

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ КРУПНОТОНАЖНИХ СУДЕН

*В статті розглянуто системи завантаження суден, проаналізовано їх недоліки та на основі цієї інформації було створено модель системи. Представлена система використовує координатний метод визначення положення тіла в просторі. Відповідно до координат та типу контейнера система якомога більш точно переносить його на місце вказане капітаном, або, за потреби, пропонує оптимальні варіанти розміщення. Система є універсальною і може встановлюватися та працювати на всіх типах вантажних суден.*

**Ключові слова:** судно, завантаження; контроль; бездротовий зв'язок; мікроконтролер; інерційні навігаційні системи; декартовий простір.

Завантаження вантажів на судно є складним завданням, що вимагає координації багатьох складових. Недбалість під час цього процесу може привести до дуже серйозних наслідків. Зокрема показовий випадок судна “CSCL Uranus” [1]. Потрапивши в шторм корабель нахилився і за борт потрапило 80 контейнерів, деякі контейнери було пошкоджено. Все це відбулося через неправильне закріплення та завантаження контейнерів на борт. Це призвело до фінансових втрат. Все могло обійтися ще серйозніше, якби судно нахилилося на більший кут 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.

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 втрат. 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.

**Аналіз проблеми та постановка завдання.** Корабельний транспорт існує з давніх-давен, але з розвитком комп'ютерних технологій з'явилася можливість контролювати завантаження вантажів на судно задля прискорення процесу. Але не зважаючи на це на багатьох суднах капітан має безпосередньо спостерігати за процесом задля того, щоб пересвідчитися, що

відповідний контейнер було встановлено саме на те, 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 приводу неухважності [2-4]. Також програми можуть пропонувати оптимізацію розміщення контейнерів, але вже після того, як дані про нього було внесено, тобто якщо контейнер встановлено і лише потім внесено в програму, то доведеться переставляти його, тобто витратити додатковий час та ресурси.

Зазначені системи мають такі недоліки:

1. необхідність купувати вантажні крани, які реалізують уже готові алгоритми автоматизованого завантаження, що вимагає вливання значних коштів за відносно короткий проміжок часу;
2. закритість коду програм, що не дозволяє гнучко налаштовувати програму для потреб того чи іншого судна/порту/транспортної компанії;
3. висока ціна на продукти фірм, які пропонують аналогічні системи (наприклад DELFTload коштує 150 євро за одну ліцензію);
4. націленість на певний, конкретний тип суден, неуніверсальність;
5. недостатній рівень автоматизації у програмних продуктах (необхідність вручну вносити дані про перебування чи відсутність певного контейнера на судні);

Тому актуальним постає встановлення контролю над процесом завантаження в портах для забезпечення правильності розміщення, дотримання показань ваги для кожного боку корабля, 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 корабля.

Коли судно заходить у порт, то за допомогою супутникових каналів зв'язку список вантажів, які треба завантажити уже передано в порт і на місці відбуваються підготовчі роботи[5]. 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 крановими, починають перенесення вантажів, ставлять контейнери на вільні місця у виділених зонах завантаження корабля. 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.

В процесі аналізу були сформовані такі вимоги:

- забезпечення надійного зв'язку між крановими та кораблем;

- візуальний інтерфейс сигналізації завантаження того чи іншого контейнера;
- аналіз навантаження різних секторів корабля;
- збереження історії всіх процесів.

**Створення моделі системи.** На всіх GPS-системах у порту корабель є точкою, що дуже ускладнює контроль за процесом завантаження, так як дослідити положення тіла на основі даних GPS не можна. 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 контролювати 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.

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 (рис. 1), 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.

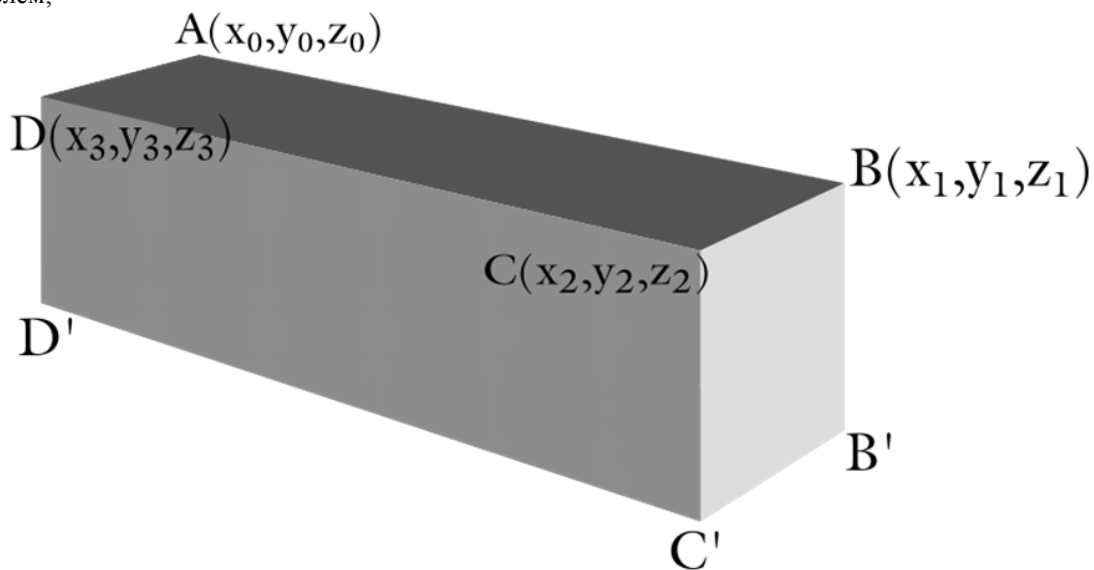


Рис. 1. Фіксовані точки для визначення координат (A' прихована)

Датчики 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  $\alpha$ . Якщо аналогічна ситуація повториться з прямокутником  $CC'D'D$ , то прямокутник  $ABCD$  паралельно перенесеться в  $A'B'C'D'$  з відповідною зміною координат  $z$  цих точок на  $Z$ .

Якщо на одній із бічних поверхонь не виконуватиметься умова ,

доведеться виконати додаткові розрахунки. Необхідно розрахувати нахил (рис.2) відносно точки.

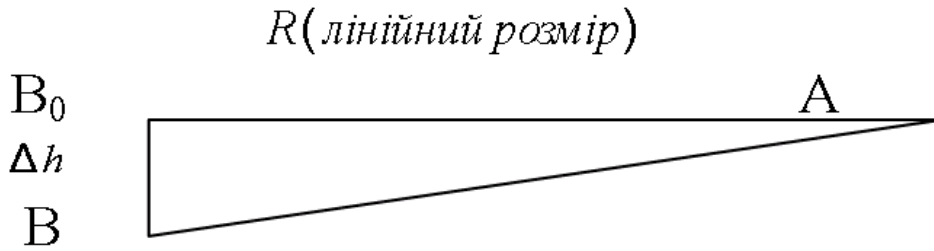


Рис. 2. Розрахунок кута нахилу

Якщо тангенс кута збільшуватиметься до певного порогового значення, то крановий 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 кораблі). Також можна виконати розмітку таких зон.

Таким чином можна отримати дані про місцезнаходження того чи іншого контейнера відносно легко, маючи перед собою карту зон завантаження (рис. 3) чи карту 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.

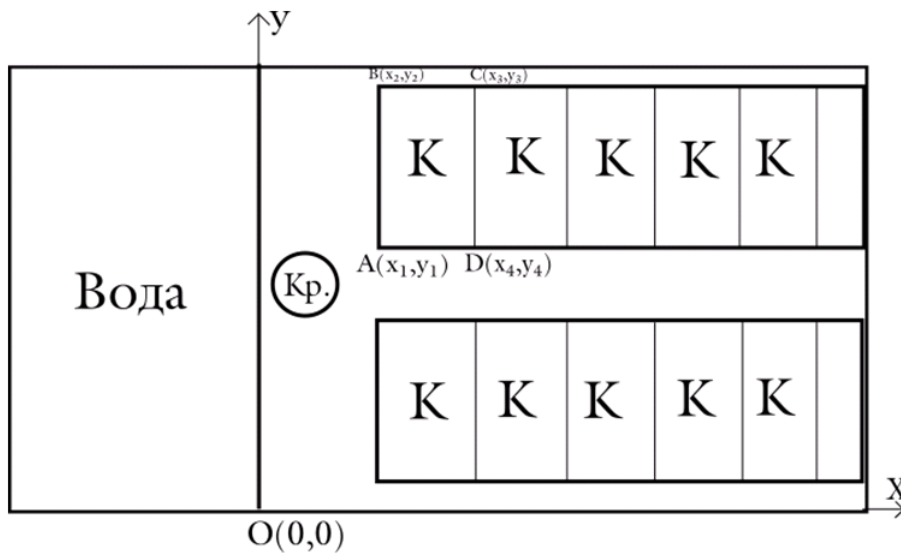


Рис. 3. Карта розміщення контейнерів у порту(прямокутник ABCD демонструє координати одного з можливих контейнерів), К – контейнер, Кр – кран

Необхідно 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 інерціальні навігаційні системи (ІНС). ІНС – це пристрій, що вимірює прискорення та кутові швидкості тіла і відповідно до цього розраховує положення в просторі. Він складається [6,7] з трьох основних компонентів:

1. акселерометра, пристрою, який визначає прискорення;
2. одного або декількох гіроскопів, що визначають кутові швидкості
3. контролера, що виконує первинний аналіз даних та на їх основі розраховує швидкість руху та, власне, координати.

Необхідно, щоб такі ІНС були розташовані принаймні в двох вершинах контейнера. Проте у зв'язку з тим, що 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'єднуються о кутів, тому положення датчиків на кріпленнях будуть збігатися з по-

ложенням кута тіла в просторі. До того ж фіксувати зміни положення, відповідно до наших задач, треба тільки під час перенесення [8]. Система працюватиме наступним чином:

- Крановий, 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.
- Виконується переміщення контейнера на корабель відповідно до координат, які були задані капітаном для даного контейнера.
- Після того, як контейнер було встановлено на потрібне місце, корабельна частина системи

оповіщається про це. В портову базу відправляється команда, які підтверджує успішне перенесення вантажу.

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

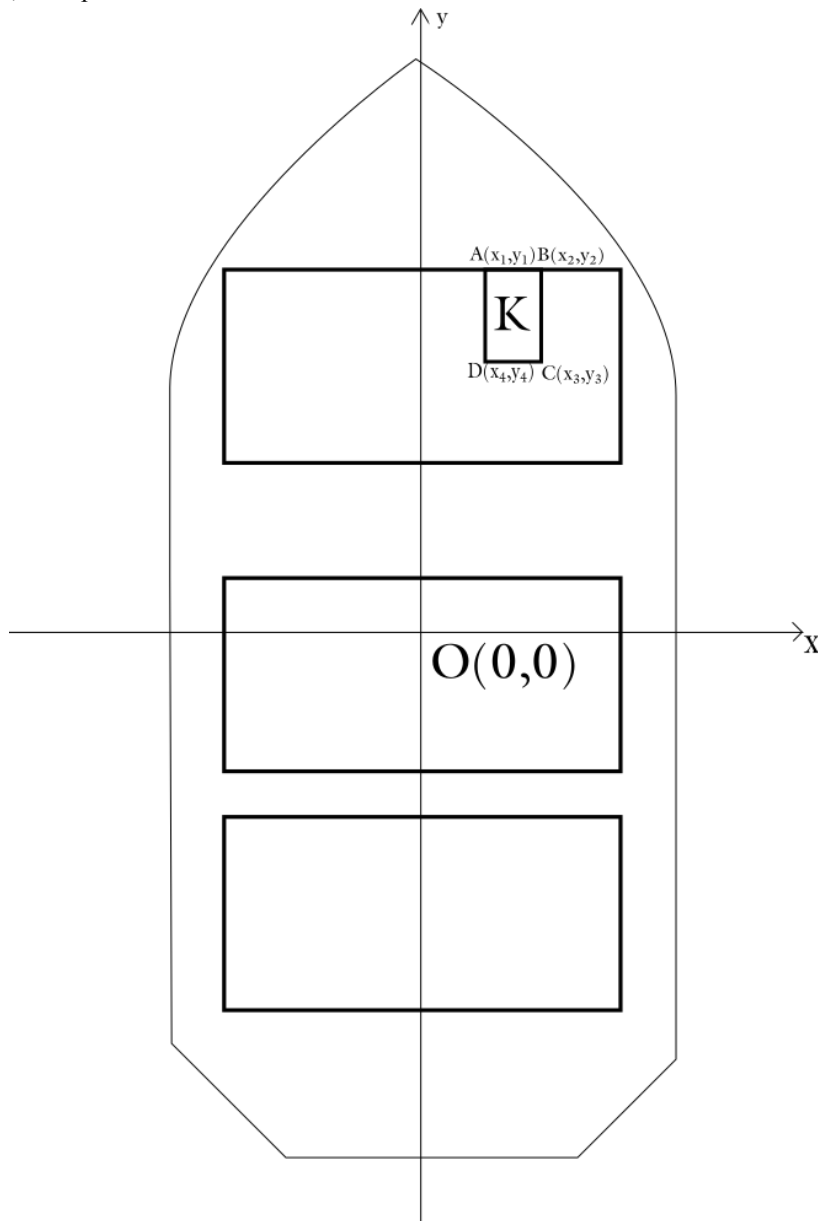


Рис. 4. Карта збереження вантажів, К – контейнер для прикладу, який характеризує розміщення

Карта Збереження Вантажів (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 корабля. (рис.4) 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 корабля в порту і встановлення каналу зв'язку із портовими кранами відбудеться передача КЗВ і розрахунок координат не відносно базової точки корабля, а відносно базової точки портових кранів. Всі перетворення відбуватимуться в програмному комплексі й капітан корабля, працюючи з КЗВ на судні може відправляти поточні, зрозумілі йому координати, які будуть автоматично перераховані системою.

Корабель має на борту 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 корабля. Для забезпечення зв'язку можна скористатися бездротовим зв'язком (дротове з'єднання було відкинута як нерациональне). З поміж стандартів бездротової передачі даних, які рационально використовувати для побудови локальних мереж було обрано стандарт IEEE 802.11, а саме його реалізацію – Wi-fi. На кораблі буде встановлено роутер, який зможе покривати зону, яка буде розрахована відповідно до розмірів корабля. (рис. 5) В зоні завантаження стоятиме ретранслятор сигналу для забезпечення необхідного радіусу дії відповідно до реалій того чи іншого порту та особливостей його зон завантаження.

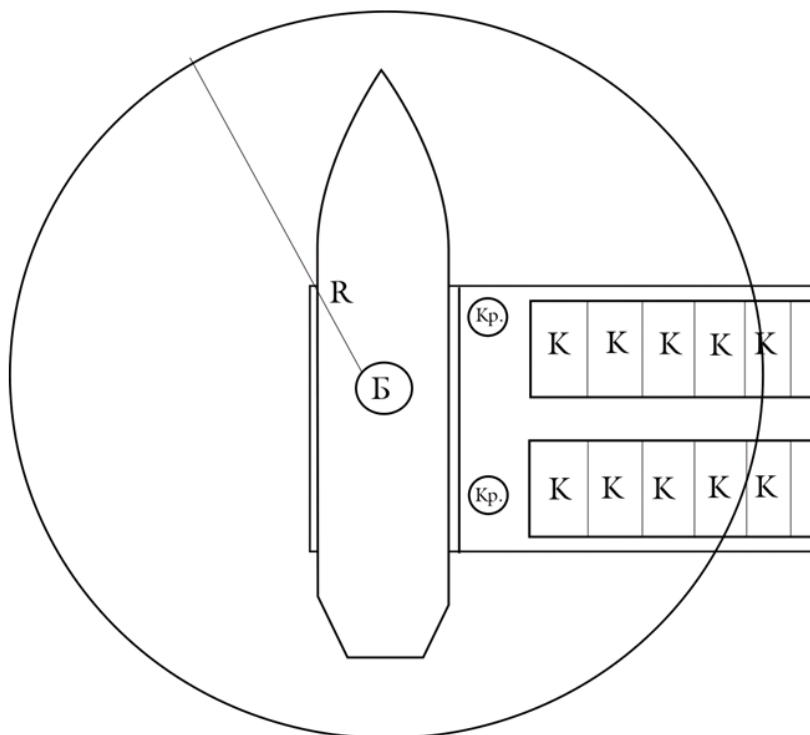


Рис. 5. Покриття Wi-fi – бази(Б), яка має радіус покриття ( $R, R > L(\text{довжина корабля})/2$ )

Всі модулі, встановлені на кранах відправлятимуть інформацію на корабельну частину системи. Вона являє собою комп'ютер приєднаний до роутера, який створює мережу через яку здійснюються комунікації. На комп'ютері встановлено програмне забезпечення, яке виконує обробку всіх даних, які надходять від кранів. Заповнюється корабельний реєстр вантажів, який являє собою надбудову на КЗВ і, по суті, поєднує координати інформацію про місцезнаходження об'єкта і дані про це об'єкт. Напрямую з даними, які надходять з мережі працюватиме лише один про-

грамний модуль. Буде відбуватися логування та занесення контейнера до корабельного реєстру вантажів. Всі інші програмні модулі працюватимуть з ним. В програмі передбачено графічний інтерфейс користувача, який дозволяє відобразити розміщення контейнерів на кораблі, модуль, який дозволяє переглянути історію перевезень та модуль аналізу розміщення, який підбиратиме найбільш оптимальне положення для контейнера, а також модуль зв'язку через який здійснюватиметься зв'язок між кораблем та крановими (рис. 6).

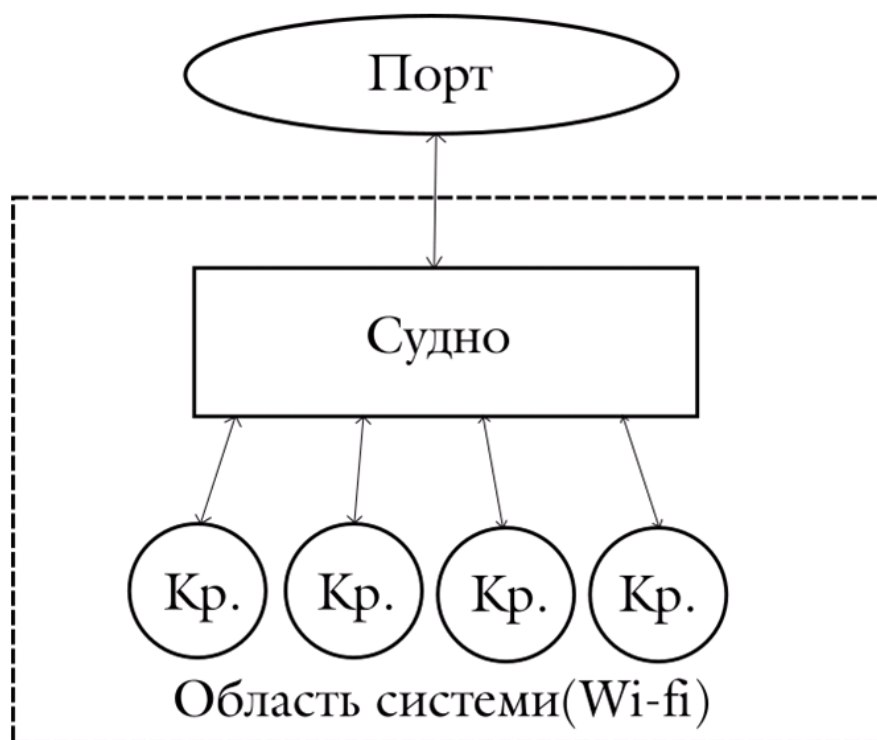


Рис. 6. Ієрархія мережі

Кранова ж частина системи складається з двох модулів ІНС та мікроконтролеру, через який здійснюватиметься передача інформації. Мікроконтролер під'єднується через інтерфейс RC-45 до більш потужного роутера. Можлива пряма передача з мікроконтролера, якщо до його складу входить вбудований модуль Wi-fi.

**Висновок.** Під час виконання роботи було проаналізовано та визначено проблему завантаження су-

ден у портах. Розглянуто варіанти розв'язання вирішення проблеми, які існують на теперішній час і виявлено їх недоліки. Відповідні моменти було включено в поставлене завдання. Було оформлено визначено завдання до майбутньої системи. Відповідно до завдань було розроблено модель системи та описано механізм її роботи. Бездротові мережі та ІНС є основним та дієвим засобом вирішення поставленого завдання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Нікольський В. В. Система підтримки прийняття рішення по погрузке крупнотоннажного контейнеровоза / Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. // Наукові праці ЧНУ ім. Петра Могили. – Серія «Комп'ютерні технології». – Вип. 271. – Т. 134 – Миколаїв, 2016 – С. 123–131.
2. Delta Marine Ship Loading Software [Електронний ресурс] – Режим доступу : – URL: <http://www.deltamarine.com.tr/en/services/ship-loading-software.php> (дата звернення 23.11.2016).
3. DELFTload [Електронний ресурс] – Режим доступу : – URL: <http://www.delftship.net/DELFTship/index.php/delftload/delftload>(дата звернення 25.11.2016).
4. MEECOS Suite: INTERSCHALT maritime systems [Електронний ресурс] – Режим доступу : – URL: <http://www.interschalt.com/software/meecos-suite/> (дата звернення 20.11.2016).
5. 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.
6. Michael Kraft CLOSED LOOP DIGITAL ACCELEROMETER EMPLOYING OVERSAMPLING CONVERSION: докторська дисертація/Michael Kraft M:Coventry, 1997, 155 с.
7. What is Inertial Navigation Systems Guide OxTS [Електронний ресурс] – Режим доступу :. – URL: <http://www.oxts.com/what-is-inertial-navigation-systems-guide/> (дата звернення 02.12.2016).
8. Бутаков Никита Александрович. Инерциальная навигация мобильных устройств: маг.роб/ Бутаков Н. А. – М. : Москва, 2014. – 60 с.

**Ю. А. Накул,**  
«Одеская морская академия»,  
г. Одесса, Украина

**В. О. Стовманенко,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЗАГРУЗКИ КРУПНОТОНАЖНЫХ СУДЕН

*В статье рассмотрены системы загрузки суден, проанализированы их недостатки и на основе этого создана модель системы загрузки. Представленная система использует координатный метод определения положения тела в пространстве. В соответствии к координатами и типом контейнера система более точно переносит его на указанное капитаном место, или, если требуется, предлагает оптимальные варианты размещения. Система является универсальной и может устанавливаться и работать на всех типах грузовых суден.*

**Ключевые слова:** судно; загрузка; контроль; беспроводная связь; микроконтроллер; инерционные навигационные системы; декартово пространство.

**Y. A. Nakul,**  
«Odessa Maritime Academy»,  
Odessa, Ukraine

**V.O. Stovmanenko,**  
Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## MODEL OF SYSTEM FOR TRANSPORT TONNAGE SHIPS DOWNLOADING

*In this article looked over systems of ships downloading and analyzed there's disadvantages and using this information as a base new system was created. Presented system uses method of coordinates for body state determination in space. According to coordinates and type of container system transports it as much exact as it possible to the place specified by ship's captain or, if he has some doubts, system advices the optimal place to store this container. System is universal and it might be installed on every possible kind of transport ships.*

**Key words:** ships; downloading; control; wireless connection; controller; inertial navigation systems; cartesian space.

**Рецензенты:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
д. т. н., проф. **А. Н. Хомченко.**

© Накул Ю. А., Стовманенко В. О., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 23.11.16*