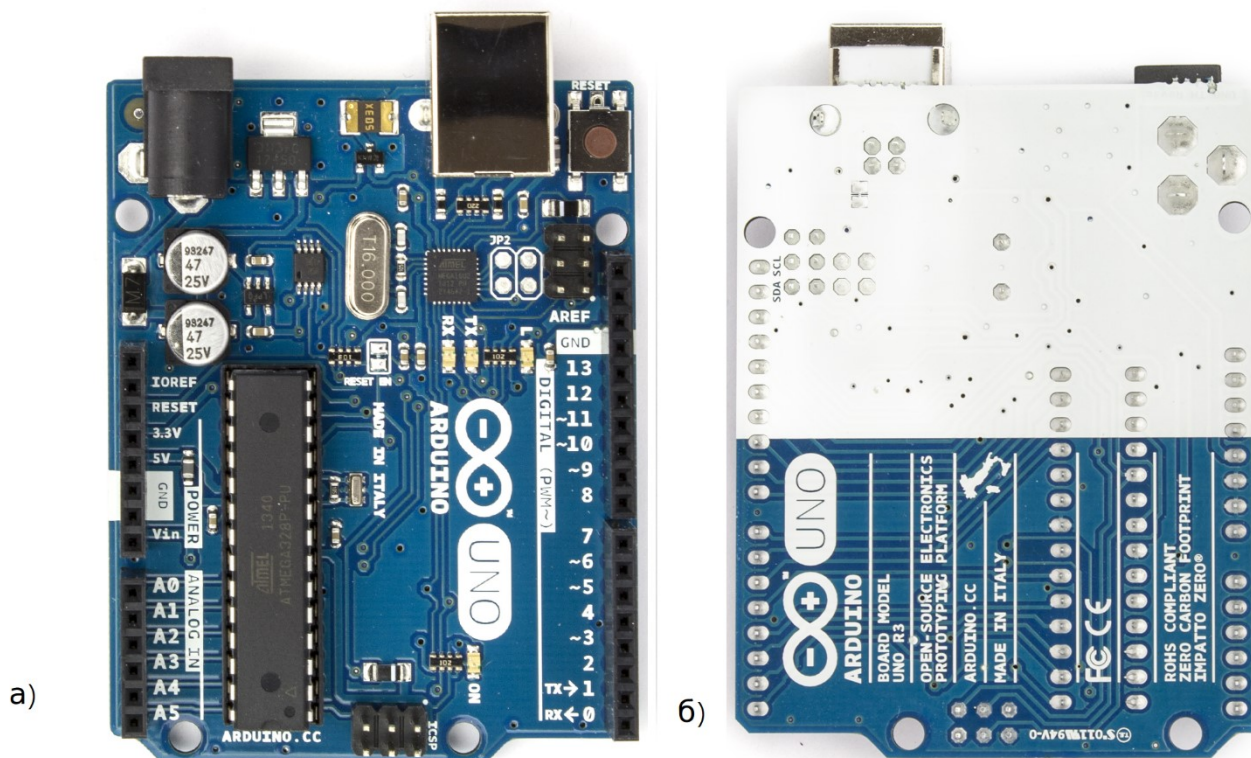


Рисунок 4.21 - Відлагоджувальна плата Arduino Uno: а) вид зверху; б) вид знизу

Arduino Uno – це відлагоджувальна плата на базі мікроконтролера ATmega328. Має 14 цифрових ліній введення / виведення (з яких 6 можна використовувати як PWM виходи), 6 аналогових входів, керамічний резонатор 16 МГц, USB-з'єднання, гніздо живлення, штировий роз'єм ICSP та кнопка скидання. Плата містить все необхідне для підтримки роботи мікроконтролера. Arduino Uno відрізняється від усіх попередніх плат, оскільки вона не використовує чіп FTDI USB-to-serial драйверів. Замість цього плата оснащена мікроконтролером Atmega16U2 (Atmega8U2up до версії R2), запрограмованим як USB-послідовний конвертер [2].

Мікроконтролер ATmega328 побудований на ядрі Atmel AVR поєднує в собі багатий набір інструкцій із 32 робочими регістрами загального користування. Всі 32 регістри безпосередньо пов'язані з арифметико-логічним пристроєм (ALU), що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів за допомогою однієї інструкції, виконуваної за один робочий такт. Отримана архітектура більш ефективна для коду при досягненні пропускну здатності в десять разів швидше, ніж звичайні мікроконтролери з CISC архітектурою. ATmega328/P надає наступні можливості: 32 Кбайт програмованої вбудованої флеш-пам'яті з можливістю читання під час запису, EEPROM 1 Кбайт, SRAM 2 Кбайт, 23 ліній загального вводу / виводу, 32 загальних робочих регістрів, лічильник реального часу (RTC) , три гнучких таймера / лічильники з режимами порівняння та PWM, 1 серійний програмований USART, 1 байтовий 2-провідний послідовний інтерфейс (I2C), 6 ліній 10-бітного аналого-цифрового перетворювача (ADC) (8 каналів у TQFP та QFN / MFL-корпусах), програмований Watchdog-таймер з внутрішнім тактовим генератором, послідовний порт SPI та шість програмних режимів для вибору режиму енергозбереження. Функціональна блок-схема контролера приведена на рис. 4.22 [3]. Режим очікування зупиняє процесор, дозволяючи продовжувати функціонувати SRAM, таймер / лічильники, порт SPI та система переривань. Режим живлення в режимі пониженого енерговикористання (Power-down) зберігає вміст регістрів, але вимикається тактовий генератор, відключаючи всі інші функції чіпа до наступного переривання або настання загального скидання всієї системи. У режимі енергозбереження – асинхронний таймер продовжує працювати, що дозволяє

користувачеві відслідковувати роботу пристрою в часі, поки інші пристрої сплять. Режим зменшення шумів ADC зупиняє процесор та всі модулі вводу-виводу, за винятком асинхронного таймера та блоку ADC, щоб мінімізувати можливе виникнення радіошумів при здійсненні аналого-цифрового перетворення. У режимі очікування тактовий генератор працює, поки інші пристрої знаходяться в сплячому режимі. Це дозволяє дуже швидко запускати роботу всього пристрою в поєднанні з низьким енергоспоживанням. У режимі розширеного режиму очікування як основний генератор, так і асинхронний таймер продовжує працювати [3].

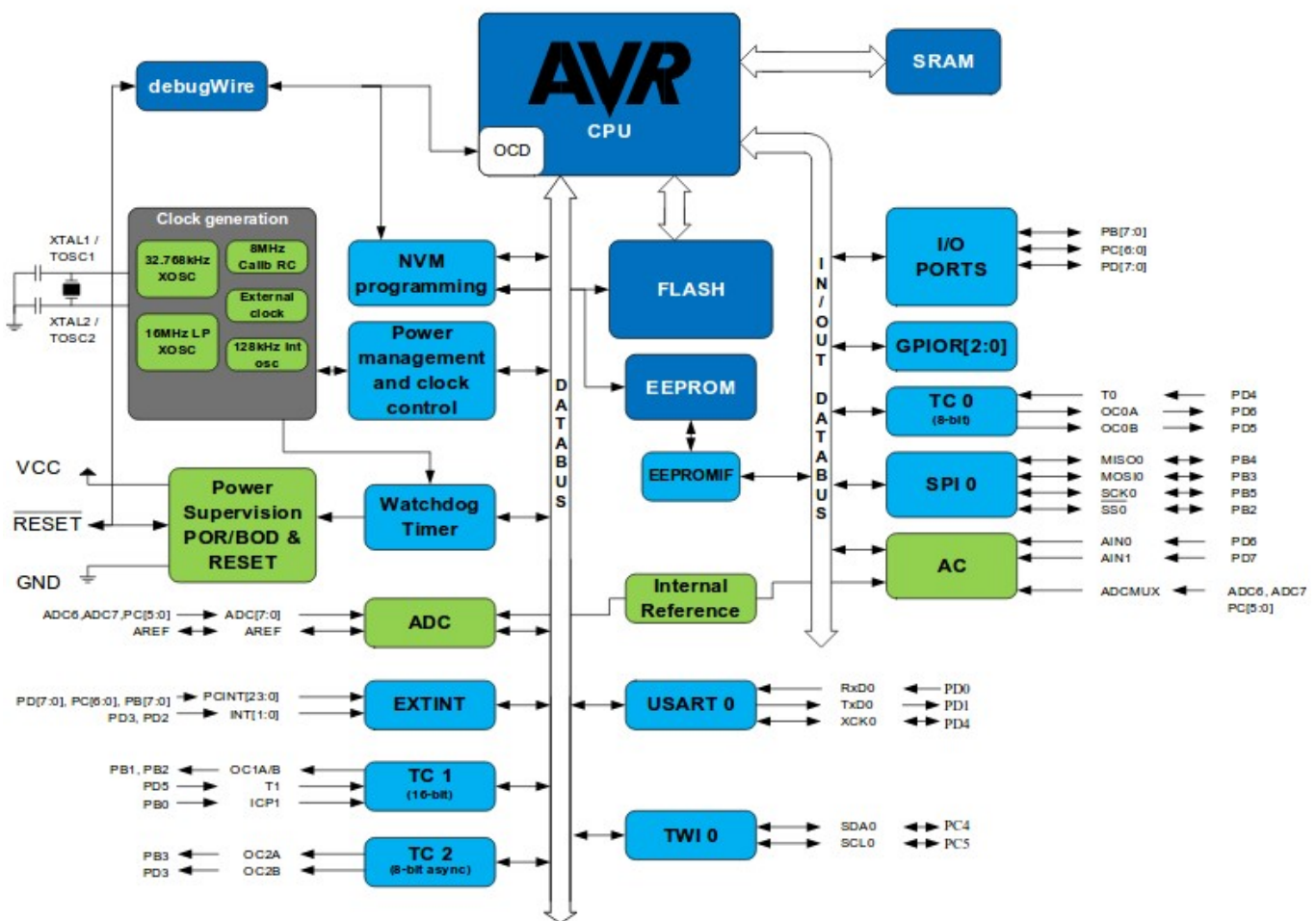


Рисунок 4.22 - Функціональна блок-схема мікроконтролера ATmega328

Для підключення мікроконтролера до бездротової мережі та передачі даних на центральний модуль в роботі використано модуль ESP-01. Модуль ESP-01 містить мікросхему ESP8266 та чіп флеш-пам'яті (рис. 4.23) [10]. На модулі встановлено два світлодіодні індикатори: червоний, який вказує, що живлення підключено до



модуля, і синій, який вказує потоки даних, і може також програмно керуватися користувачем. Антена WiFi – виконана як частина PCB-плати, яка покриває верхню частину модуля, це називається Meandered Inverted-F Antenna (MIFA).



Рисунок 4.23 - Зовнішній вигляд WiFi модуля ESP-01

Модуль має достатньо потужний процесор на борту і можливість зберігання даних, що дозволяє інтегрувати його в системи контролю та підключати різноманітні цифрові датчики, чи комунікувати з іншими мікропроцесорними пристроями через вбудовані порти GPIO. Контролер ESP8266 виготовляється компанією EsPressif і забезпечує високо-інтегровані рішення WiFi SoC, що відповідають постійним вимогам користувачів щодо ефективного використання енергії, компактного дизайну та надійної роботи в галузі індустрії Інтернету Речей. ESP8266 підтримує APSD для програм VoIP та інтерфейсів спільного існування Bluetooth, він містить самокалібрований радіопередавач, що дозволяє йому

працювати в усіх робочих умовах та не вимагає додаткових пристроїв для роботи з радіочастотною передачею інформації [10].

В якості контролера для зв'язку модуля в мережі WiFi використано контролер ESP8266, що має свою власну систему на чіпі (SOC) з вбудованим стеком протоколів TCP / IP, який може надати будь-якому мікроконтролеру доступ до мережі WiFi. ESP8266 здатний або працювати за вбудованою програмою або завантажувати всі функції мережі WiFi з програми зовнішнього процесора. Кожен модуль ESP8266 попередньо запрограмований програмним забезпеченням з повним набором AT команд, тобто можна просто підключити його до пристрою Arduino та отримати весь функціонал мережі WiFi, використавши модуль як різновид плати розширення Shield WiFi. Модуль ESP8266 – це надзвичайно економічна плата з величезною та постійно зростаючою спільнотою [10].

Контролер має достатньо потужний вбудований процесор і можливість зберігання даних, що дозволяє його інтегрувати з датчиками та іншими пристроями, специфічними для застосування, за допомогою своїх GPIO з мінімальним розвитком передньої і мінімальної навантаження під час виконання. Його високий ступінь інтеграції в мікросхеми дозволяє мінімальні зовнішні схеми, в тому числі передній модуль, призначений для зайняття мінімальної площі PCB. ESP8266 підтримує APSD для програм VoIP та інтерфейсів спільного існування Bluetooth, він містить самокалібрований РЧ, що дозволяє йому працювати в усіх робочих умовах та не вимагає зовнішніх частин РЧ [11].

Прошивка в контролер ESP8266 завантажується за допомогою типового послідовного інтерфейсу, що підтримує швидкісну передачу інформації. Інтегрована високошвидкісна кеш-пам'ять допомагає підвищити продуктивність системи та оптимізувати системну пам'ять. Також, ESP8266 може застосовуватися в парі з будь-яким мікроконтролером як адаптер WiFi через інтерфейси SPI / SDIO або I2C / UART. ESP8266 об'єднує в собі антенні перемикачі, RF balun, підсилювач потужності, підсилювач прийому з низьким рівнем шуму, фільтри та модулі керування живленням. Компактний дизайн мінімізує розмір друкованої плати та

вимагає мінімальних зовнішніх додаткових компонентів. Структуру контролера, представлену у вигляді функціональної блок-схеми, представлено на рис. 4.24 [11].

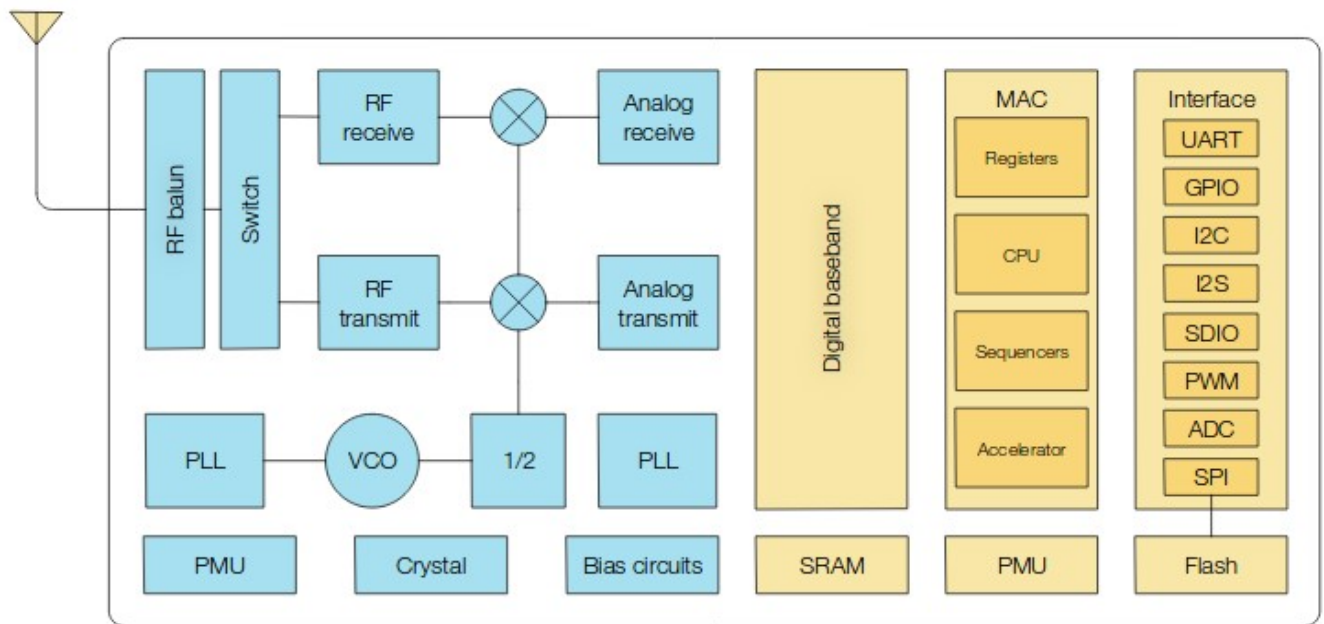


Рисунок 4.24 - Функціональна блок-схема мікроконтролера ESP8266

Окрім функцій WiFi, ESP8266 також інтегрує розширену версію 32-розрядного процесора Lens Trililizi L106 Diamond серії та мікросхем SRAM. Його можна запрограмувати для взаємодії з зовнішніми сенсорами та іншими пристроями через порти GPIO. Комплект розробки програмного забезпечення (SDK) надає типові зразки до написання коду програм для широкого спектру застосування. Платформа розумних підключень Espressif Systems (ESCP) забезпечує значну кількість додаткових функцій, включаючи швидкий перехід між режимами сну та режиму пробудження для енергозберігаючих систем з автономним чи акумуляторним живленням, адаптивне радіоперемикання для роботи малої потужності, попередня обробка сигналу, механізми розподілу каналів радіозв'язку для звичайних стільникових, Bluetooth, DDR, LVDS та інших технологій передачі інформації [11].

Описане обладнання з'єднане між собою за функціональною схемою (рис. 4.19) та встановлено на підвісі, що моделює роботу вантажного крану (рис. 4.25). Система живиться від зовнішнього акумулятора – павербанку.

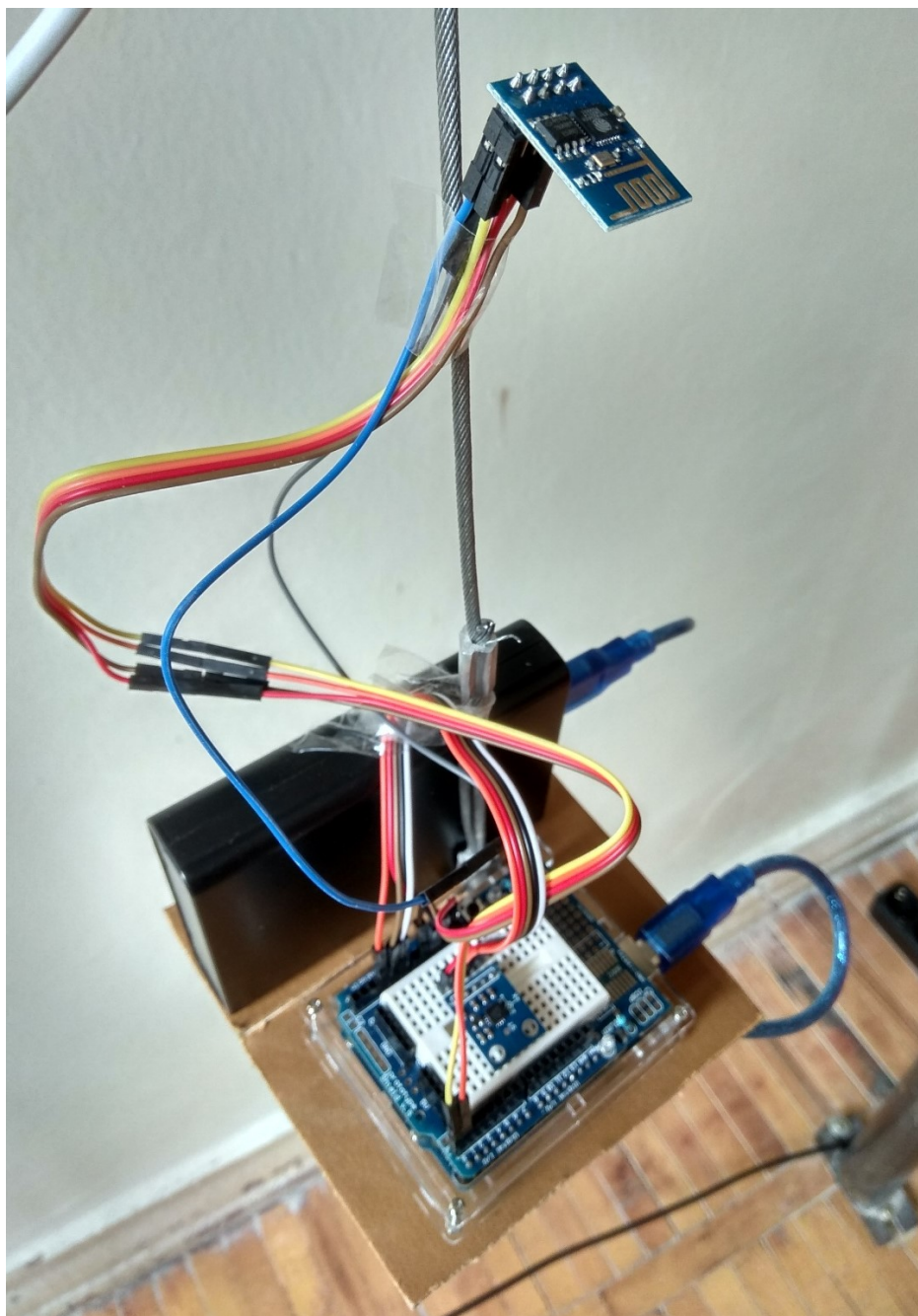


Рисунок 4.25 - Зовнішній вигляд системи відстеження переміщень контейнеру

Вся система приводиться в рух за допомогою електричної талі моделі РА-250 та управляється з ручного пульта керування (рис. 4.26).



Рисунок 4.26 - Фото робочого моменту перед відпрацюванням алгоритмів автоматичного визначення координат

Як видно з фото (рис. 4.26), система є відкритою та доступною для візуальних спостережень. Всі переміщення підвісу вимірювалися за допомогою рулетки та лінійки. Порівнювалися результати автоматичного обрахунку, з даними, отриманими при ручному вимірюванні. За результатами експерименту визначено, що похибка вимірювання складає порядку 3%, що може пояснюватися недосконалим виконанням дослідної установки, відсутність зв'язаної з установкою системи візуального визначення координат.

#### 4.5 Висновки до розділу 4

1. На основі виконаних досліджень та розробленої математичної моделі автоматичного позиціонування при проведенні вантажних операцій з суднами контейнеровозами у контейнерних терміналах створено систему визначення координат контейнера, що полягає переважним чином в закріпленому акселерометрі на спредері вантажного крану.

2. Розроблено програмно-апаратний комплекс, що дозволяє дистанційно в режимі реального часу відслідковувати за переміщеннями контейнерів вантажним краном, вести журнал всіх подій та здійснювати перевірку процесу на відповідність до наявних норм та вимог, що діють в судноплавстві. Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, які передаються від пристроїв збору інформації.

3. Підібрані оптимальні компоненти для збору даних з низьким рівнем енергоспоживання та високими технічними характеристиками.

4. Наведено результати кодування параметрів завантаження судна та фрагмент файлу, в якому описані зони завантаження контейнеровозу в закодованому вигляді.

5. Проведено експериментальні дослідження розроблених теоретичних положень по автоматичному визначенню координат рухомого контейнеру, визначено їх придатність до застосування в реальних установках.

## ВИСНОВКИ

В дисертації, на основі виконаних автором досліджень, вирішено важливу науково-технічну задачу - створення моделей, методів і засобів забезпечення синхронного функціонування суднових та портових комп'ютерних систем для підвищення ефективності завантаження суден контейнеровозів та забезпечення відповідності розташування на них контейнерів до норм безпеки морського перевезення.

В результаті виконаних автором досліджень було виявлено ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульовані в роботі задачі можуть вважатися виконаними. При виконанні роботи були використані коректні і достовірні методи дослідження.

В роботі отримані наступні основні наукові та практичні результати.

1. На основі використання топологічного аналізу функціональних елементів системи вперше отримана інформаційна модель комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза, що дозволяє інтегрувати судову комп'ютерну мережу в портову та отримувати дані про перебіг вантажних операцій в режимі реального часу.

2. Розроблено метод завантаження контейнерів, що передбачає контроль за всіма маніпуляціями, що здійснює машиніст крану та дозволяє підвищити ефективність процесу завантаження.

3. Розроблено математичну модель системи завантаження контейнеровоза, що дозволяє визначати в режимі реального часу переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження: контроль за належною масою контейнерів, її рівномірний розподіл, відповідність контейнерів, які завантажуються, до обраних критеріїв оптимізації завантаження та інше.

4. Отримала подальший розвиток математична модель остійності судна при розподілі ваги контейнерів, що дає можливість побудувати поверхню розподілу центрів тяжіння контейнерів для виявлення місць перевантаження та перевірки розподілу мас у відповідності до рекомендацій класифікаційних спілок. Також

модель дозволяє визначити відхилення загального центру тяжіння навантаженого судна від номінального.

5. Удосконалено математичну модель методу автоматичного позиціонування при завантаженні суден контейнеровозів у контейнерних терміналах. Розроблений алгоритм розрахунку координат контейнеру, який завантажується, дозволяє отримати координати контейнера в довільний момент часу, проте подібна процедура передбачає безперервну постійну роботу в режимі реального часу та потребує попереднього калібрування задля точного встановлення початків координат кожної з систем вимірювання та верифікації показань, які отримані від акселерометру.

6. Розроблено апаратно-програмне забезпечення інтегрованої комп'ютерної мережі та системи, в яких реалізовані отримані метод та моделі побудови автоматичної системи контролю за процесом завантаження контейнеровозу.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ADXL335 [Електронний ресурс] // Analog Devices – Режим доступу до ресурсу: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>.
2. Arduino UNO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>.
3. Atmel-42735B-328/P\_Datasheet\_Summary [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Summary.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Summary.pdf).
4. Background information about LoRaWAN [Електронний ресурс] // The Things Network. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>.
5. Bruce Lent. Endevco Corp. Simple Steps to Selecting the Right Accelerometer [Електронний ресурс] – Опубл. 01.03.2009. – Режим доступу: <http://www.russianelectronics.ru/leaderr/review/2193/doc/48429/>, <http://www.sensorsmag.com/components/simple-steps-to-selecting-right-accelerometer> (дата звернення: 02.09.2017).
6. Controller - ILC 150 GSM/GPRS - 2916545 [Електронний ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: [http://files.voelkner.de/175000-199999/193884-da-01-en-INLINE\\_CONTROLLER\\_ILC\\_150\\_GSM\\_GPRS.pdf](http://files.voelkner.de/175000-199999/193884-da-01-en-INLINE_CONTROLLER_ILC_150_GSM_GPRS.pdf).
7. Controller - RFC 460R PN 3TX - 2700784 [Електронний ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/gb/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2700784&library=gben&pcck=P-21-01-01&tab=1&selectedCategory=ALL>.
8. DELFTload [Електронний ресурс] // DELFTship marine software – Режим доступу до ресурсу: <http://www.delftship.net/DELFTship/index.php/delftload/delftload>.

9. DeltaLoad [Електронний ресурс] // Delta Marine – Режим доступу до ресурсу: <http://www.deltamarine.com.tr/en/services/ship-loading-software.php>.
10. ESP-01 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://codeclub.cornwall.ac.uk/edenofthings/files/ESP-01FactSheet.pdf>.
11. ESP8266EX Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf).
12. GY-61 DXL335 3-Axis Accelerometer Module [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.robotpark.com/GY-61-DXL335-3-Axis-Accelerometer-Module>.
13. Inline ME terminal - IB IL 24 DO 4-ME - 2863931 [Електронний ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2863931&library=usen&tab=1>.
14. Inline terminal - IB IL AI 4/U-PAC - 2700459 [Електронний ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2700459&library=usen&tab=1>.
15. LoRa Architecture [Електронний ресурс] // 3GLTEinfo. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.3glteinfo.com/lora/lora-architecture/>.
16. Mankabady Samir. The International Maritime Organisation – CroomHelm, 1984. – P. 17–32.
17. MEECOS Suite: INTERSCHALT maritime systems [Електронний ресурс] – Режим доступу. – URL: <http://www.interschalt.com/software/meecos-suite/> (дата звернення 20.02.2017);
18. Michael Kraft CLOSED LOOP DIGITAL ACCELEROMETER EMPLOYING OVERSAMPLING CONVERSION: докторська дисертація/Michael Kraft M:Coventry, 1997, 155 с.
19. Patent USA US0084.52527B2, Int. Cl. B65G 63/00 (2006.01) Method of automatic positioning for loading and unloading of container ships in container terminals /

Han-Shue Tan, Huang, Fanping Bu, Hongjun Song, Gregory Keith Warf. – Appl. No.: 12/902,023, led: Oct. 11, 2010, Prior Publication Data US 2012/OO8932O A1 Apr. 12, 2012.

20. PC Worx – one programming software solution for all controllers [Электронный ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?1dmy&urile=wcm:path:/pien/web/main/products/subcategory\\_pages/Programming\\_P-19-05/8b777145-e7f2-4eaa-ae5e-4dadcdce30223/8b777145-e7f2-4eaa-ae5e-4dadcdce30223](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?1dmy&urile=wcm:path:/pien/web/main/products/subcategory_pages/Programming_P-19-05/8b777145-e7f2-4eaa-ae5e-4dadcdce30223/8b777145-e7f2-4eaa-ae5e-4dadcdce30223).

21. Piezo Motion for Precision Positioning Introduction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pi-usa.us/tutorial/4\\_24.html](http://www.pi-usa.us/tutorial/4_24.html) (дата обращения: 02.09.2017).

22. Software - AX SW SUITE DEMO - 2985660 [Электронный ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi/pxc/content\\_pages\\_corporate\\_press\\_detail!/ut/p/z1/tVRdT4MwFP0tPvBYWspHwbF6abROJ3K4IUUvLDqKBXqmP\\_ebhpflC3G0JebNueee85NenCKFziVfC0qrkUj-crckzTI6MQhztRzrianvktuwvHILJhPbx\\_OfPyAU5wWUiu9xIkSIC3SQ26RomlV03INF1EtdN1nyYQsm7be0RsQyaPQDUoU5OAiz6MR4rT0EQQRdbgbhh7nW35ViEecUOZGLvMYomUZII\\_4BYpyzhCwIPBp4XFWEBzvE3x2TnC6389HP\\_nljA72J6af\\_QJghFAcrwX0-F5ut7DC8z\\_am5JDE5x\\_TthPP6HD0rNB6UNvWHp\\_UPrrYdVf\\_1f9xaG\\_YcJEPL28pCO TGI3UsNF4MUhkkxFvlB2JgB9jzz-cgs\\_FpNluczM631kRe231R28RWm8Le6Zc6U7yCLvtSnn0ofgTNxS48RzJ3wwqnLZTQ Qmu\\_tuZ5qbXqjilifPe9XTVNtQLDWNuv3CI\\_dS2bzqzqGxirug7dN4GSi3Xf35X1SR5-LzF6LseXEI-Ojt4BmICu6g!/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2985660&tab=5#Functions](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi/pxc/content_pages_corporate_press_detail!/ut/p/z1/tVRdT4MwFP0tPvBYWspHwbF6abROJ3K4IUUvLDqKBXqmP_ebhpflC3G0JebNueee85NenCKFziVfC0qrkUj-crckzTI6MQhztRzrianvktuwvHILJhPbx_OfPyAU5wWUiu9xIkSIC3SQ26RomlV03INF1EtdN1nyYQsm7be0RsQyaPQDUoU5OAiz6MR4rT0EQQRdbgbhh7nW35ViEecUOZGLvMYomUZII_4BYpyzhCwIPBp4XFWEBzvE3x2TnC6389HP_nljA72J6af_QJghFAcrwX0-F5ut7DC8z_am5JDE5x_TthPP6HD0rNB6UNvWHp_UPrrYdVf_1f9xaG_YcJEPL28pCO TGI3UsNF4MUhkkxFvlB2JgB9jzz-cgs_FpNluczM631kRe231R28RWm8Le6Zc6U7yCLvtSnn0ofgTNxS48RzJ3wwqnLZTQ Qmu_tuZ5qbXqjilifPe9XTVNtQLDWNuv3CI_dS2bzqzqGxirug7dN4GSi3Xf35X1SR5-LzF6LseXEI-Ojt4BmICu6g!/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2985660&tab=5#Functions).

23. User manual UM EN FL WLAN EPA (5N) [Электронный ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Phoenix%20Contact%20PDFs/2692791,2700488,2701169\\_UM.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Phoenix%20Contact%20PDFs/2692791,2700488,2701169_UM.pdf).

24. What is the LoRaWAN™ Specification? [Электронный ресурс] // LoRa Alliance™. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.
25. What Is LoRaWAN? [Электронный ресурс] // Link Labs. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.link-labs.com/blog/what-is-lorawan>.
26. Wireless module - FL WLAN EPA RSMA - 2701169 [Электронный ресурс] // PHOENIX CONTACT. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2701169&library=usen&tab=1>.
27. What is Inertial Navigation Systems Guide OхTS [Электронный ресурс] – Режим доступа :. – URL: <http://www.oxts.com/what-is-inertial-navigation-systems-guide/> (дата звернення 02.12.2016).
28. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории [Текст] / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алексеев, – М.: Наука, 1990. – 240 с.
29. Алалуев Р.В., Иванов Ю.В., Малютин Д.М., Распопов В.Я., Дмитриев В.А., Ермилов С.П., Ермилова Г.А. Высокоточная алгоритмическая компенсация температурной нестабильности масштабного коэффициента акселерометра / Р.В. Алалуев, Ю.В. Иванов, Д.М. Малютин, В.Я. Распопов, В.А. Дмитриев, С.П. Ермилов, Г.А. Ермилова // Датчики и системы, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukarus.com/vysokotochnaya-algoritmicheskaya-kompensatsiya-temperaturnoy-nestabilnosti-masshtabnogo-koeffitsienta-akselerometra> (дата обращения: 02.09.2017).
30. Амелина М.А. Конспект лекций по курсу Компьютерный анализ и синтез электронных устройств [Текст] / М.А. Амелина, часть 1. – Смоленск, 2005. – 120 с.
31. Арлоу Д. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование, 2-ое издание [Текст] / Джим Арлоу, Айла Нейштадт, – Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2007. – 624 с.
32. Бабаков, В. В. Расчет грузового плана контейнеровоза на персональных ЭВМ / В.В. Бабаков // Учебное пособие. - Одесса: ОГМА, 1992. - 40 с.

33. Байгунусов В. Б. Судоводителям о плавучести и остойчивости судна / Конспект лекций . / В . Б . Байгунусов. – Петропавловск - Камчатский: КамчатГТУ, 2001. – 86 с.

34. Баричев С. Г., Гончаров В. В., Серов Р. Е. 2.4.2. Стандарт AES. Алгоритм Rijdael // Основы современной криптографии — 3-е изд. — М.: Диалог-МИФИ, 2011. — С. 30–35. — 176 с. — ISBN 978-5-9912-0182-7.

35. Бычков, Д. В. Усовершенствование и оптимизация схемы крепления контейнеров для повышения сохранности перевозимого груза: дис. ... канд. техн. наук / Дмитрий Владимирович Бычков. - Одесса, 2007. - 216 с.

36. Весы крановые. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.torgtehnika.com.ua/vesi-kranovic/blog.html> (дата звернення 05.17.2016)

37. Винников В. В. Экономика и эксплуатация морского транспорта: Экономика морских перевозок. Экономические расчеты на морском флоте: Задачи, ситуации, примеры.: Учебн. пос. для вузов водного транспорта. – 2-е изд., перераб. и доп. – Одесса : Фенікс, 2003. – 262 с.

38. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа [Текст]: учебник / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, изд. 2. – Спб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 510 с.

39. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Техническое обеспечение подготовки судовых инженеров по системам авто-матизации с программируемыми контроллерами // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 39 – 46.

40. Горб С. І., Нікольський В. В., Шапо В. Ф., Хнюнін С. Г. Програмування контролерів в інструментальному середовищі: навчальний посібник. – Одеса: НУ "ОМА", 2017. – 164 с. Англ. мовою.

41. Джагупов Р.Г., Плавинский Е.Б., Никольский В.В., Веретенник А.М. Измерительные преобразователи: учебное пособие. – Одесса: Астропринт, 2002. – 216 с.

42. Дмитриев В. Технология ZigBee / В. Дмитриев. // Компоненты и технологии. – 2004. – №1. – С. 70–73.

43. Доросинский, Л. Г. Основы и принципы построения инерциальных навигационных систем / Л.Г. Доросинский, Л.А. Богданов // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2014. – № 5.
44. Єжов С. М., Макарець М. В., Романенко О. В. Класична механіка. — К. : ВПЦ "Київський університет", 2008. — 480 с.
45. Живицкая Е. Н. Системный анализ и проектирование, Лекция 3: Системы. Модели систем [Электронный ресурс] / Е. Н. Живицкая // <http://victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures/zhivickaya/05.html>. – 2017.
46. Згуровський М. З. Основи системного аналізу [Текст] / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова, – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 544 с.
47. Иванов Д.С., Овчинников М.Ю. Математическое моделирование управляемого движения многоэлементной системы // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, 2008г., No78, 32с.
48. Иванов Г. Г. Международная морская организация. 2-е изд., доп. – Одесса: Латстар. 1999. – С. 88–105.
49. Клаус Шмекер. Взвешивание контейнеров по требованиям ИМО и его возможные последствия / Порты Украины, № 07(139). - 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/3776>.
50. Клименко Є.М. Удосконалення методів контролю завантаження балкерів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Клименко Євгеній Миколайович. – Одесса, 2015. – 321 с.
51. Крановые весы - характеристики, устройство и применение – Режим доступа: <http://promplace.ru/kranovie-vesi-harakteristiki-ustrojstvo-i-primenenie-466.htm>
52. Кокин А.С. Международная морская перевозка грузов: право и практика / А.С. Кокин. – М.: Волтерс Клувер, 2007. – 584 с.
53. Координаты центров тяжести неоднородных тел [Электронный ресурс] // Учебные материалы онлайн. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [https://studwood.ru/2024367/matematika\\_himiya\\_fizika/koordinaty\\_tsentrov\\_tyazhesti\\_ne\\_odnorodnyh](https://studwood.ru/2024367/matematika_himiya_fizika/koordinaty_tsentrov_tyazhesti_ne_odnorodnyh).

54. Кочин Н. Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления / Н. Е. Кочин. – Москва: Наука, 1965. – 407 с.
55. Критерии остойчивости [Электронный ресурс] // Балтийский Ллойд. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://balt-lloyd.ru/morskaja-praktika/kriterii-ostojchivosti>.
56. Ладанюк А. П. Основы системного аналізу [Текст] / А. П. Ладанюк Навчальний посібник. – Вінниця, Нова книга, 2004. – 176 с.
57. Лазарев Ю. Ф. Л17 Кінематика твердого тіла [електронний ресурс]: навчальний посібник. – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – 61 с.
58. Левитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А. В. Левитин; пер. с англ. под ред. И. В. Красикова. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.
59. Лукин М. Стандарты беспроводной связи / М. Лукин. // СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА. – 2005. – №1. – С. 10–12.
60. Мелешко, В. В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы / В. В. Мелешко, О. И. Нестеренко // Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД - Сервис, 2011. – 171 с.
61. Миротин Л. Б. Системный анализ в логистике [Текст]: учебник / Л. Б. Миротин, Ы. Э. Тышбаев. – М.: Экзамен, 2002. – 480 с.
62. Модуль графического отображения и редактирования топологии терминала [Электронный ресурс] // 2017 – Режим доступа до ресурсу: <http://www-old.solvo.ru/products/systems/ctms/ctms/graphic.php>.
63. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа [Текст] / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
64. Мореходность самодельных туристических судов [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: [http://vm.msun.ru/Cad\\_ship/Morehodn/Morehodn.html](http://vm.msun.ru/Cad_ship/Morehodn/Morehodn.html).
65. Морская транспортировка [Электронный ресурс] // ICC Russia. – 1706. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.iccwbo.ru/blog/2016/morskaya-transportirovka-vse-tonkosti-protsess/>.

66. Накул Ю. А. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза / Ю. А. Накул, В. В. Нікольський, М. В. Нікольський. // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”.. – 2016. – Том 283, №271. – С. 60–63.
67. Накул Ю. А. Система контролю завантаження контейнеровозів / Ю. А. Накул, В. В. Нікольський, В. С. Стовманенко. // "Судовождение" Одесская национальная морская академия. – 2017. – №27. – С. 127–136.
68. Накул Ю. А. МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ КРУПНОТОНАЖНИХ СУДЕН / Ю. А. Накул, В. О. Стовманенко. // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – С. 27 – 33.
69. Накул Ю. А. Система контролю завантаження контейнеровозів “ShipLoad” / Ю. А. Накул, М. Нікольський, В. О. Стовманенко. // Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – 2017. – С. 265 – 268.
70. Накул Ю. А. Выбор датчиков определения координат контейнера для компьютерной системы учета загрузки судна / Ю. А. Накул, В. В. Никольский, С. Г. Хнюнин. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.. – 2017. – №23. – С. 57 – 64.
71. Накул Ю. А. Система контролю завантаження контейнеровозів “Shipload” / Ю. А. Накул, В. В. Нікольський, В. О. Стовманенко. // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року. – 2017. – С. 224.
72. Накул Ю.О. Математична модель системи завантаження контейнеровоза // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №2. - С. 110-115.
73. Накул Ю. А. Інформаційна модель комп’ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза матеріали // Всеукраїнська науково-практична конференція “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку”. – Черкаси, 2018. – С. 33 – 35.



74. Накул Ю.О., Розгорнута мережева модель мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження контейнеровозів Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 52-54.

75. Система моніторингу завантаження контейнеровоза: звіт з НДР: ДР № 0117 U 000317 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець Ю.О Накул. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 79 с..

76. Накул Ю.О., Математична модель остійності судна при розподілі ваги контейнерів // Наукові праці ЧНУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 305. – Т. 317. – Миколаїв, 2018. – С. 18 – 22; база(и): [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar

77. Нікольський В.В. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза / В.В. Нікольський, М.В. Нікольський, Ю.А. Накул // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 271. – Т. 283. – Миколаїв, 2016. – С. 60–63.

78. Никольский, В.В., Сандлер, А.К., Стеценко, М.С. Пьезоэлектрические датчики перемещений. //Автоматика-2004: матеріали 11 міжнародної конференції по автоматичному управлінню – Київ: НУХТ. – 2004. – С. 46.

79. Никольский, В.В., Сандлер, А.К. Пьезооптический акселерометр: Декларацийный патент Украины No 71295A, МПК 7G01M11/00 – заявл. 18.12.2003. // Оpubл. 15.11.2004, бюл. No 11.

80. Николаева Л.Л. Коммерческая эксплуатация судна: Учебник / Л.Л. Николаева. – О.: Феникс, 2006. – 255 с.

81. Николаева Л.Л. Морские перевозки: учебник / Л.Л. Николаева, Н.Н. Цымбал. – О.: Одесская национальная морская академия, Феникс, 2005. – 200 с.

82. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.:ВШ, 1989. – 363 с.

83. Программируемые логические контроллеры [Электронный ресурс] //

PHOENIX CONTACT. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?ldmy&urile=wcm:path:/piru/web/main/products/subcategory\\_pages/Programmable\\_controllers\\_P-21-01/f708b4f8-45fa-4ae7-ab62-0828235ebe53](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?ldmy&urile=wcm:path:/piru/web/main/products/subcategory_pages/Programmable_controllers_P-21-01/f708b4f8-45fa-4ae7-ab62-0828235ebe53).

84. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Отдельное издание для вузов. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

85. Роберт Тейбор. Реалізація XML Web-служб на платформі Microsoft .NET = Реализация XML Web-служб на платформе Microsoft .NET. — М. : «Вільямс», 2002. — С. 464. — ISBN 0-6723-2088-6.

86. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров [Текст] / В.Н. Романов. М-во образования РФ, северо-западный государственный заочный технический университет. – изд. 2-е, дополненное. – СПб: СЗГЗТУ. – 2006. – 186 с.

87. Сандлер А.К., Никольский В.В., Хнюнин С.Г. Использование волоконно-оптических устройств для предотвращения техногенных катастроф на судах // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2004. - Вып. 9. - Одесса: ОНМА. – С. 82 – 90.

88. Сандлер, А.К., Никольский, В.В. Разработка пьезооптического акселерометра для диагностирования энергоустановок. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кировоград: КДТУ. – 2004. – № 14. – С. 329 – 338.

89. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ [Текст]: учебное пособие / Ю.П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.

90. Смирнов В. И. Курс высшей математики, Т.2 / В. И. Смирнов. – Москва: Наука, 1974. – 479 с.

91. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа [Текст] / В.Н. Спицнадель. – М.: СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.

92. Степанов А. Л. Перегрузочное оборудование портов и транспортных терминалов: Учеб. для вузов / А. Л. Степанов. – СПб. : Политехника, 2013. – 427с.

93. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов.— 10-е

изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986.— 416 с.

94. Тилборг ван Х. К. А. Основы криптологии = Fundamentals of Cryptology. — М. : Мир, 2006. — 472 с.

95. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів [Текст]: навчальне видання, книга 1 / А.А. Тимченко. — К. Либідь, 2000. — 270 с.

96. Федорченко А. М. Теоретична механіка. — К. : Вища школа, 1975. — 516 с.

97. Хнюнін С.Г. Моделі, методи та засоби створення комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда на базі п'єзоперетворювачів: дис. канд. техн. наук : 05.13.05 / Хнюнін Сергій Герогійович. — Миколаїв, 2017. — 156 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/04/dis.pdf> (дата обращения: 18.09.2017).

98. Хорошевский В. Г. Инженерный анализ функционирования вычислительных машин и систем / В. Г. Хорошевский. — М.: Радио и связь, 1987. — 256 с.

99. Царик Р. С. Оценка влияния положения центра тяжести контейнера на метацентрическую высоту контейнеровоза / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин. // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — №6. — С. 58–70.

100. Центр тяжести твердого тела [Электронный ресурс]. — 2016. — Режим доступа до ресурсу: <http://www.isopromat.ru/teormeh/kratkaja-teoria/centr-tyazhesti>.

101. Шарапов О.Л. Системний аналіз [Текст] / О.Л. Шарапов, Л.Л. Терехов, С.П.Сіднев, — К.: Вища школа, 1993. — 303 с.

102. Шарлай Г. Н. Управление морским судном [Текст]: учебное пособие / Г. Н. Шарлай. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. — 509 с.

103. Чепок А.О. Комплексный метод загрузки судна тарно-штучными грузами с учетом инерционных сил качки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Чепок Алексей Олегович. — Одесса, 2014. — 321 с.

104. Энциклопедия АСУ ТП : 2 Промышленные сети и интерфейсы [Электронный ресурс] // Энциклопедия АСУ ТП. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: [http://www.bookasutp.ru/Chapter2\\_11\\_2.aspx](http://www.bookasutp.ru/Chapter2_11_2.aspx).

**ДОДАТОК А -  
АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО  
ДОСЛІДЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Національного  
університету "Одеська морська академія"  
д.ю.н., професор

О.М. Шемякін

« 08 » Травня 2018 р.

## А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи  
Накула Юрія Олександровича  
на тему "Моделі, методи та засоби побудови комп'ютерної системи контролю  
завантаження контейнеровозу"  
в навчальному процесі університету

Ми, що нижче підписались, начальник навчального відділу університету Пархоменко М.М. та завідувач кафедри теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки професор, д.т.н. Горб С.І. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Накула Ю.О. впровадженні у навчальному процесі кафедри теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки в курсах лекційних занять по дисциплінах "Електроніка та мікропроцесорна техніка" (3-й курс факультету автоматики), "Віддалене управління технологічними процесами" (5-й курс факультету автоматики).

Начальник навчального відділу  
Національного університету  
"Одеська морська академія"



М.М. Пархоменко

Завідувач кафедри  
теорії автоматичного управління та  
обчислювальної техніки,  
д.т.н., професор



С.І. Горб

## Додаток А2

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор по науковій роботі Національного  
університету "Одеська морська академія"  
д.т.н., професор

  
В.А. Голіков

« 17 » листопада 2018 р.

## А К Т

про використанні результатів дисертаційної роботи  
Накула Юрія Олександровича  
на тему "Моделі, методи та засоби побудови комп'ютерної системи  
контролю завантаження контейнеровозу"  
в наукових дослідженнях, які виконуються в університеті

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини університету Савчук В.Д., завідувач кафедрою теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки професор, д.т.н. Горб С.І. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Накула Ю.О. ввійшли в звіт по науково-дослідній роботі "Система моніторингу завантаження контейнеровоза" НУ "ОМА", Одеса – 2017 р. (№ ДР 0117 U 000317, науковий керівник д.т.н., професор Нікольський В.В., відповідальний виконавець Накул Ю.О.).

Начальник науково-дослідної  
частини НУ "ОМА",  
к.т.н., с.н.с., професор



В.Д. Савчук

Завідувач кафедри  
теорії автоматичного управління та  
обчислювальної техніки,  
д.т.н., професор



С.І. Горб

Науковий керівник,  
професор кафедри  
теорії автоматичного управління та  
обчислювальної техніки,  
д.т.н., професор



В.В. Нікольський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор по науковій роботі Національного  
університету "Одеська морська академія"  
д.т.н., професор

В.А. Голіков

«                    »                      2018 р.

## А К Т

про використанні результатів дисертаційної роботи  
Накула Юрія Олександровича  
на тему "Моделі, методи та засоби побудови комп'ютерної системи контролю  
завантаження контейнеровозу"  
в наукових дослідженнях, які виконуються в університеті

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини університету Савчук В.Д., завідувач кафедрою теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки професор, д.т.н. Горб С.І. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Накула Ю.О. ввійшли складовою частиною в звіт по науково-дослідній роботі «Автоматизація технологічних та адміністративних процесів на транспорті» НУ "ОМА", Одеса – 2017 р. (№ ДР 0115 U 003577, науковий керівник д.т.н., професор Горб С.І., розділ 3 - Розробка алгоритмів, програмування моделей технологічно-організаційних процесів автоматизації.

Начальник науково-дослідної  
частини НУ "ОМА",  
к.т.н., с.н.с., професор



В.Д. Савчук

Завідувач кафедри  
теорії автоматичного управління та  
обчислювальної техніки,  
д.т.н., професор



С.І. Горб



## ДОДАТОК Б

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці в спеціалізованих виданнях з переліком наукометричних баз, де вони проіндексовані:**

1. Бодашко В.В., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Накул Ю.А. Система мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. Сб. – 2015 – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 22-28.; **внесок автора:** участь при розробці інтерфейсу програмного забезпечення.

2. Накул Ю.А., Нікольський В. В., Нікольський М.В. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – Том 283, №271. – С. 60–63; **внесок автора:** проведений аналіз аварійної ситуації з контейнеровозом CSCL URANUS, де аспірант був капітаном. Запропоновано структуру системи підтримки прийняття рішення по завантаженню контейнерів; **база(и):** [\*Ulrich’s Periodical Directory\*](#).

3. Накул Ю.А., Стовманенко В.О. Модель системи завантаження крупнотонажних суден // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – 2016. – Том 287, №275. - С. 27 – 33; **внесок автора:** запропоновано модель системи завантаження контейнеровозу, проведено аналіз проблеми; **база(и):** [\*Ulrich’s Periodical Directory\*](#).

4. Накул Ю.А., Никольский В.В., Хнюнин С.Г. Выбор датчиков определения координат контейнера для компьютерной системы учета загрузки судна // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.. – Одеса, 2017. – №23. – С. 57 – 64; **внесок автора:** запропоновано схему встановлення акселерометру з програмованим контролером на спредер контейнерного перевантажувача, та проведено класифікацію акселерометрів, проведено аналіз недоліків п’єзоелектричних акселерометрів.

5. Накул Ю.О., Математична модель методу автоматичного позиціонування контейнерів при завантаженні контейнерних суден у контейнерних терміналах // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 23 – 28; **база(и):** [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar.

6. Накул Ю.О. Математична модель системи завантаження контейнеровоза // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №2. - С. 110-115.

7. Накул Ю.О., Математична модель остійності судна при розподілі ваги контейнерів // Наукові праці ЧНУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 305. – Т. 317. – Миколаїв, 2018. – С. 18 – 22; **база(и):** [Index Copernicus](#), [Ulrich's Periodical Directory](#), Google Scholar.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

8. Накул Ю.А., Нікольський В.В., Стовманенко В.С. Система контролю завантаження контейнеровозів / "Судовождение" Одесская национальная морская академия. – 2017. – №27. – С. 127–136; **внесок автора:** запропоновано координатно – позиційний метод, алгоритми роботи комп’ютерної системи, карти збереження вантажів.

9. Накул Ю.А., Стовманенко В.О., Нікольський М.В. Система контролю завантаження контейнеровозів “ShipLoad” // Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – 2017. – С. 265 – 268; **внесок автора:** метод розрахунку координат контейнеру та запропоновано спеціальну утиліту в форматі XML з параметрами судна та кротою збереження вантажів .

10. Нікольський В.В., Накул Ю.А., Стовманенко В.О. Система контролю завантаження контейнеровозів “Shipload” // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року. – 2017. –

С. 224; **внесок автора:** здійснено аналіз роботи капітана та його грузового помічника під час завантаження контейнеровозу.

11. Накул Ю. А. Інформаційна модель комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза матеріали // Всеукраїнська науково-практична конференція “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку”. – Черкаси, 2018. – С. 33 – 35.

12. Накул Ю.О., Розгорнута мережева модель мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження контейнеровозів Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 52-54.

13. Система моніторингу завантаження контейнеровоза: звіт з НДР: ДР № 0117 U 000317 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець Ю.О Накул. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 79 с.; **внесок автора:** розроблені інформаційна модель системи моніторингу завантаження контейнеровозу, метод завантаження контейнеровозів та розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження, математичні моделі системи моніторингу завантаження контейнеровозу та остійності судна при розподілі ваги контейнерів, методу автоматичного позиціонування для завантаження та розвантаження контейнерних суден у контейнерних терміналах; запропоновані реалізації систем визначення координат контейнеру, контролю та підтримки прийняття рішення при завантаженні контейнеровозів, апаратна реалізація системи контролю за завантаженням.