

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Накул Юрій Олександрович



УДК 004.75:681.5.01

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

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Нікольський Віталій Валентинович,
Національний університет
«Одеська морська академія»,
професор кафедри теорії автоматичного
управління та обчислювальної техніки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мірошник Марина Анатоліївна,
Український державний університет
залізничного транспорту, професор кафедри
спеціалізованих комп'ютерних систем;

кандидат технічних наук, доцент
Дідук Віталій Андрійович, Черкаський
національний університет імені Богдана
Хмельницького, завідувач кафедри
автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих
технологій.

Захист відбудеться **21 червня 2019 р. о 14⁰⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10 та за електронною адресою: <https://chmnu.edu.ua/disertatsiyi/>.

Автореферат розісланий 21 травня 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є. О. Давиденко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 судових 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 завантажуються.

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 Scopus 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 сторінок (з них 131 – основного тексту). У роботу входять також 61 рисунок і 3 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, наведено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету та завдання дослідження, відображені наукова новизна, практична цінність роботи та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та використання результатів 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 процесу завантаження 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, таких як SOLVO.WTM, DeltaLoad та DELFTload™, попри їх широкі можливості показав їх низьку ефективність, відсутність гнучких адаптаційних алгоритмів у їх роботі, високу завантаженість капітана та відповідального за вантажні операції. 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 довів відсутність наявних методів перевірки основних параметрів судна, таких як остійності та інших в режимі реального часу при проведенні вантажних операцій. У зв'язку з цим було висунуто пропозицію в створенні нових інтегрованих підходів до управління процесом завантаження, розробці методів автоматичного контролю за параметрами судна в режимі реального часу при проведенні вантажних операцій з ним, розробці нових методів та систем контролю завантаження судна з можливістю надання інформації 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 довели можливість побудови комп'ютерних систем та мереж, які дозволять 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 контейнеровоза (рис. 1).

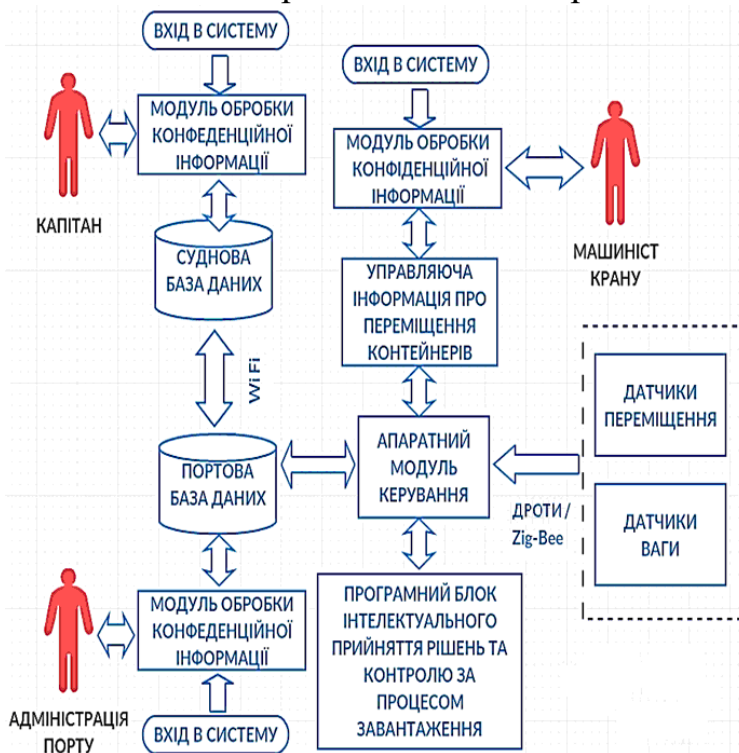


Рис. 1. UML-діаграма комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровозу

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 запроповану модель у вже існуючі мережі, що значно скорочує час розгортання проекту та економічні витрати при її інтеграції.

Запропоновано вихідні положення щодо розміщення бездротового обладнання в порту та на контейнеровозі, побудови карти розміщення контейнерів та врахування

координат кутових точок контейнера в просторі (рис. 2), на основі чого проведено розробку методу завантаження контейнеровозів, що передбачає автоматичне визначення поточних координат контейнера, який завантажуються,

з можливістю подальшого ведення журналу проведеного процесу, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних суднових 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 судна, та їх кількість. Даний підхід 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. Відпадає необхідність залучення додаткового персоналу для контролю за завантаженням.

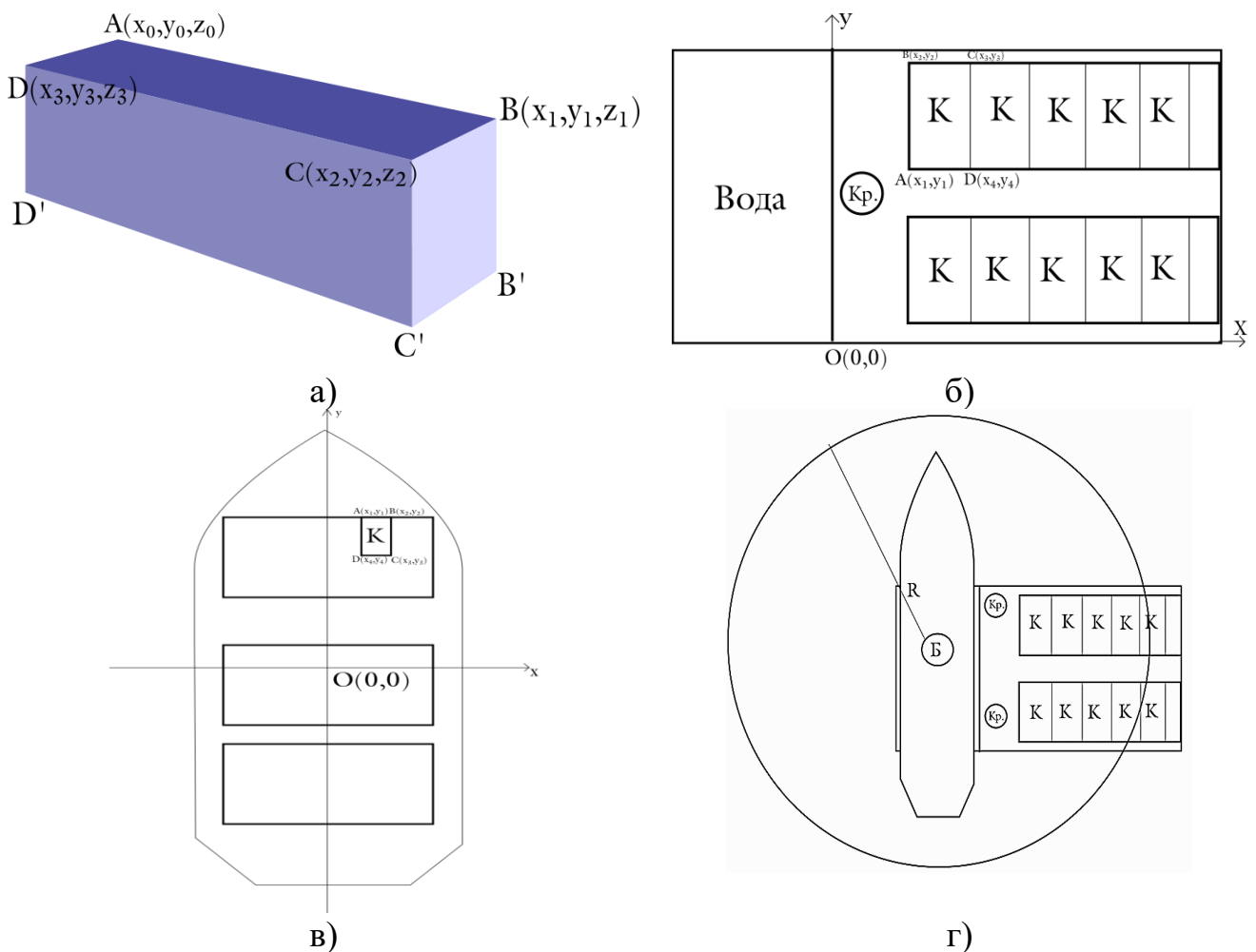


Рис. 2. Пояснення, щодо методу завантаження контейнеровозів: а – фіксовані точки для визначення координат (A' прихована) б – карта розміщення контейнерів у порту, в – карта збереження вантажів, к – контейнер для прикладу, який характеризує розміщення, г – покриття WiFi-бази, яка має радіус покриття ($r, r > 1$ (довжина судна)/2), К – контейнер, Кр. – кран

Для надання капітану можливості вільного пересування під час стоянки судна в порту та змоги дізнаватись про кількісний склад завантажених чи розвантажених контейнерів, а також безпосередні їхні маршрутні дані, в розділі

розроблено модель системи мобільного моніторингу за вантажними операціями (рис. 3, а), яка передбачає використання довільної технології передачі даних, WiFi чи GSM/GPRS. Разом з тим виконується ще одна вимога, яка пред'являється до промислових комплексів та систем збору даних – резервування каналу передачі даних. Основна вимога до програмного забезпечення – постійне обирання найшвидшого з доступних протоколів передачі даних.

Таким чином, розроблена модель на рис. 1 набуде вигляду, приведеного на рис. 3, б.

Це, в свою чергу, дозволить капітану безпосередньо контролювати остійні параметри судна та запобігти утворення крену і диференту судна, зменшити паперовий документообіг, підвищити продуктивність праці, скоротити час на обробку інформації.

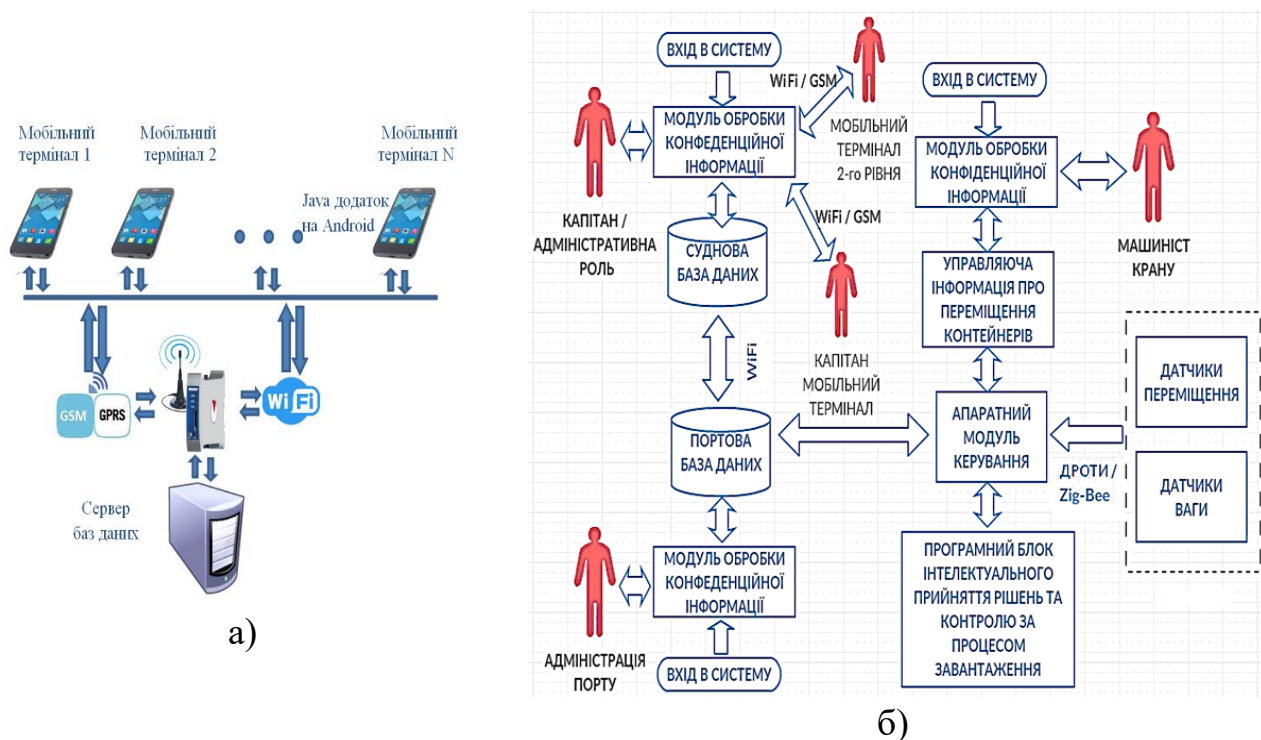


Рис. 3. Модель взаємодії мобільної системи доступу до серверу даних (а) та UML-діаграма комп'ютерної системи контролю завантаження контейнеровоза з врахуванням мобільних пристроїв моніторингу даних (б)

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 контейнеровоза, яка дозволяє визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження, де параметри: N – комплексна характеристика кількості виділених блоків для завантаження та координат їх розташування, L – кількість контейнерів, які завантажуються, 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 надає 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.

Перший етап створення моделі – введення умови ефективної безперервної та надійної роботи системи завантаження:

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

де $S_j^{нак}$ – кількісно-масовий показник, що визначається кількістю та масою контейнерів – співвідношення кількості та маси вантажів, що вже містяться на палубі; $S_j^{ноштуп}$ – комплексна величина, що визначається кількістю та масою завантажених контейнерів.

Якщо дана рівність відрізняється від нуля, то наявний крен чи диферент судна.

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

$$m_{ij}^{СУДНА} \geq x_{ij} \cdot m_i^{КОН},$$

де $m_i^{КОН}$ – маса i -го контейнера, який завантажуються; $m_{ij}^{СУДНА}$ – 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.

Для виконання i -го завдання вибирається контейнер з максимальним значенням кількісно-масового показника:

$$S_j^{ноштуп} = \max_{j=1}^n \{ S_j^{ноштуп} \cdot \bar{r}_j \},$$

де \bar{r}_j – ваговий коефіцієнт для j -го контейнера та вибирається, як:

$$\bar{r}_j = \max_{j=1}^L \{ k_j \},$$

де k_j – поточний ваговий коефіцієнт контейнера, який знаходиться як:

$$k_i = \frac{t_i^{дост}}{\sum_{p=1}^i t_p^{терм}},$$

де $t_p^{терм}$ – час переміщення контейнера в терміналі, $t_i^{дост}$ – час доставки контейнера до кінцевого місця призначення

Було сформовано матрицю оптимального розподілу завдань завантаження, в якій кожен елемент приймає значення:

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

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

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

Друга умова стосується остійності: кількісно-масовий показник навантаженого судна повинен бути не менше або рівний сумі кількісно-масових показників накопичених та завантажених контейнерів:

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{cyднa} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{нaк} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{nocтyп} .$$

$$\text{Продуктивність системи завантаження } W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \times K_{ij} \times I_{ij},$$

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 контейнеровоза набуде вигляду:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n (S_j^{нaк} + S_j^{nocтyп}) = 0, \\ \left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij} \right) \rightarrow \min, \text{ при } m_{ij}^{cyднa} \geq x_{ij} \cdot m_i^{кoн}, \\ S_j^{nocтyп} = \max_{j=1}^n \{S_j^{nocтyп}\}, S_{ij}^{nocтyп} > 0, \\ \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{cyднa} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{нaк} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{nocтyп}, \\ W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} K_{ij} I_{ij} \rightarrow \min, \text{ при } K_{ij} \rightarrow 0, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, l}. \end{cases}$$

Модель передбачає контроль за належною масою контейнерів, її рівномірний розподіл, відповідність контейнерів, які завантажуються, до обраних критеріїв оптимізації завантаження, до яких відноситься пріоритетність завантаження за масою, черговістю доставки в містя призначення, цінність та інше.

Оскільки вага кожного контейнера відрізняється, то подальший розгляд навантаженого контейнеровоза було зведено 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;

– 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. Побудова поверхні розподілу маси дає можливість оцінити проблемні місця з перевантаженими штабелями, що дозволить ліквідувати чи передбачити та ліквідувати ці відхилення на етапі завантаження.

Побудову площини розподілу центрів мас навантажених контейнерних штабелів здійснено наступним чином. 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:

– система координат, прив'язана до контейнера або контейнерного штабелю (рис. 4);

– система координат, прив'язана до судна (рис. 5).

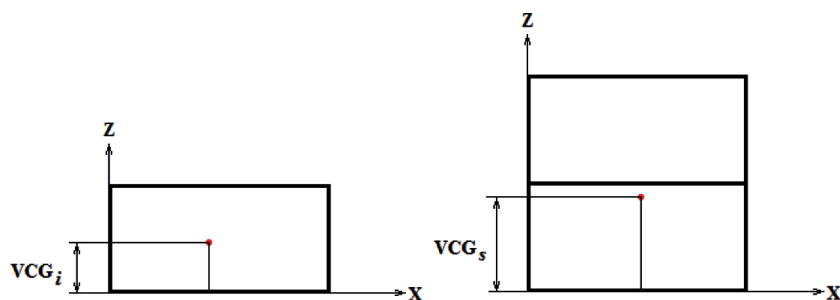


Рис. 4. Система координат, прив'язана до контейнера або контейнерного штабелю

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.

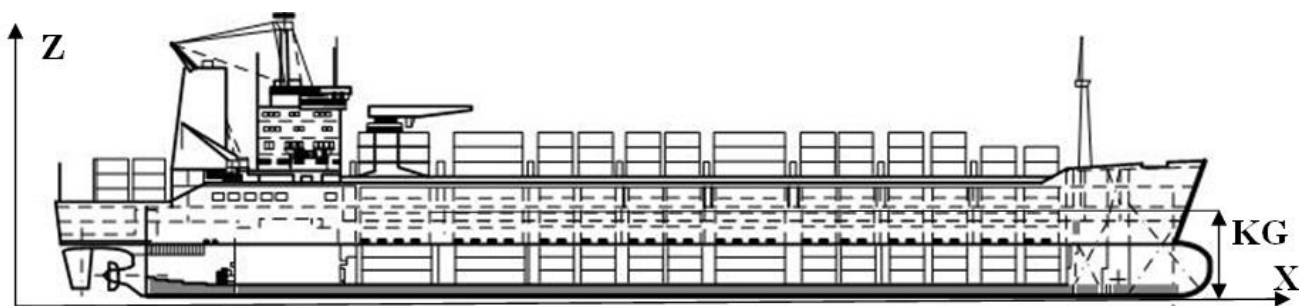


Рис. 5. Система координат, прив'язана до судна

При розрахунку остійності судна і оцінці положення центру тяжіння завантажених контейнерів 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).

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

$$KG = VCG + D,$$

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

Центр тяжіння контейнерного штабелю розраховується за формулою:

$$VCG_S = \frac{\sum M_i VCG_i}{\sum M_i},$$

або

$$KG_S = \frac{\sum M_i VCG_i}{\sum M_i} + D,$$

де KG_S – апліката центру ваги контейнерного штабелі від основної площини, м.

Вага одиниці площі утвореної поверхні обраховується, як маса всіх контейнерів в конкретному штабелі:

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

З урахуванням відповідних введень та додаткової ваги судна координати центра тяжіння визначаються в наступному вигляді:

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

Використання розробленої математичної моделі остійності судна при розподілі ваги контейнерів дозволяє в реальному часі побудувати поверхню розподілу центрів тяжіння контейнерів (рис. 6) 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 при проведенні вантажних операцій з суднами контейнеровозами у

контейнерних терміналах, яка дозволяє перетворювати координати контейнера з системи координат берегової лінії в суднову з постійним перерахунком його поточних координат.

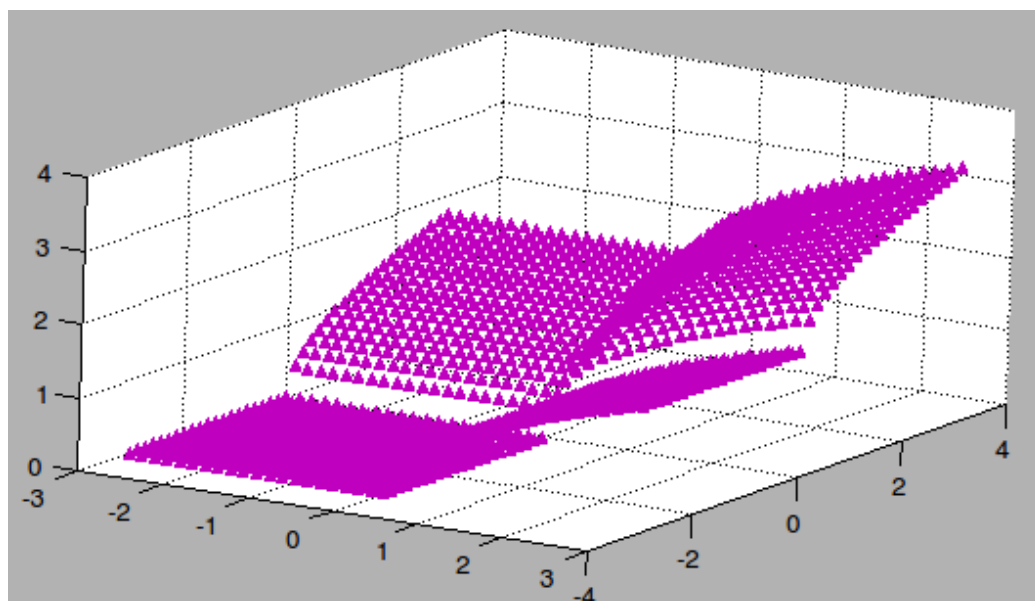


Рис. 6. Приклад побудови поверхні, утвореної центрами тяжіння контейнерних штабелів в FreeMat

Для здійснення повного контролю за переміщеннями контейнерів під час завантаження 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 вище визначено, необхідно 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; визначення місця розташування контейнера в контейнеровозі. Але спочатку обчислюється відносне положення контейнера в контейнеровозі, виходячи як з інформації про розташування самого контейнеровоза, так і з інформації про розташування контейнера, а потім корелюючи відносне положення з планом розміщення контейнерного судна в терміналі.

В роботі запропоновано варіант здійснення позиціонування для надання інформації про місцезнаходження контейнера, який переноситься 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.

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 при завантаженні суден контейнеровозів у контейнерних терміналах створено систему визначення координат контейнера, що полягає переважним чином в закріпленому акселерометрі на спредері вантажного крану (рис. 7).

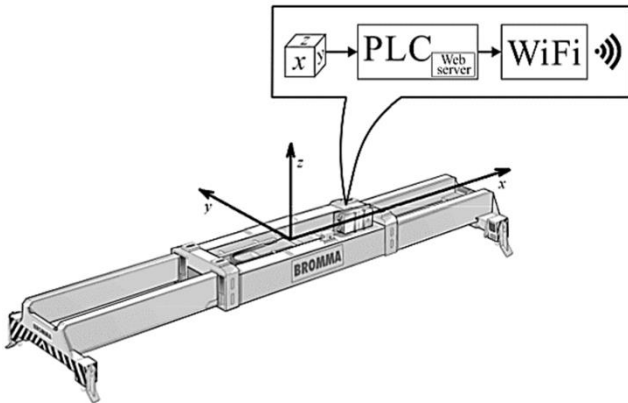


Рис. 7. Розташування акселерометру на спредері

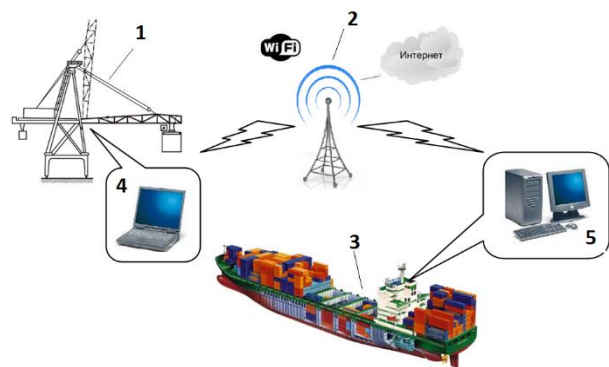


Рис. 8. Структура системи підтримки прийняття рішення по завантаженню контейнеровоза – судно / перевантажувач

Розроблено апаратно-програмний комплекс, що дозволяє дистанційно в режимі реального часу відслідковувати переміщення контейнерів вантажним краном, вести журнал всіх подій та здійснювати перевірку процесу на відповідність до наявних норм та вимог, що діють в судноплавстві (рис. 8), де: 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.

При реалізації апаратної частини визначено доцільність відмови від розробки системи з використанням повного життєвого циклу розробки електронної системи, оскільки затрачений час на неї та сертифікаційні вимоги до системи накладуть невиправдані фінансові витрати. Тому основні елементи системи реалізовані відповідно до блок-схеми дослідної установки (рис. 9, а) з використанням розвиненої лінійки промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact (рис. 9, б), які отримані учбовим закладом за програмами EduNet та TATU (544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES).

Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, переданих 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.

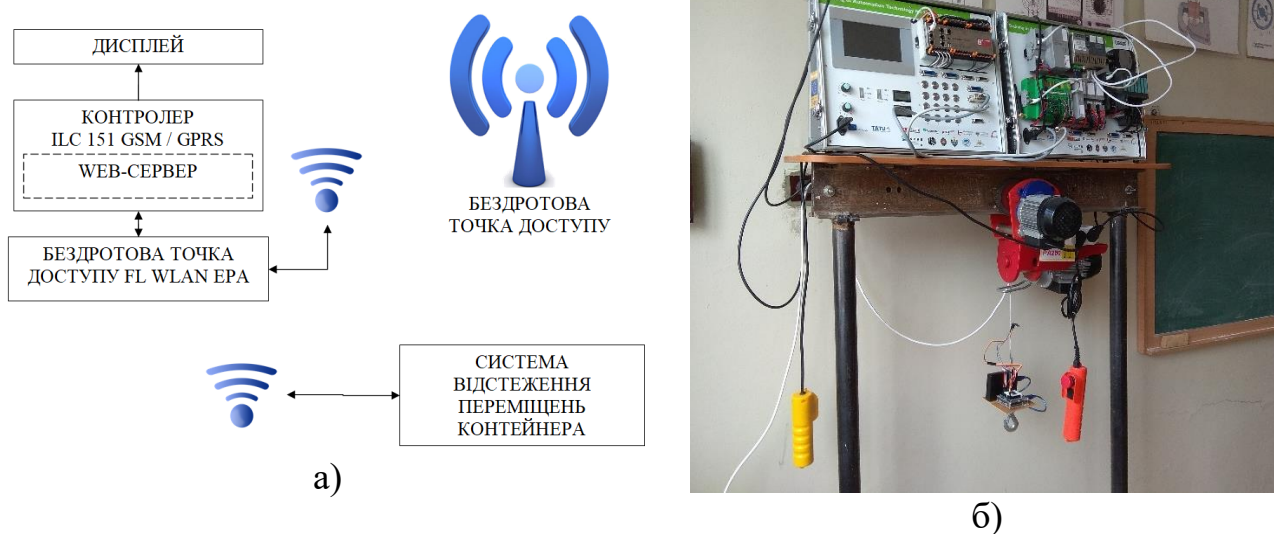


Рис. 9. Дослідна установка

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

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 контейнеровоза.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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: научн.-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 контейнеровоза, метод завантаження контейнеровозів та розгорнутої мережевої моделі мобільного моніторингу та оперативного контролю за процесом завантаження, математичні моделі системи моніторингу завантаження контейнеровоза 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.

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-технічної задачі – створення моделей, методів і засобів забезпечення синхронного функціонування судових та портових комп'ютерних систем для підвищення ефективності проведення завантаження суден контейнеровозів та забезпечення відповідності розташування на них контейнерів до норм безпеки морського перевезення.

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

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

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.

Удосконалено математичну модель методу автоматичного позиціонування при завантаженні контейнерних суден у контейнерних терміналах. Розроблений алгоритм розрахунку координат контейнеру, який завантажуються, 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.

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

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

ABSTRACT

Nakul Yu. O. Models, methods and means of construction of a heterogeneous computer system for controlling the loading of a container carrier. – Manuscript.

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 research is devoted to solving an actual scientific and practical 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.

An analysis of existing models of loading control systems and systems of accounting and planning of container placement on container vessels was carried out. 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 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.

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.

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.

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, the model of the system of mobile monitoring under the loading process is developed.

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 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.

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.

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