



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**  
**СТОПАНСКИ ФАКУЛТЕТ**

**Катедра „Икономика, индустриален инженеринг и мениджмънт“**

**Кхалдон Кхалед Салех Ал-Кармади**

**ПОДХОД И МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО  
УПРАВЛЕНИЕ НА ЛОГИСТИЧНИ ОПЕРАЦИИ В  
АВТОМАТИЗИРАН ПРИСТАНИЩЕН ТЕРМИНАЛ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен  
**"ДОКТОР"**

Област: 5 „Технически науки“

Професионално направление: 5.13 „Общо инженерство“

Научна специалност: „Организация и управление на производството“

**Научен ръководител: проф. д-р инж. Огнян Андреев**

СОФИЯ, 2022 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра ИИИМ към Стопанския факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 13.06.2022 г. с Протокол № 5/13.06.2022.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 6.10.2022 г. от 13.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.13-11/16.06.2022 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р Йорданка Ангелова – председател
2. доц. д-р Наталия Колева – научен секретар
3. проф. д-р Николай Щерев
4. проф. д-р инж. Димитър Дамяновски
5. доц. д-р Сийка Демирова

Рецензенти:

1. проф. д-р Йорданка Ангелова
2. проф. д-р инж. Димитър Дамяновски

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Стопанския факултет на ТУ-София, блок № 3, кабинет № 3235.

Дисертантът е редовен докторант с обучение на английски език към катедра ИИИМ на Стопанския факултет. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от симулации с използвания в тази област софтуер “Arena”.

Автор: маг. инж. Кхалдон Кхалед Салех Ал-Кармади

Заглавие: „Подход и методология за интелигентно управление на  
логистични операции в автоматизиран пристанищен терминал“

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

## **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

### **Актуалност на проблема**

Целта на всеки контейнерен терминал е да се повиши ефективността, за да може да се справи с увеличаването на търсенето и размера на контейнерните кораби. Като се има предвид ограниченото пространство и ресурси на всеки контейнерен терминал и високата цена за увеличаване на капацитета, автоматизацията може да бъде ефективна алтернатива. Автоматизираният контейнерен терминал се превърна в световна тенденция, която се прилага към много големи контейнерни терминали. В допълнение, много изследвания се фокусират върху тази тема, за да използват автоматизация и други технологии за повишаване на ефективността в контейнерните терминали.

Настоящият дисертационен труд използва технологията на „Интернет на нещата“ (Internet of Things – IoT) за повишаване на транспортната ефективност на автоматизиран контейнерен терминал. В допълнение е предложен алгоритъм за повишаване на ефективността в автоматизирания контейнерен терминал и постигане на целта на изследването. Накрая са показани резултатите от симулация, целяща да бъде доказан ефектът от използването на предложения алгоритъм за намаляване на общото време за разтоварване и намаляване на таксите за обработка на терминала.

### **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

*Чрез използване на „Интернет на нещата“ (IoT) и комуникационните технологии от превозно средство до превозно средство в автоматизирани управляеми превозни средства (АУПС) да се разработи модел за повишаване ефективността на трафика чрез намаляване на времето за разтоварване на корабите в автоматизирания контейнерен терминал.*

### **Научна новост**

Въз основа на проучването на голям брой литературни източници е направен критичен анализ на наличността и приложимостта на съществуващите модели за обслужване и функциониране на контейнерни терминали, включително и автоматизирани такива. Основно внимание е отделено на малкото или никакво разпространение на IoT.

На базата на анализа в настоящия дисертационен труд е предложен оригинален методически подход, с помощта на който се предлага използването на IoT, за да се получи интелигентна комуникация за повишаване ефективността на транспортирането на автоматизирания контейнерен терминал. В допълнение е разработен алгоритъм за постигане на целта за намаляване на общото време за разтоварване и таксите за обработка в автоматизирания контейнерен терминал.

## **Практическа приложимост**

Разработеният методически инструментариум е директно приложим в практиката на контейнерните терминали и логистични центрове за обработка на товари, освен в големи и средни пристанища по света, така също и във вътрешността на страната, където се решават подобни логистични задачи.

## **Апробация**

Методическият инструментариум е апробиран, като е използван широко известният софтуер за симулация „Arena”. При тази симулация като бенчмарк за сравнение са послужили най-добрите постигнати параметри, взети от известните до момента научни публикации по проблема, представени при критичния анализ в литературния обзор в статията *Xin, J., Negenborn, R., Corman, F., & Lodewijks, G. (2015). Control of Interacting Machines in Automated Container Terminals Using a Sequential Planning Approach for Collision Avoidance. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 377-396.*

Резултатите от симулациите в експериментите и сравненията недвусмислено показват по-добрите стойности, получавани при предложения модел.

## **Публикации**

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научни статии, от които 3 са доклади в международни научни конференции и 1 самостоятелна в научно списание в областта на транспорта и логистиката.

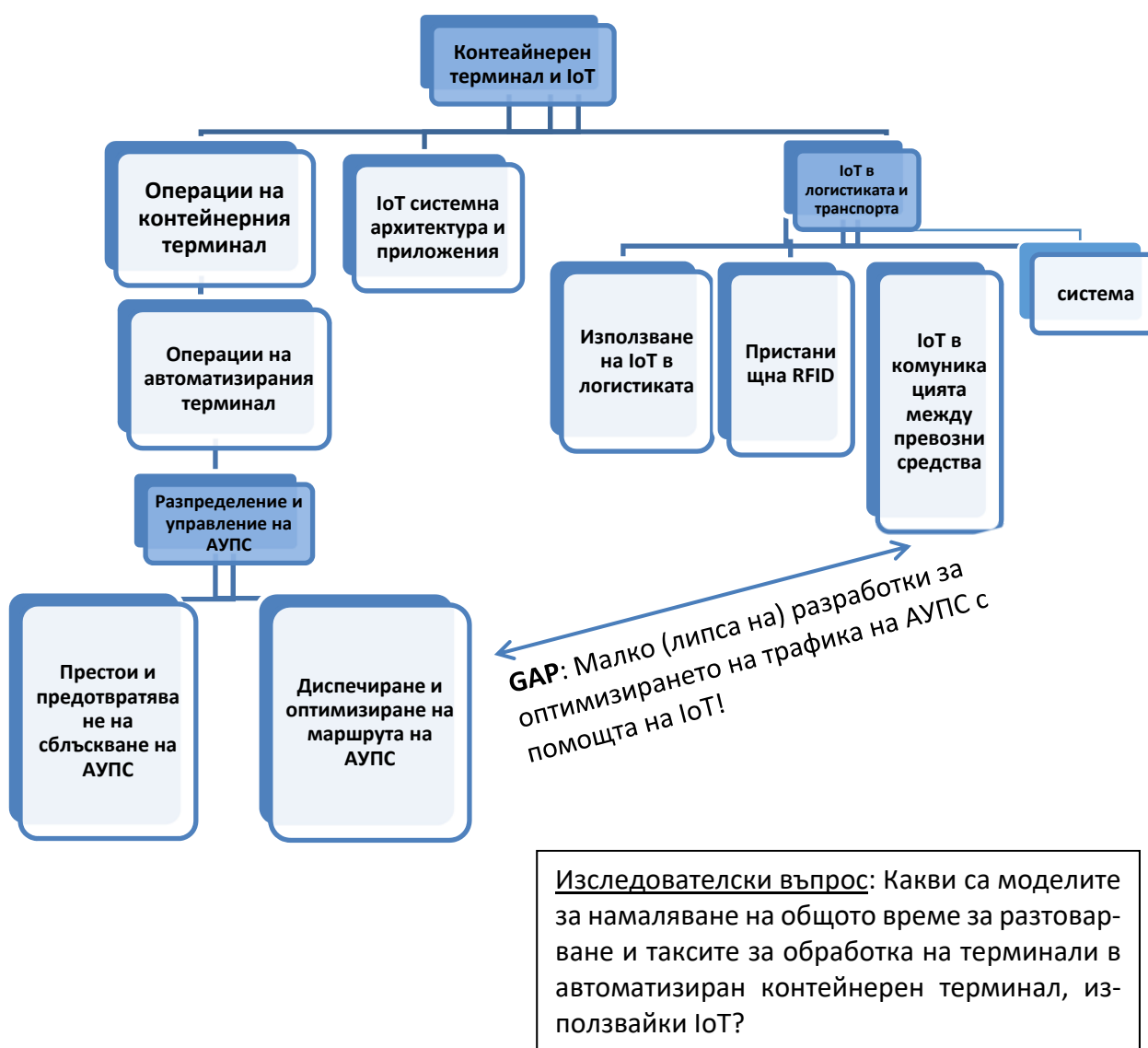
## **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от 105 страници, като включва въведение, 3 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията, използвана литература и приложения. Цитирани са общо 129 литературни източници, като всички са на латиница. Работата включва общо 54 фигури и 3 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

### ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Глава 1 е разделена на две части както следва: основната част дискутира различните видове операции на контейнерните терминали от гледна точка на различните изследователи. Освен това, тя подлага на критичен анализ различни изследователски публикации относно начина за повишаване на ефективността на изпращане на АУПС и избягване на сблъсъци с превозни средства. Втората част се концентрира върху използването на Интернет на нещата (IoT) в логистичния сектор и показва как чрез IoT може да се повиши ефективността на транспортните операции на терминала.



Фиг. 1.1. Структура на литературния анализ

Според UNCTAD (2011) контейнерният бизнес е най-бързо развиващият се вид товарен транспорт със средно увеличение от 8,2% годишно на количествата товари между 1990 и 2010 г. Освен това, според Луо и Ву (2015), повече от 60% от общия транспорт на общи товари се извършва с контейнери. Има три стандарта за дължина на контейнерите: 20 фута, 40 фута и 45 фута. Те са предназначени да увеличат ефективността на обработката на материала и да намалят щетите на товара. В резултат на този бърз растеж на търсенето на контейнерни превози, размерите на контейнерните кораби също бързо се увеличават. Карло, Вес и Рудберген (2014) споменават, че капацитетът на контейнерните кораби се е увеличил от няколко стотици TEU (еквивалентни на двадесетфутови единици) от 1955 г. до повече от 14 хиляди TEU днес.

Освен това, за да се справят с този бърз растеж в контейнерния бизнес и големите контейнерни кораби, много страни разширяват своите контейнерни терминали. Страните инвестират не само в екстензивно разширяване на капацитета на терминалите, но и в напреднали технологии за контейнерни терминали, за да повишат ефективността на операциите. Според Луо и Ву (2015) „... с развитието на обработката на материали и информационните технологии, редица терминали, като европейския комбиниран терминал (ЕКТ) в Ротердам, контейнерния терминал „Алтенвердер“ (КТА) в Хамбург, пристанище Темза в Обединеното кралство, терминала „Пасир Панджанг“ (ТПП) в Сингапур, контейнерния терминал „Патрик“ в Бризбейн и Източния контейнерен терминал в Пусанзапочнаха да използват автоматизирано оборудване за обработка на контейнери, за да задоволят нарастващите изисквания на клиентите и да намалят разходите за труд”.

Освен това автоматизираният контейнерен терминал е новата тенденция в научните изследвания за много учени и изследователски центрове. Новото автоматизирано оборудване и усъвършенстваните технологични и дигитални ресурси откриха много нови изследователски тенденции за планиране на ресурсите и оптимизиране на операциите.

Автоматизираният контейнерен терминал може да бъде разделен на три основни операционни сектора, както следва: (1) Кейови кранове (КК), (2) Автоматизирани управлявани превозни средства (АУПС) и (3) Автоматизирани кранове за подреждане (АКП). Кейовите кранове (КК) са отговорни за товаренето и разтоварването на контейнери от и към кораби на кей. КК са полуавтоматични кранове, които се управляват от оператори в стая за дистанционно управление. Операторът на крана ще натовари и разтовари контейнерите според плана за складиране, който пристанището ще получи преди акостиране на кораба, за да уточни последователността и местоположението на всеки контейнер в кораба. В допълнение, АУПС са отговорни да вземат контейнерите от КК и да ги транспортират до складовото дворно място при операция по разтоварване и от складовото до КК при операцията товарене. Тези АУПС са превозни средства без шофьор, които се движат въз основа на предварително дефинирани маршрути. Те са оборудвани със сензори, контролери и други усъвършенствани технологии за управление на автономните движения. И

накрая, автоматизираните кранове за подреждане (АКП) са автоматизирано оборудване за манипулиране, което обработва контейнерите от АУПС, когато пристигнат на складовата площадка. Задачата на тези АКП е да преместват всеки контейнер към конкретен слот за съхранение. Слотовете за съхранение са представени от три променливи  $x$ ,  $y$  и  $z$ , като позволяват подреждането на контейнери един върху друг. Освен това АКП отговарят за преместването на контейнера от складовата площадка към товарния камион. За да прехвърли контейнера от складовата площадка към товарния камион, АКП се координира с портата на терминала, за да управлява трафика и да осигури безпроблемно транспортиране до портала. Понастоящем повечето от контейнерните терминали използват система за резервиране на срещи за приемни камиони, за да управляват трафика на терминала.

Въз основа на нерешените проблеми, дискутирани в обзора, е формулирана следната **основна цел на дисертационния труд**:

*Чрез използване на „Интернет на нещата“ (IoT) и комуникационните технологии от превозно средство до превозно средство в автоматизирани управляеми превозни средства (АУПС) да се разработи модел за повишаване ефективността на трафика чрез намаляване на времето за разтоварване на корабите в автоматизирания контейнерен терминал.*

За изпълнението на така дефинираната цел на дисертационния труд е необходимо да бъдат изпълнени следните **основни задачи**:

- 1) Разработване на методически подход за намаляване времето за разтоварване на кораба и таксите за обработка на терминала в автоматизирания контейнерен терминал;
- 2) Разработване на модел/алгоритъм, с помощта на който да се намалят времето за разтоварване на кораба и таксите за обработка на терминала в автоматизирания контейнерен терминал;
- 3) Прилагане на експерименти и симулации за валидиране на методологията и предложения алгоритъм.
- 4) Сравнение на резултатите от предложения алгоритъм с еталонен показател (бенчмарк), за демонстриране на ефективността на предложия алгоритъм (апробиране на методическия инструментариум).

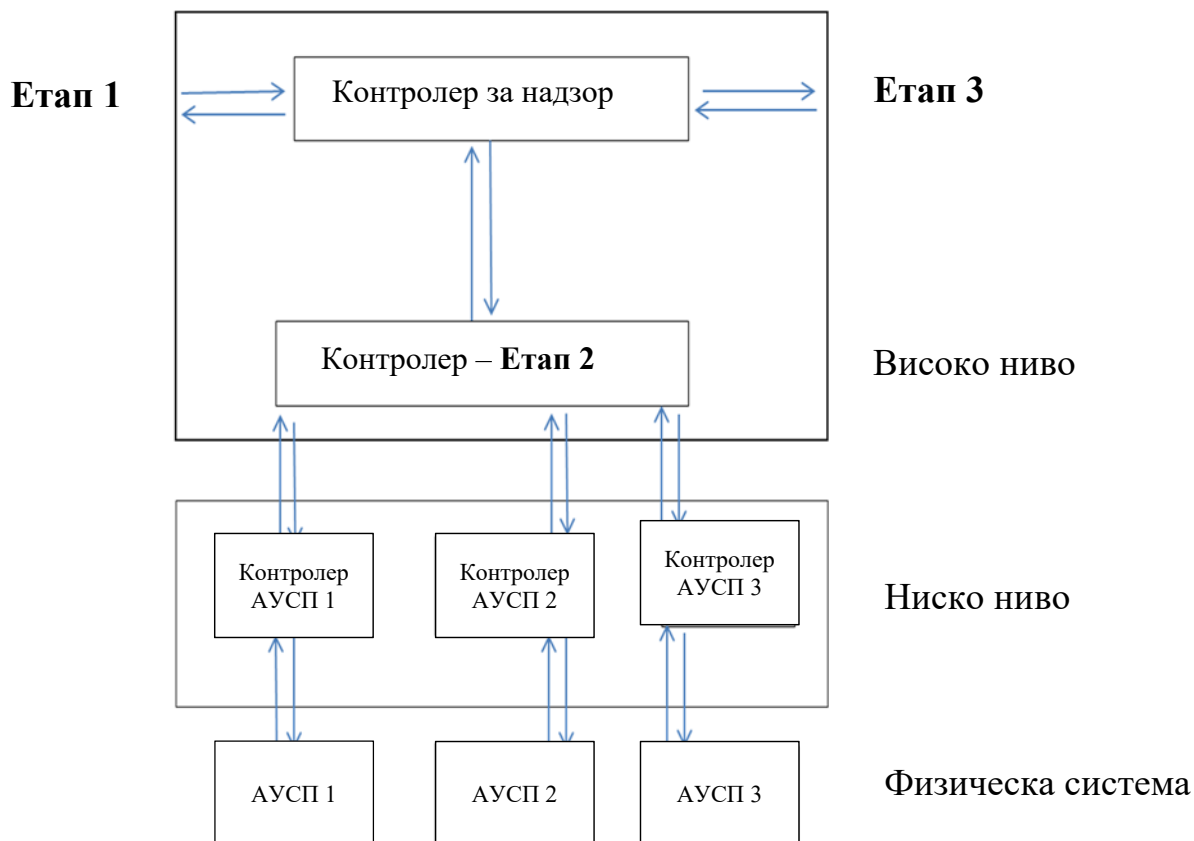
## **ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО**

### **2.1. Рамка на изследването**

Според Xin et al. (2015), операциите на автоматизирания контейнерен терминал могат да бъдат разделени на три етапа. **Първият етап** отговаря за операциите на кейовите кранове за разтоварване/товарене на контейнери от/към кораба. **Вторият етап** се фокусира върху операциите на АУПС, които са отговорни за преместването на контейнерите от КК към АКП в процеса на разтоварване и от АКП към КК по време на товарене. В допълнение, вторият етап планира графика на АУПС и генерира маршрути без сблъскване за всяко АУПС. **Етап 3**

обработка операциите на АКП, които отговарят за подреждането на контейнери в техните места за съхранение. Освен това, във всичките три етапа има две нива на контролни решения, тези нива са високите и ниските нива на контролерите, както е показано по-долу на фиг. 2.1. В настоящия дисертационен труд фокусът е върху тези две нива от етап 2, в които са операциите на АУПС.

По-високото ниво е отговорно за процеса на планиране на АУПС и възлагането на конкретна работа на конкретно АУПС.



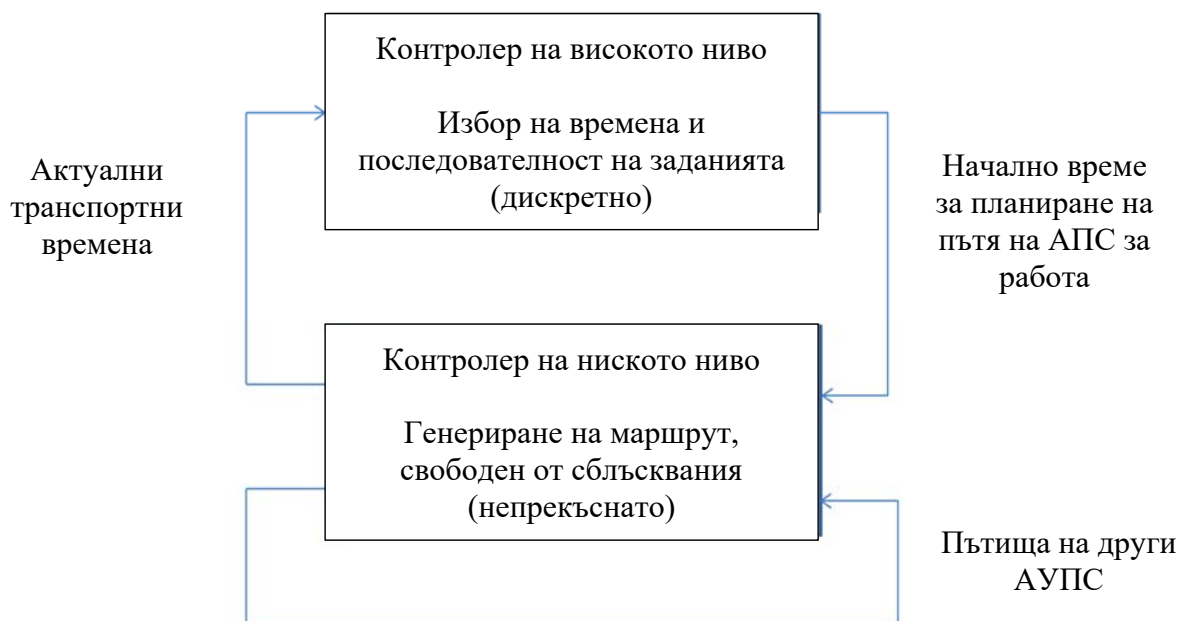
**Фиг. 2.1. Архитектура за управление на етап и ниво (Xin et al., 2015)**

Контролерът от по-високо ниво се състои от контролер на етап за всеки етап и контролер за надзор, който действа подобно на централен мозък на всичките три етапа на операции. Контролерът за надзор е отговорен за планирането на времеви интервал за трите етапни контролери и определянето на поръчките за задания. Всеки етапен контролер отговаря за възлагането на конкретна машина за конкретна работа по време на времеви слот, който контролерът за надзор е възложил на контролера на етапа. Това планиране има за цел да минимизира времето за разтоварване на кораба в автоматизирания контейнерен терминал.

Контролерът на по-ниско ниво се състои от локален контролер за всяка машина във всички етапи на работа. По-конкретно, в контролера на по-ниско ниво на втория етап се предвижда да има локален контролер за всяко АУПС, който ще отговаря за генериране на път без сблъсък за всяко АУПС, за да се избегне сблъскване с други АУПС и статични/динамични обекти в контейнерния терминал. В резултат на това местният контролер на АУПС на по-ниско ниво има за цел да завърши работата с минимално оперативно време, като се



имат предвид ограниченията за избягване на сблъсквания. И накрая, контролерът на АУПС изпраща обратно действителното време за завършване на операцията към контролера на Етап 2 на по-високото ниво и след това контролерът на Етап 2 го изпраща до контролера за надзор, както е показано по-долу на фиг. 2.2:



**Фиг. 2.2. Взаимодействие на контролерите на по-високи и по-ниски нива (Xin et al., 2015)**

## 2.2. Работа на автоматизирания контейнерен терминал

Както беше показано по-горе, операциите на автоматизирания контейнерен терминал могат да бъдат разделени на две нива, които са по-високо ниво, отговорно за операциите с дискретни събития и по-ниското ниво, отговорно за операциите с непрекъснати събития.

### 2.2.1. Алгоритъм на високото ниво

Алгоритъмът на високото ниво е отговорен за определянето на времевите интервали и възлагането на последователности на всяка задача във всичките три етапа. Този алгоритъм зависи от следните допускания:

1. Обмисля само операцията по разтоварване.
2. Известен произход на контейнера в кораба.
3. Всеки контейнер отнема различно време за работа в етапите на КК, АУПС и АКП.
4. Всички контейнери са готови за обработка в момент 0.
5. Капацитетът на всеки КК, АУПС и АКП е равен на 1 контейнер (1 TEU).

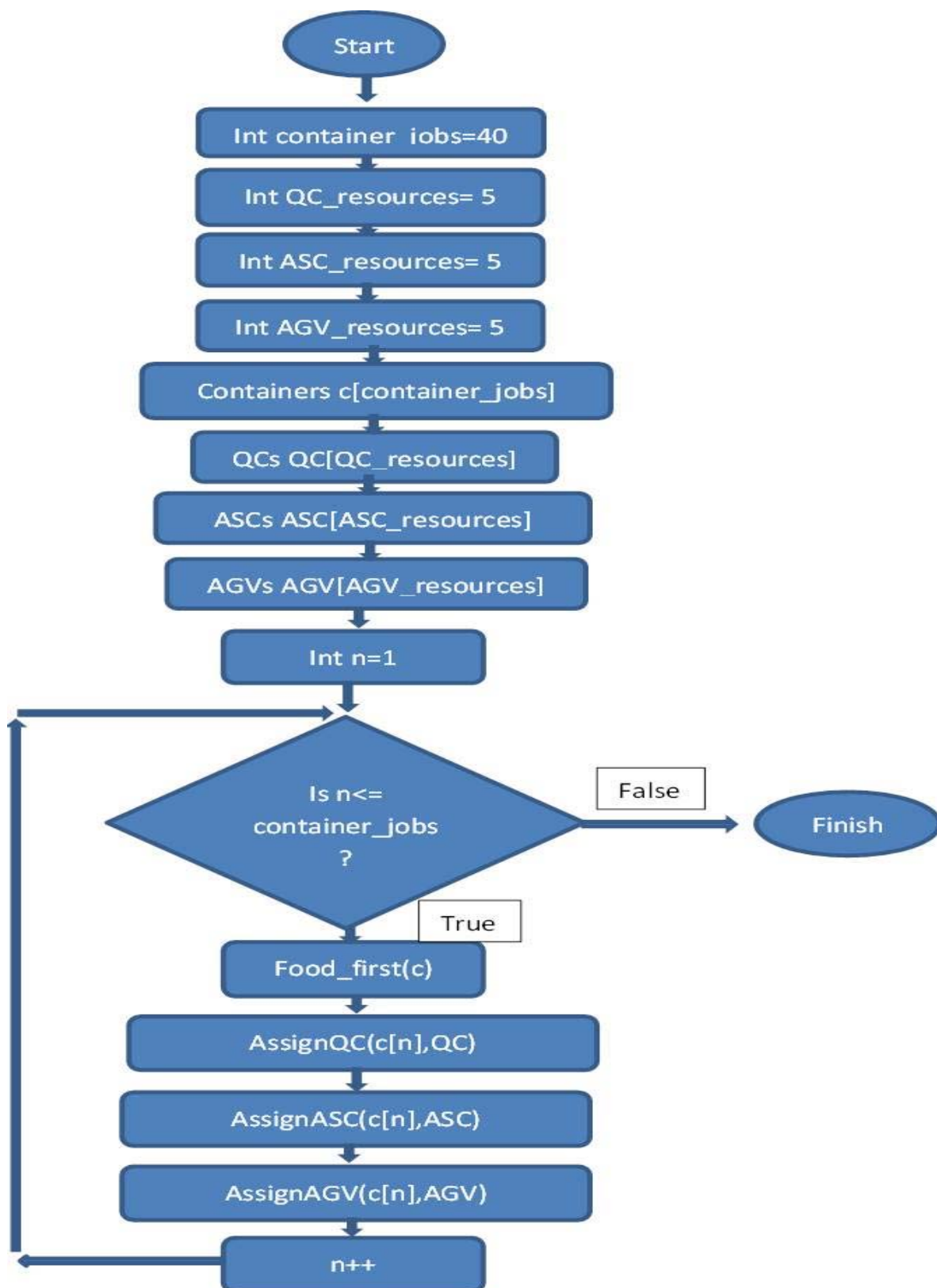
Алгоритъмът на високото ниво е разделен на 5 функции, които контролират процесите на назначаването на ресурси и последователността от операции за всеки контейнер. Основната функция контролира цялостния алгоритъм и действа като контролер за надзор, който отговаря за управлението на трите етапа на работа. Освен това функцията **food\_first** е отговорна за даване на приоритет на контейнерите за храна в цялостната последователност на изпълнение.

**AssignAGV**, **AssignASC** и **AssignAGV** са функциите, които действат като контролери на етапите за възлагане на КК, АУПС и АКП за всеки контейнер.

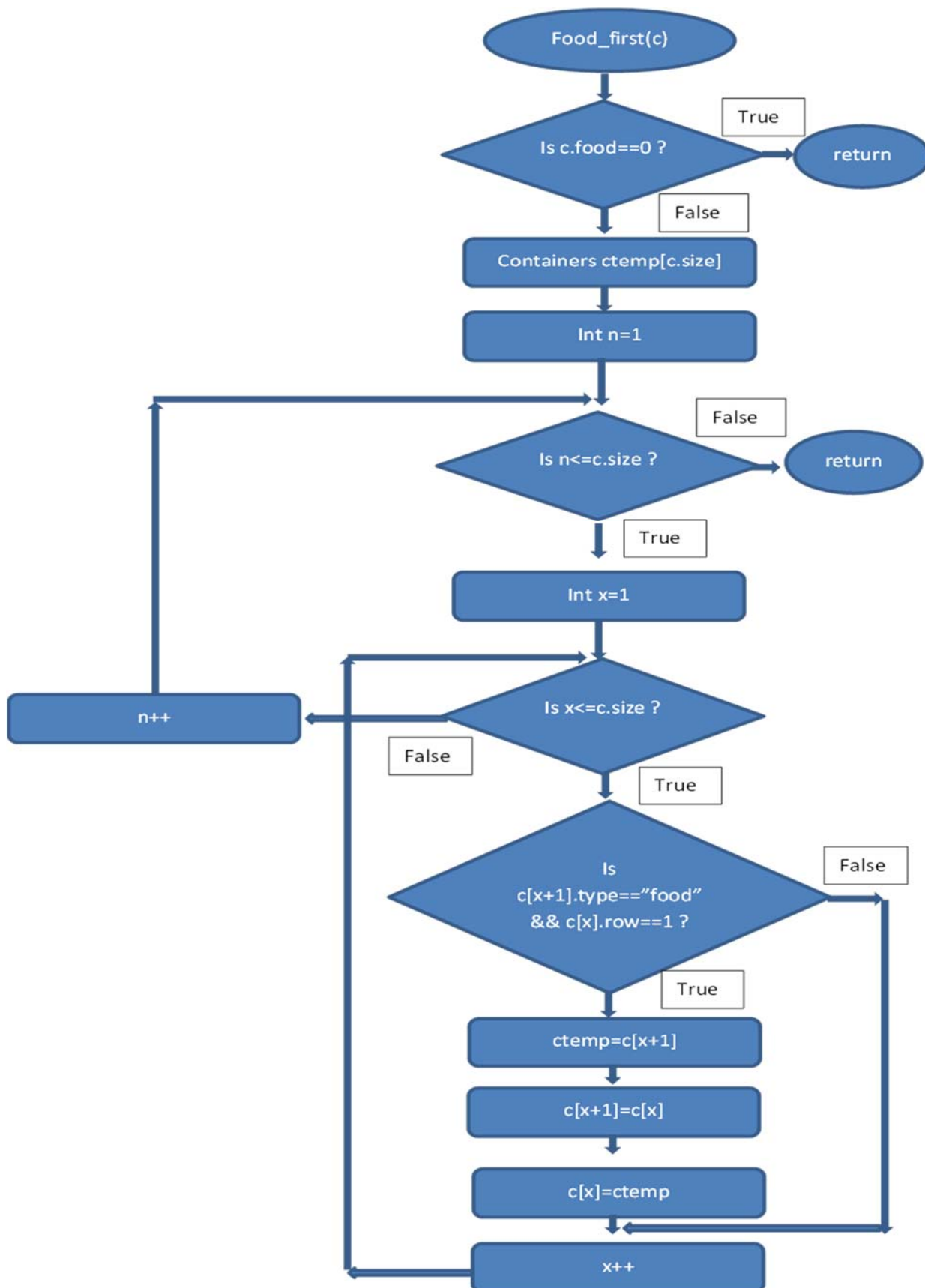
Както е показано на фиг. 2.3, основната функция декларира броя на контейнерите, броя на ресурсите за контрол на качеството, броя на ресурсите на АУПС и броя на ресурсите на АКП в оперативната задача. След това той ще започне да изпълнява задачите за контейнери една по една, преминавайки през операционните процеси и започва с извикване на функция **food\_first**, за да даде приоритет на контейнерите за храна, в случай че има налични. Освен това, след като зададе последователностите на масива от контейнери, той започва да назначава ресурси за всеки контейнер, като извика **AssignASC** и **AssignAGV**, за да възложи КК и АКП, които ще представят също и точките на начало и местоназначение на пътя на АУПС. След това функцията ще извика функцията **AssignAGV**, за да възложи АУПС за контейнера, за да го транспортира от точката на КК като начало до точката на АКП като дестинация.

А както е показано на фиг. 2.4, функцията **food\_first** ще сортира масива от контейнери въз основа на даване на приоритет на контейнерите за храна, ако такива са налични. И така, функцията ще провери дали контейнерът в горната част е контейнер за храна или не и ако е контейнер за храна, ще го изпрати в началото на масива, за да започне операцията с него.

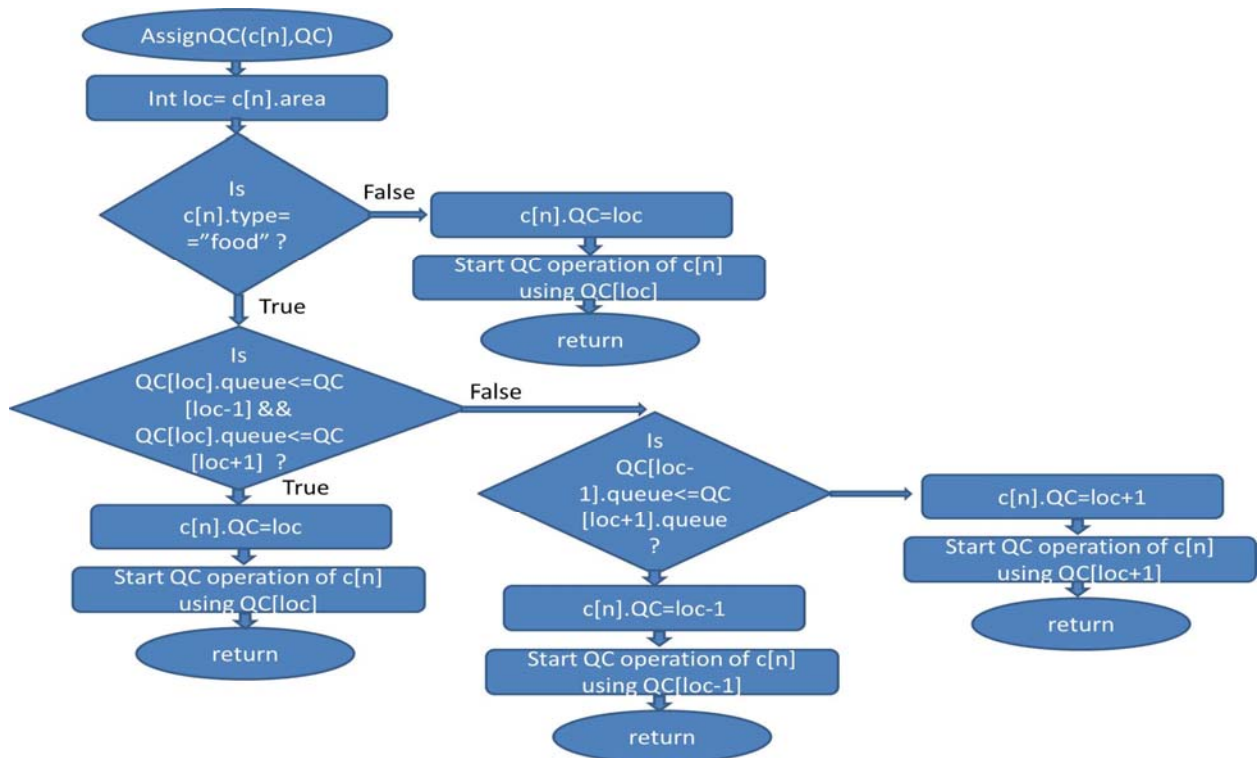
В допълнение, както е показано на фиг. 2.5, функцията **AssignQC** ще възложи КК за всеки контейнер и ще даде приоритет на контейнера за храна, за да бъде обслужен от КК, който има най-малък брой задачи в опашката, за да се съкрати времето за чакане. Въз основа на местоположението на контейнера за храна той ще бъде възложен или на съответния КК в този район област, или към двата съседни КК отляво или отдясно, въз основа на най-малкия брой задачи в техните списъци със задачи на изчакване. От друга страна, контейнерът за нехранителни стоки ще бъде обслужен само с използване на съответния КК в зоната му.



Фиг. 2.3. Главната функция, контролираща трите етапа

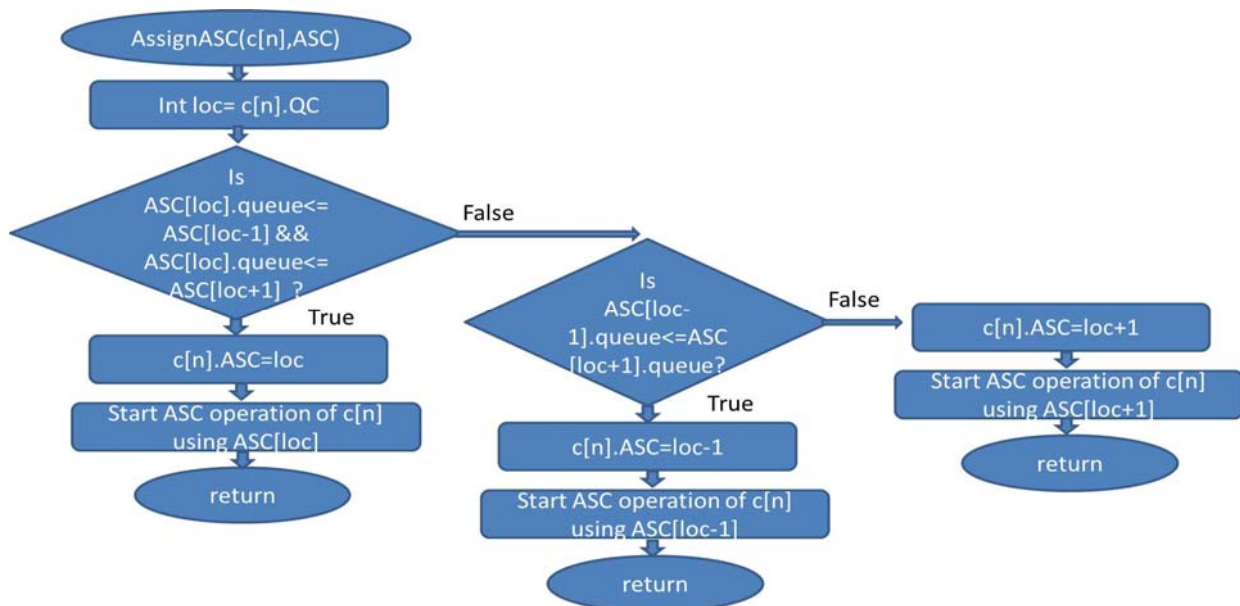


**Фиг. 2.4. Функцията Food\_first, даваща приоритет на контейнерите за храна**



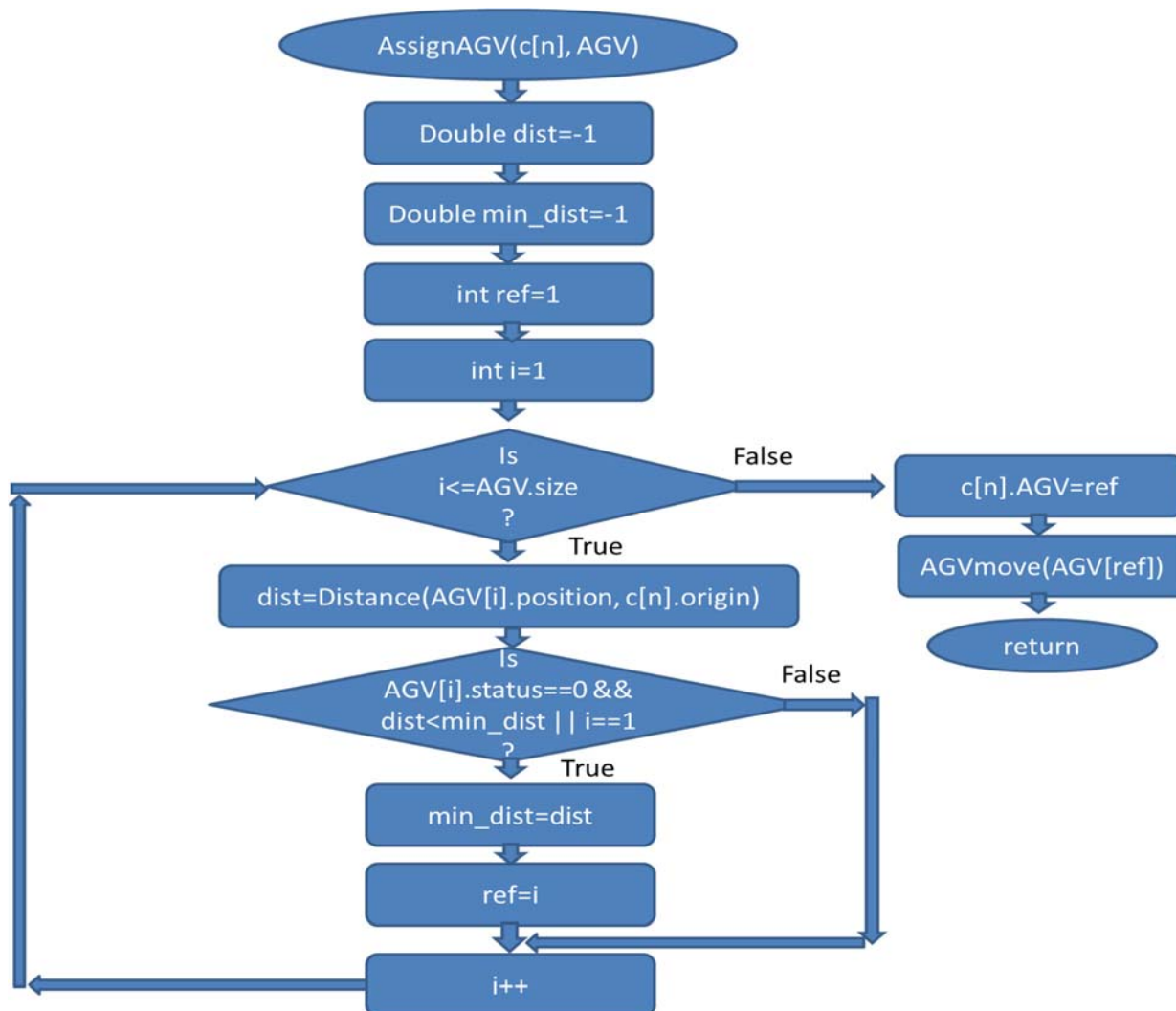
**Фиг. 2.5. Функция AssignQC , която е отговорна за възлагане на конкретен КК на конкретен контейнер**

Както е показано по-долу на фиг. 2.6, функцията AssignASC възлага АКП за всеки контейнер. Контейнерът се възлага на съответния АКП или този отляво или отдясно в зависимост от това на кой от тях е възложен най-малък брой задачи. Този процес на възлагане на АКП се използва независимо от вида на товара вътре в контейнера.



**Фиг. 2.6. Функция AssignASC, която отговаря за възлагането на специфичен АКП към конкретен контейнер**

И накрая, както е показано на фиг. 2.7, функцията *AssignAGV* възлага АУПС за всеки контейнер в кораба. Функцията възлага безплатен АУПС за всеки контейнер въз основа на най-близкото АУПС, което има най-краткото разстояние до точката на товарене на контейнера. Функцията изчислява разстоянието между текущата позиция на АУПС и точката на товарене на контейнера, която се счита за начална точка на АУПС операцията. Функцията изчислява разстоянието до всички АУПС и избира това, което е с най-късо разстояние, за обслужване на контейнера.



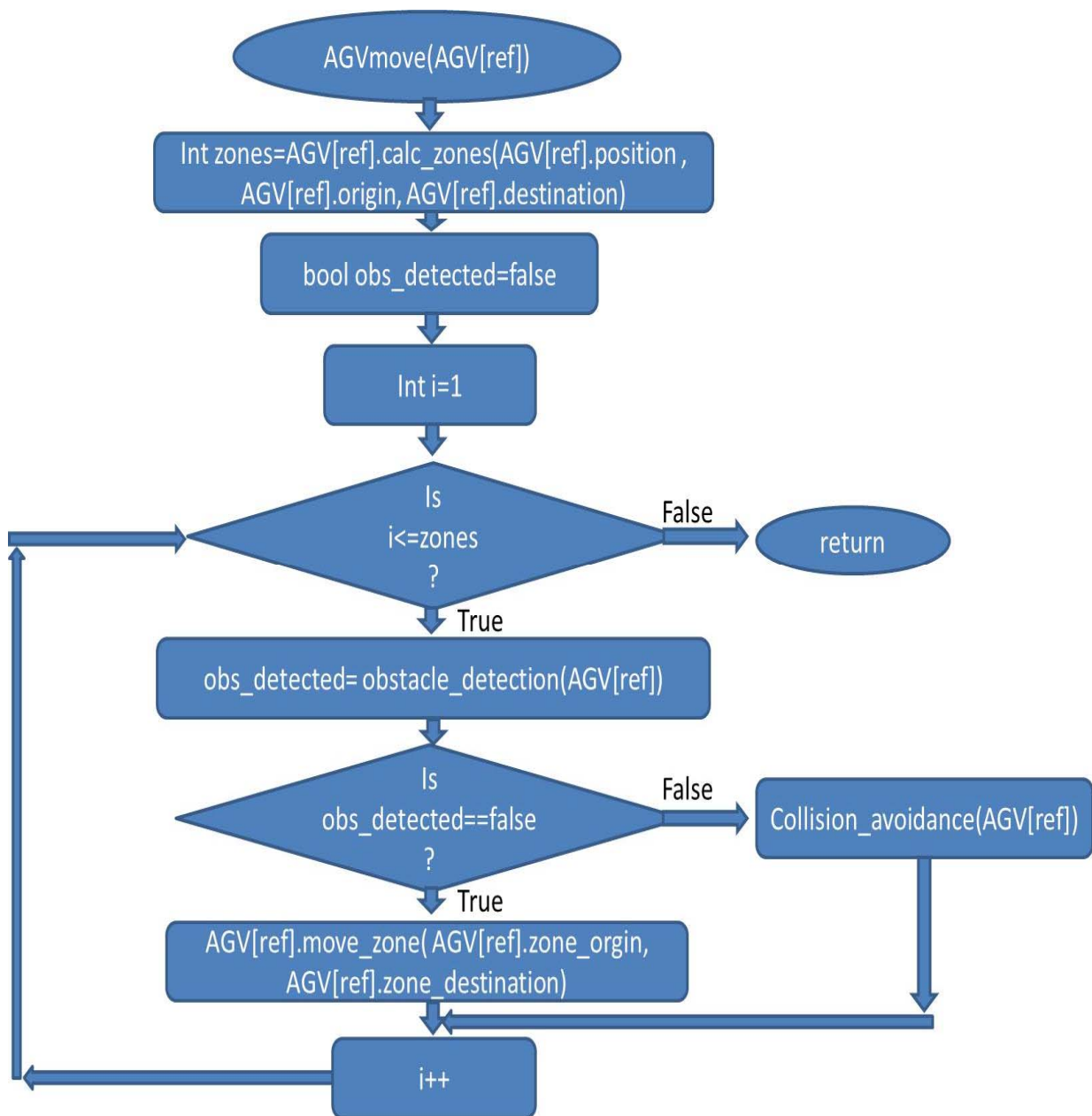
**Фиг. 2.7. Функция *AssignAGV*, която отговаря за възлагането на конкретен АУПС към конкретен контейнер**

### 2.2.2. Алгоритъм на ниското ниво

Както бе споменато по-рано, настоящата разработка се фокусира само върху ниското ниво на операциите на АУПС. Ниското ниво отчита движенията на АУПС, откриването на препятствия и избягването на сблъсквания между АУПС и други статични препятствия.

- Движения на АУПС

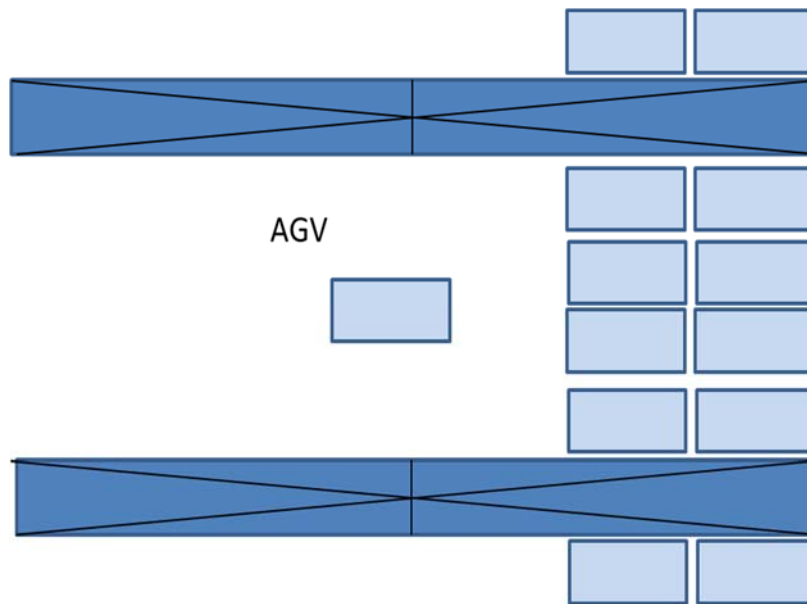
Както е показано по-долу на фиг. 2.8, функцията **AGVmove** започва с изчисляване на броя на зоните, които трябва да бъдат пресечени по време на транспортиране от текущо местоположение до точка на произход и от точка на произход до точка на дестинация на АУПС. След това функцията извиква функция **obstacle\_detection**, за да провери дали има препятствие пред АУПС, тя извиква функция **collision\_avoidance**, в противен случай се премества на една зона напред и повтаря този процес, за да се придвижи, докато стигне до точката на дестинация.



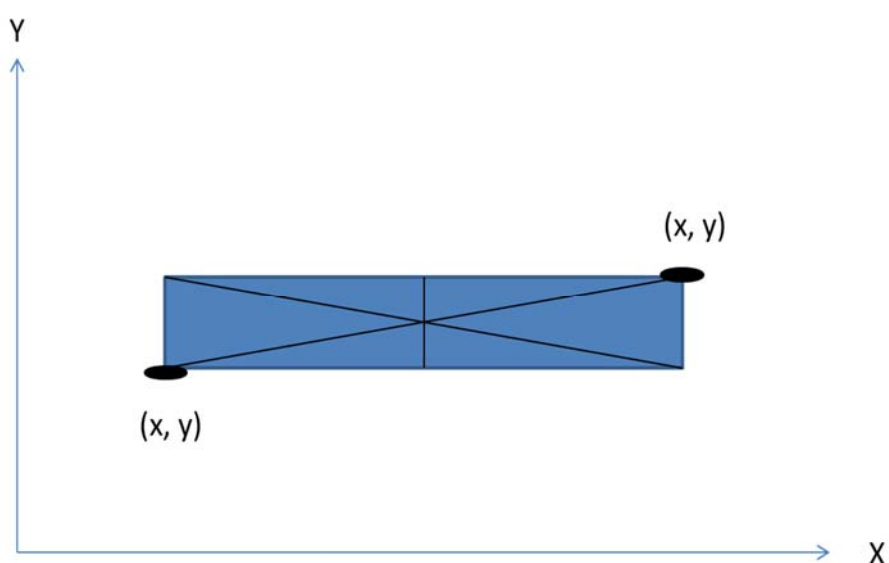
Фиг. 2.8. Функция **AGVmove**, отговаряща за движенията на АУПС

- *Откриване на препятствия*

В автоматизирания контейнерен терминал има два вида препятствия – статични и динамични. Статичните препятствия са неподвижни препятствия като кранове и друга инфраструктура в контейнерния терминал, както е показано на фигури 2.9 (а) и (b). От друга страна, динамични препятствия са другите АУПС, които се движат и взаимодействат помежду си, използвайки общи пътища и кръстовища. За управление на тези взаимодействия се използват комуникациите „превозно средство-инфраструктура“ и „превозно средство-превозно средство“, за да се осигури гладко и безопасно транспортиране в автоматизирания контейнерен терминал.



**Фиг. 2.9(а). Външен изглед на 2 статични препятствия**



**Фиг. 2.9(b). Фокусиран изглед върху размерите на статично препятствие**



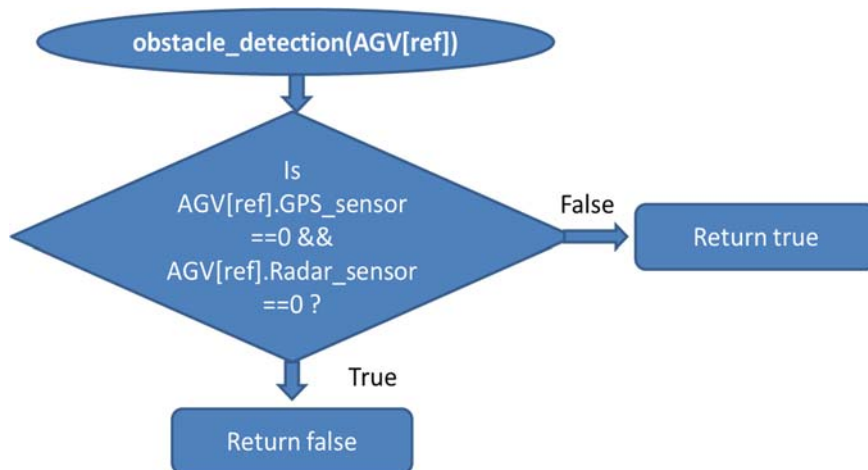
Както е показано на фиг. 2.10, комуникацията „превозно средство-инфраструктура“ помага за откриване на статични препятствия, като позволява на АУПС да знае точното местоположение на всички статични препятствия в автоматизирания контейнерен терминал. Това може да стане чрез качване на подробна карта с всички точни размери и местоположения на статични препятствия към облака на централна система, която локалната система на АУПС може да разчете. В допълнение, инфраструктурата излъчва съобщение до всички околни АУПС, за да ги предупреди за евентуален сблъсък с него.



**Фиг. 2.10. Комуникации „превозно средство–превозно средство“ и „превозно средство–инфраструктура“**

Комуникацията „превозно средство–превозно средство“ се използва за откриване на динамични препятствия, докато АУПС се движи. Във всяко АУПС има локална система и тази система съдържа GPS с точност до 1 метър и радарен сензор, който да действа като двуслоен сензор за безопасност. Всяка локална система на АУПС споделя местоположението си в реално време с други околни локални системи и облака на централната система, за да позволи на другите АУПС да четат тази важна информация. В допълнение, радарният сензор, който отчита всичко, заобикалящо АУПС, действа като втори слой на безопасност за откриване на всяко препятствие около него. Така че, тези два слоя на безопасност ще осигурят правилното откриване на препятствия, като анализират двете показания и дават по-добро решение.

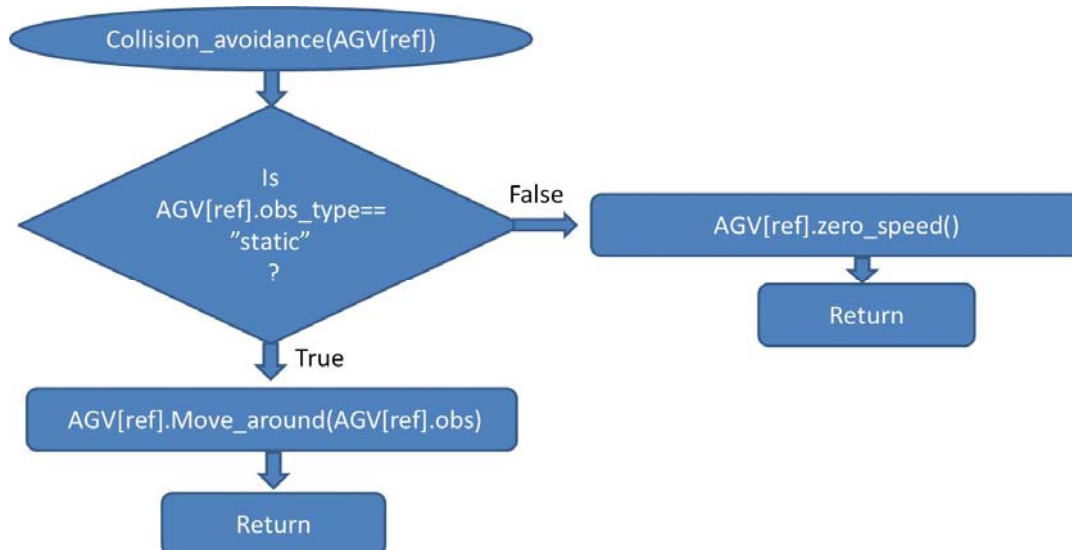
Освен това функцията **Obstacle\_detection** чете и анализира показанията от GPS и радарния сензор. Въз основа на тези показания функцията решава дали има препятствие по пътя на АУПС или не, както е показано по-долу на фигура 2.11. Функцията връща **true** за **AGVmove** функция, ако някой от двата сензора открие препятствие и **false**, ако не е открито препятствие.



**Фиг. 2.11. Функция obstacle\_detection, която е отговорна за откриването на всякакви препятствия по пътя на АУПС**

- Избягване на сблъсък

Както е показано по-долу на фиг. 2.12, функцията **Collision\_avoidance** се задейства, за да се избегне всяка възможна авария между АУПС и статично препятствие или АУПС и динамично препятствие. Функцията изпълнява различни действия за различни видове препятствия. АУПС спира, ако има друго АУПС, заемащо търсената зона и изчаква, докато другият АУПС освободи зоната, за да може да продължи да се движи. Освен това, АУПС леко завива наляво или надясно, ако има статично препятствие по пътя, за да се избегне сблъскване.



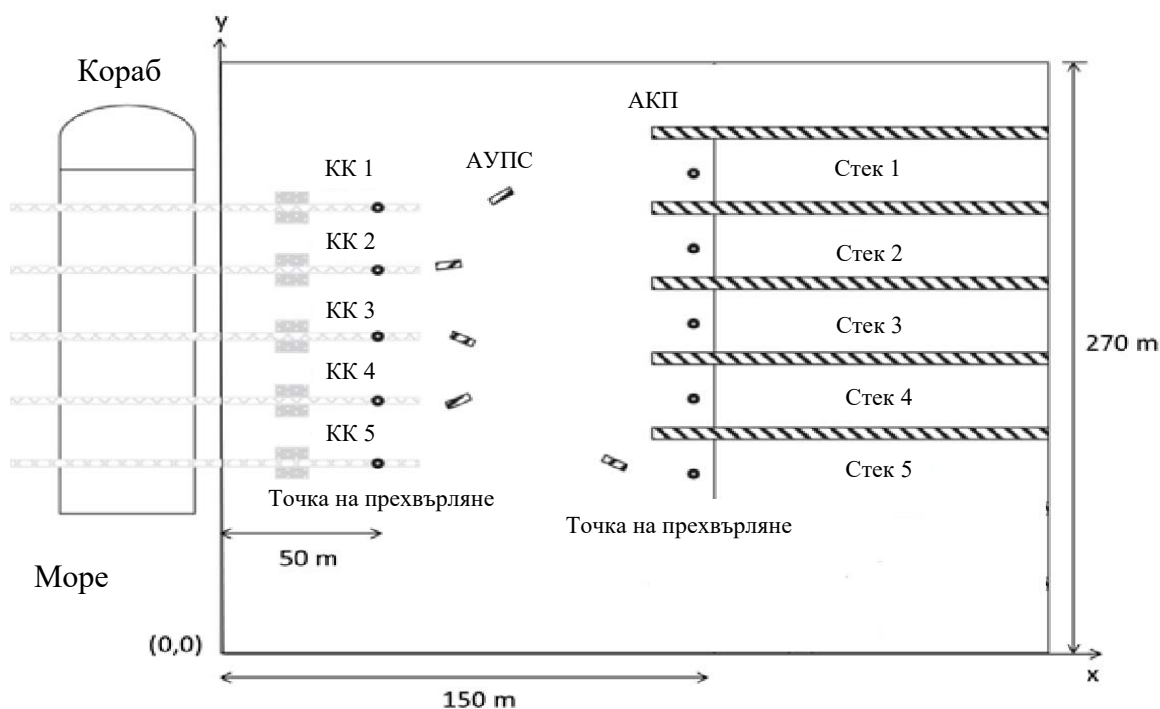
**Фиг. 2.12. Функция Collision\_avoidance, отговорна за контролиране на движенията на АУПС, за да се избегнат сблъсквания**

Всеки контейнер в съда преминава през всички функции в алгоритъма. От тук следва, че когато броят на контейнерите се увеличи, времето за изчисление също ще се увеличи. Времева сложност на алгоритъма е  $O(n^2)$ , което означава, че за 40 контейнера времева сложност е  $O(40^2)$ . Алгоритмите на високо и ниско ниво работят заедно, за да разпределят ресурси за всеки контейнер и да осигурят безопасно транспортиране. Следователно, при ефективно разпределение на ресурсите и транспорта, операции са ускорени. И накрая, наличието на по-бърза и безпроблемна работа води до постигане на целта поставена в настоящия дисертационен труд, а именно: *намаляване на времето за разтоварване на съда в автоматизиран контейнерен терминал.*

## ГЛАВА 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

### 3.1. Референтна рамка

За да бъдат осъществени експериментите, с които да се докаже ефективността на предложения модел, може да се използва карта на типичното разположение на съоръженията в контейнерен терминал, представена на фиг. 3.1, която показва средата, в която се осъществяват на операциите (Xin et al., 2015). Тази карта на контейнерния терминал, приета като референтна рамка за експеримента, предполага пет КК за разтоварване на контейнери от кораба, пет АУПС за транспортиране на контейнери от КК до АКП и пет АКП за 5 зони за подреждане, така че всеки АКП да отговаря за една зона за подреждане („Стек“).



**Фиг. 3.1. Референтна рамка за разположението на автоматизиран контейнерен терминал (Xin et al., 2015)**

Както е показано на фиг. 3.1, АУПС ще отведе контейнера от началната точка на прехвърляне, която е точката на разтоварване на КК, до точката на местоназначение, която е точката на натоварване на АКП. Координатите за тези трансферни точки на автоматизирания контейнерен терминал са показани по-долу в Таблица 3.1:

Таблица 3.1

Координати на точките за прехвърляне на автоматизирания контейнерен терминал

КК	Координати	АКП	Координати
КК 1	(50, 170)	АКП 1	(145, 222.5)
КК 2	(50, 150)	АКП 2	(145, 187.5)
КК 3	(50, 130)	АКП 3	(145, 152.5)
КК 4	(50, 110)	АКП 4	(145, 117.5)
КК 5	(50, 90)	АКП 5	(145, 82.5)

Освен посоченото тук, следните ограничения и допускания за експериментите трябва да бъдат взети пред вид:

- Приема се, че ширината на кораба е равна на 8 TEU;
- Приема се, че максималното разстояние между точката за обмен на КК и контейнер в плавателния съд е 100 метра;
- Площта на контейнерния терминал е 150 м x 270 м.;
- Всяко място за подреждане има обем (36 TEU дължина x 10 TEU ширина x 6 TEU височина);
- Максималната скорост (скорост) за КК е 4 m/s, за АУПС е 6 m/s и за АКП е 4 m/s.;
- Максималното ускорение за КК е 0,4 m/s<sup>2</sup>, за АУПС е 1 m/s<sup>2</sup>, а за АКП е 0,4 m/s<sup>2</sup>.;
- Всеки КК или АУПС, или АКП ще обработва само 1 TEU едновременно;
- Началната позиция за всички АУПС и АКП са позиции за товарене, а за всички КК са позиции за разтоварване;
- Времето за обработка на КК на всеки контейнер зависи от неговата позиция в кораба;
- Случайно генериране на слота за съхранение на контейнера в зоната за подреждане;
- Различни слотове за съхранение за всяка зона за подреждане;
- Игнорирайте времето за обмен на контейнери между КК, АУПС и АКП;
- В тези експерименти е използван софтуер за симулация „Арена“.

Експериментите, които са проведени, за да покажат ефективността на предложения алгоритъм, се фокусират върху следните показатели за ефективност:

- **Общо време за разтоварване (изследователска цел):** времето за завършване на обработката на всички контейнери, които напускат кораба;
- Средно време на работа на КК на контейнер: средното време, което контейнерът ще прекара в етапа КК, който започва от изчакване в опашката КК до изписването му в АУПС;
- Средно време за работа на АУПС на контейнер: средното време, което АУПС ще прекара, започвайки от времето за заявка, до доставката на съответния контейнер до крайната дестинация;
- Средно време на работа на АКП на контейнер: средното време, което контейнерът ще прекара в етапа на АКП, който започва от изчакване в опашката на АКП до достигането до крайното място в зоната за подреждане;
- Средно време на изчакване: средното време, през което контейнерът ще чака на опашка по време на всички етапи на работа.

### 3.2. Резултати от експеримента

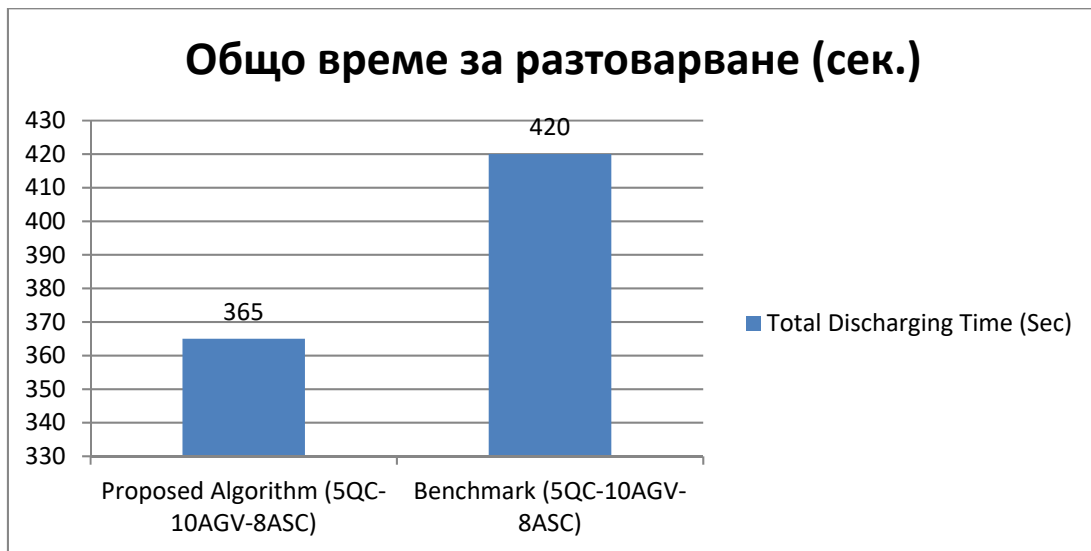
Първо бяха проведени сравнителни експерименти между предложения алгоритъм в тази статия и експеримента, посочен в литературата (Xin et al., 2015) и избран за еталон за сравнение.

Както е показано по-долу в Таблица 3.2, авторите на посочената референтна публикация (бенчмарк) са използвали първоначално 5 КК, 10 АУПС, 8 АКП и 40 контейнера и след това са намалявали броя на ресурсите, измервайки ефектите от това.

Таблица 3.2  
Симулационни конфигурации (Xin et al., 2015)

Вариант	Брой контейнери	Брой КК	Брой АУПС	Брой АКП
(5КК-10АУПС-8АКП)	40	5	10	8
(4КК-8АУПС-6АКП)	32	4	8	6
(3КК-6АУПС-5АКП)	24	3	6	5

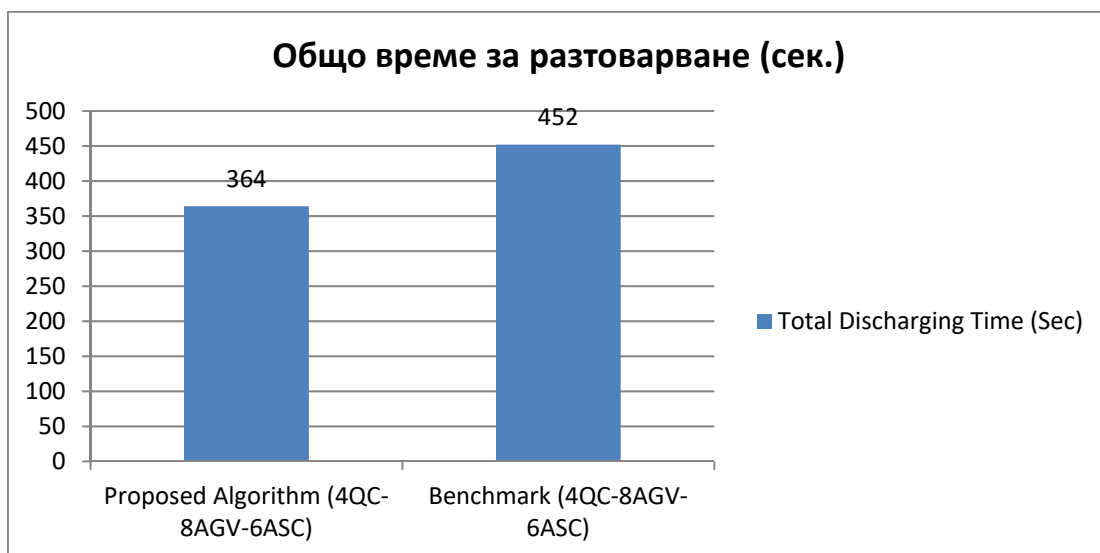
За да се направи сравнение с разработения в настоящия дисертационен модел, експериментът беше започнат със същите ограничения и брой ресурси, които използва бенчмаркът. В резултат на това беше проведен експеримент на предложения в дисертацията алгоритъм с използване на 5 КК, 10 АУПС и 8 АКП и както се вижда по-долу на фигура 3.27, беше постигнат **по-добър резултат** при общото време на разтоварване.



**Фиг. 3.27. Сравнение между общото време на разтоварване на предложениния алгоритъм и еталона за случая на [5КК-10АУПС-8АКП]**

Общото време за разтоварване при предложениния алгоритъм беше 365 секунди, което е по-малко от еталонния показател, който отбеляза 420 секунди. Този резултат показва 55 секунди или 13% разлика между предложениния алгоритъм и еталона, което доказва, че предложениният алгоритъм е по-ефективен.

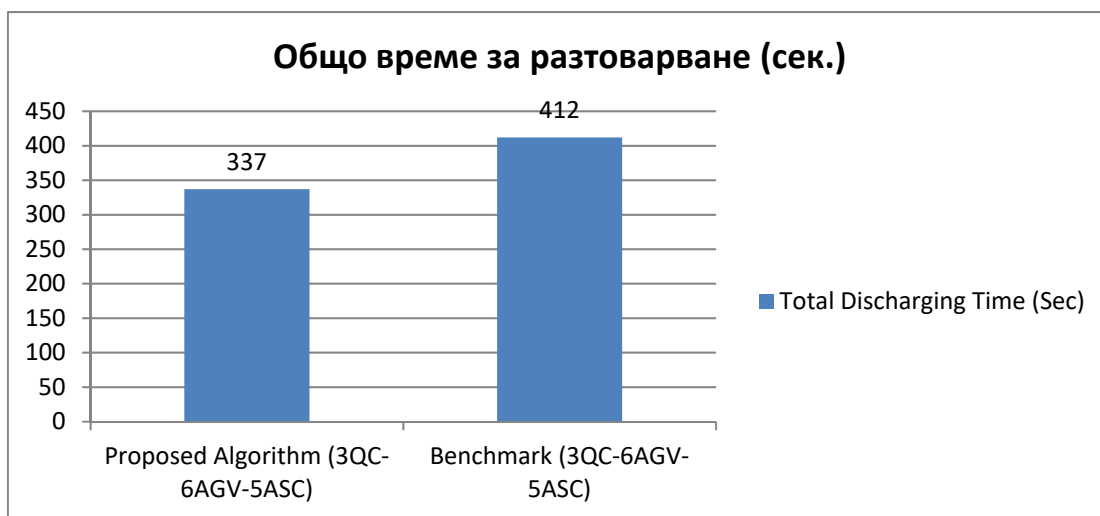
След това беше проведен друг експеримент за случая на 4 КК, 8 АУПС и 6 АКП. Както е показано по-долу на фиг. 3.28, предложениният алгоритъм отбеляза общо време за разтоварване от 364 секунди в сравнение с 452 секунди за еталона. Т.е. 88 секунди или 19,5% разлика между предложениния алгоритъм и еталона.



**Фиг. 3.28. Сравнение между общото време на разтоварване при предложениния алгоритъм и еталона за случая на [4КК-8АУПС-6АКП]**

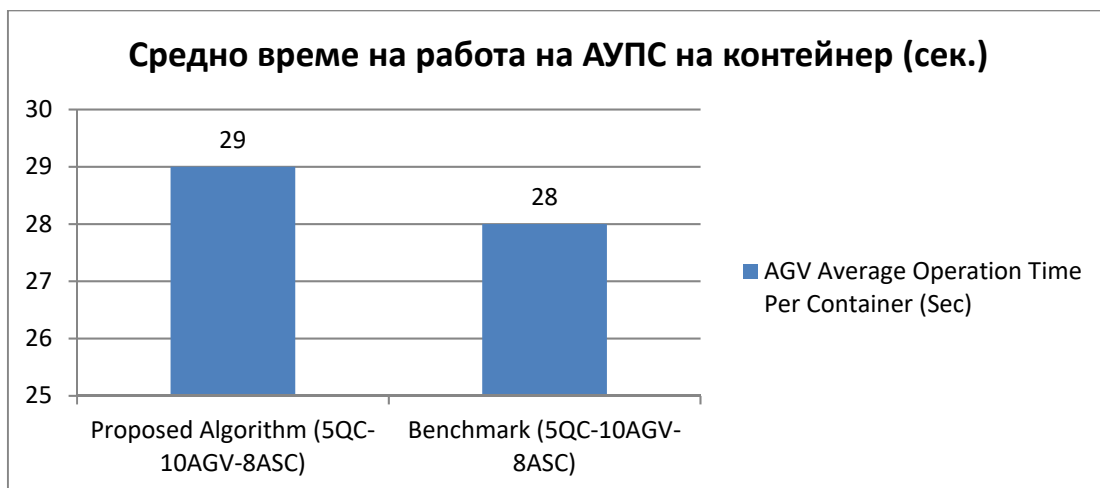
Третият сравнителен експеримент между предложениния алгоритъм и еталона беше проведен за случая на 3 КК, 6 АУПС и 5 АКП, както е показано на фиг. 3.29. Резултатът отново ясно показва предимството на предложениния алгоритъм, който отбеляза общо време за разтоварване от 337 секунди в сравнение с 412

секунди за еталона – 75 секунди или 18% разлика между предложениния алгоритъм и еталона. Това доказва комплексната ефективност (във всички тествани случаи) на предложениния алгоритъм по отношение на общото време на разтоварване, което е и основната цел на разработката и изследването.



**Фиг. 3.29. Сравнение между общото време на разтоварване при предложениния алгоритъм и еталона за случая на [ЗКК-6АУПС-5АКП]**

Въпреки това, еталонът отбелязва по-добър резултат за средното време на работа на АУПС в сравнение с предложениния алгоритъм. В случай на 5 КК, 10 АУПС и 8 АКР, предложеният алгоритъм отбелязва 29 секунди, а еталонът – 28 секунди за средното време на работа на АУПС (фиг. 3.30):



**Фиг. 3.30. Сравнение на резултатите за средното време на работа на АУПС при предложениния алгоритъм и еталона**

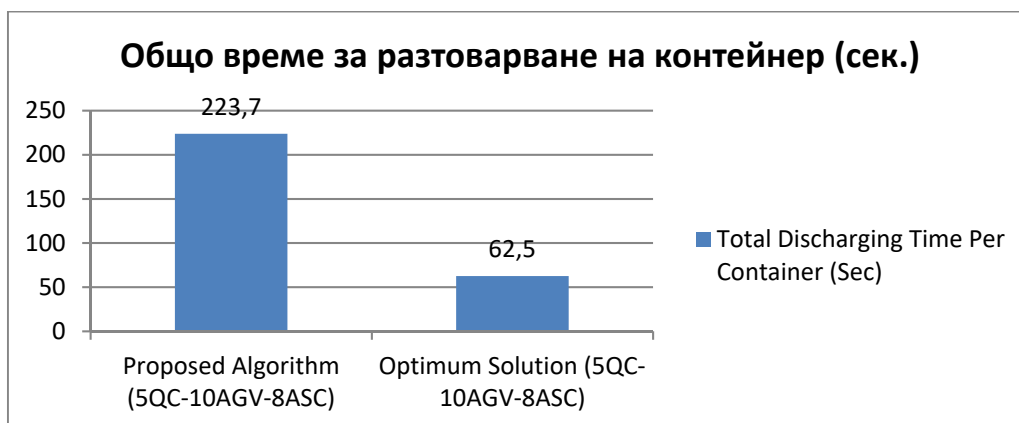
Това пренебрежимо малко увеличение (3,4%) на средното време на работа на АУПС на предложениния алгоритъм се дължи на допълнителната логика за избягване на сблъсък, която е приложена към предложениния алгоритъм. Тя е предназначена да осигури безпроблемно транспортиране без инциденти между АУПС, които използват общи пътеки и кръстовища по време на движение. В резултат на това обаче тази малка разлика във времето ще позволи на операция-

та да обработва повече контейнери паралелно, и същевременно с това да гарантира работа без сблъсък. Следователно това ще доведе до по-бързо общо време за разтоварване!

На следващо място беше проведен сравнителен експеримент между предложения алгоритъм и оптималното възможно решение като идеален сценарий.

*Оптималното решение е идеалната ситуация, при която имаме предположение за нулево време на изчакване за всеки контейнер и нулево време за изчакване при транспортиране.*

Както е показано по-долу във фиг. 3.31, общото време за разтоварване на контейнер за оптималното решение е 62,5 секунди в сравнение с 223,7 секунди за предложения алгоритъм. Т. е. има около 161 секунди разлика между предложения алгоритъм и оптималното решение и тази разлика е времето за изчакване на контейнера. В резултат на това, за да се постигне този оптимален резултат, не трябва да се разглеждат споделени ресурси в автоматизирания контейнерен терминал, което го прави много скъпо решение и води до много ниско използване на ресурсите.

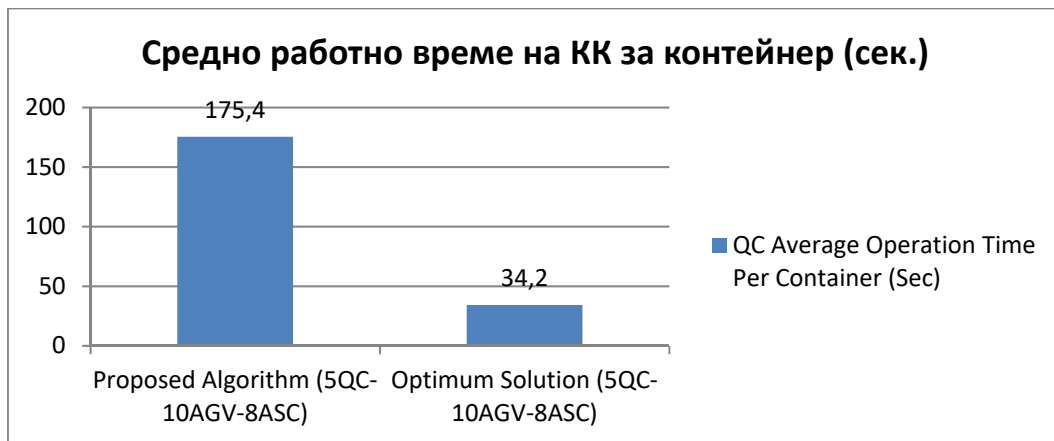


**Фиг. 3.31. Сравнение между общото време за разтоварване на контейнер при предложия алгоритъм и оптималното решение**

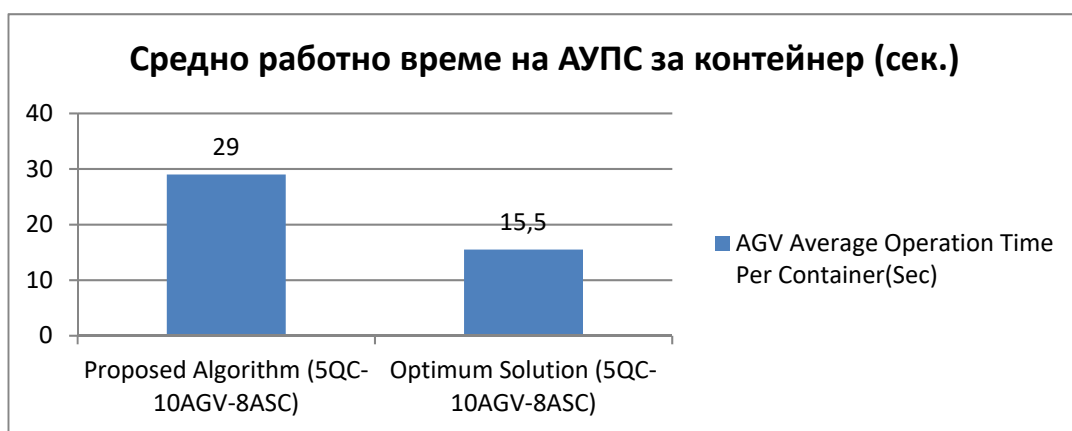
Освен това беше проведен подробен експеримент за сравнение между предложения алгоритъм и оптималното решение за всеки етап поотделно. Както е показано на фиг. 3.32, предложият алгоритъм отбеляза 175,4 секунди в етап КК (етап 1) в сравнение с 34,2 секунди за оптималното решение. И така, има около 141 секунди разлика между двете решения и тази разлика е времето за изчакване на контейнера в КК етапа.

Също така средното време на работа на АУПС за един контейнер за оптималното решение е 15,5 секунди, а това на предложият алгоритъм – 29, както е показано по-долу на фиг. 3.33. За даденото оптимално решение средното време на работа на АУПС се пресмята за еднопосочно пътуване, което означава, че този резултат е при предположението, че АУПС е готов на точката на товарене за всеки контейнер.



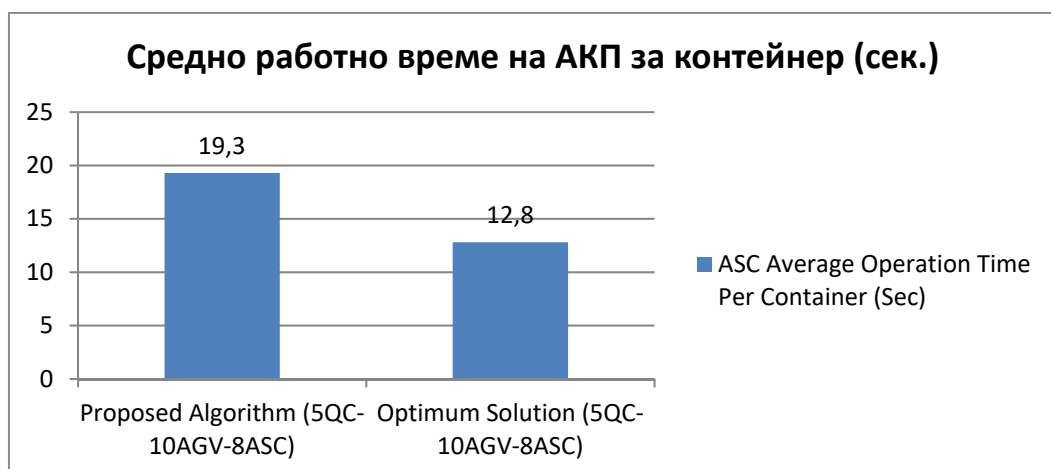


**Фиг. 3.32. Сравнение между средното време на работа на КК на контейнер при предложени алгоритъм и оптималното решение**



**Фиг. 3.33. Сравнение между средното време на работа на контейнер при предложени алгоритъм и оптималното решение за АУПС**

И накрая, резултатът от етап 3 показва, че предложеният алгоритъм постига 19,3 секунди средно време за работа на АКП на контейнер в сравнение с 12,8 секунди за оптималното решение, както е показано по-долу на фиг. 3.34. Следователно в етапа на АКП има време за изчакване на контейнера от 6,5 секунди.



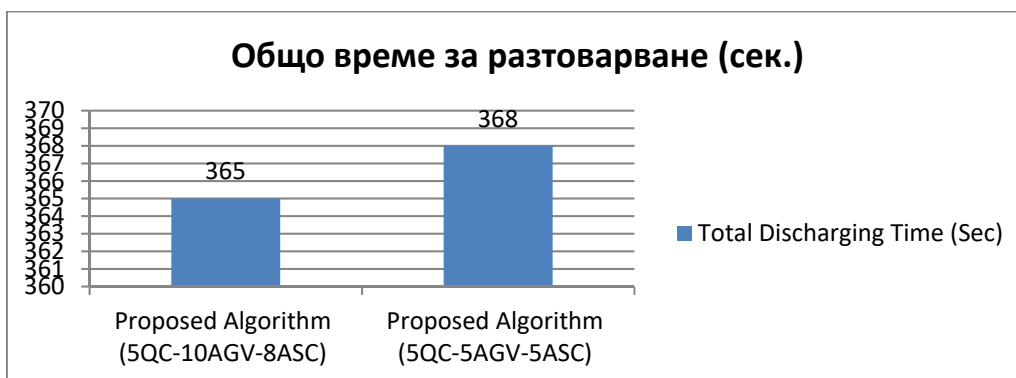
**Фиг. 3.34. Сравнение между средно време на работа на контейнер при предложени алгоритъм и оптималното решение за АКП**

На следващо място беше проведен друг експеримент за сравнение между предложения алгоритъм, използващ същите брой ресурси като еталона и предложия алгоритъм, използващ по-малко ресурси.

Предложеният алгоритъм за предварителни прегледи със същия брой ресурси като еталона, имаше 5 КК, 10 АУПС и 8 АКП. От друга страна, новият предложен алгоритъм има само 5 КК, 5 АУПС и 5 АКП.

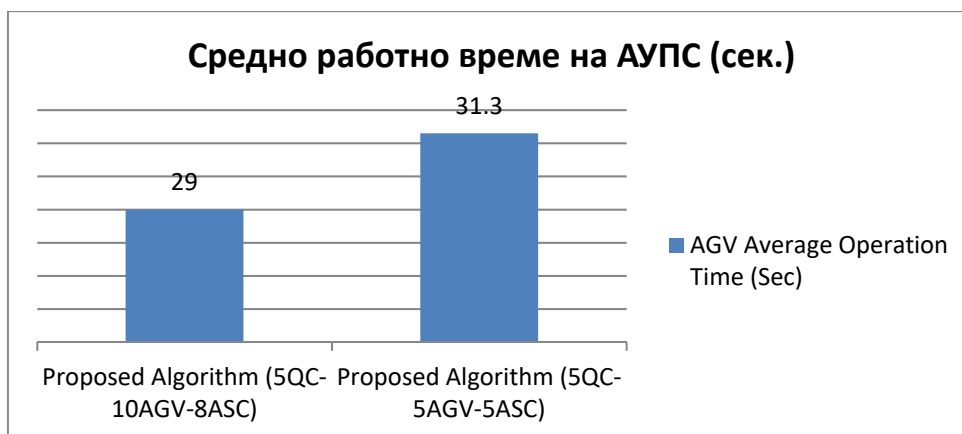
**Резултатите показаха много малка разлика в общото време на разтоварване между двата начина!**

Както е показано на фиг. 3.35, този с по-малко ресурси завърши разтоварването за 368 секунди, а другият – за 365, което означава, че разликата е само 3 секунди. В резултат на това разликата между двата начина е много малка и дори с 3-те допълнителни секунди, общото му време за разтоварване все още е далеч по-ниско от това на еталона, което е 420 секунди! Следователно, настоящият предложен алгоритъм с новата конфигурация ще спести 5 допълнителни АУПС и 3 допълнителни АКП, като запази чувствително по-добро общо време за разтоварване в сравнение с еталона!



**Фиг. 3.35. Сравнение между общото време на разтоварване при [5КК-10АУПС-8АКП] и [5КК-5АУПС-5АКП] на предложия алгоритъм**

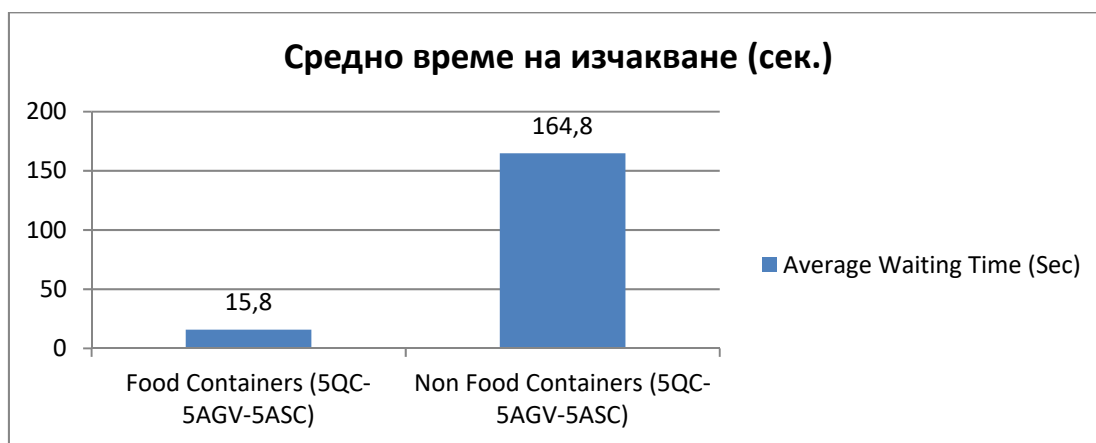
Резултатът за средното време на работа на АУПС обаче беше с 2,3 секунди повече при предложия алгоритъм с по-малко ресурси (фиг. 3.36):



**Фиг. 3.36. Сравнение между средното време на работа на АУПС при [5КК-10АУПС-8АКП] и [5КК-5АУПС-5АКП]**

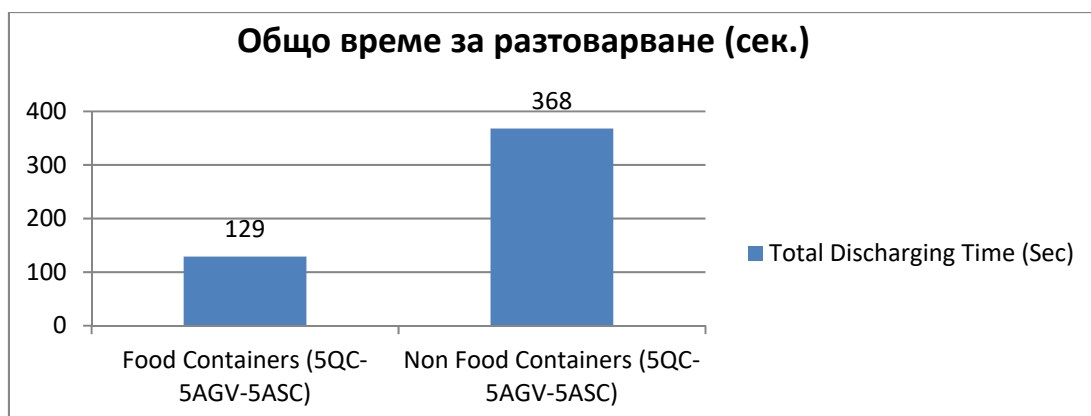
Това малко увеличение на средното време на работа на АУПС се дължи на по-малкия наличен брой АУПС, които се обслужват в автоматизирания контейнерен терминал. Когато има по-малък брой на АУПС, времето за отговор на избрания АУПС ще се увеличи поради по-малката способност за покриване на цялата площ на терминала.

На трето място беше проведен допълнителен експеримент, за да се види как предложеният алгоритъм намалява времето за изчакване за контейнер за храна и му дава приоритет в автоматизирания терминал за контейнери. Този приоритет на контейнерите за храна ще избегне загубите на храна, причинени от подългото време за изчакване. Както е показано по-долу на фиг. 3.37, средното време на изчакване за контейнер за храна е 15,8 секунди в сравнение със 164,8 секунди за контейнер за нехранителни стоки. Този експеримент е проведен с помощта на 10 контейнера за храна и 30 контейнера за нехранителни продукти и от резултатите става ясно, че предложеният алгоритъм намалява средното време за изчакване на контейнери за храна до повече от 10 пъти по-ниско ниво!



**Фиг. 3.37. Ефект от даването на приоритет на контейнерите за храна по отношение на средното им време за изчакване**

Освен това резултатите показват сравнително ниско общо време за разтоварване на контейнерите за хранителни стоки в сравнение с контейнерите за нехранителни стоки.



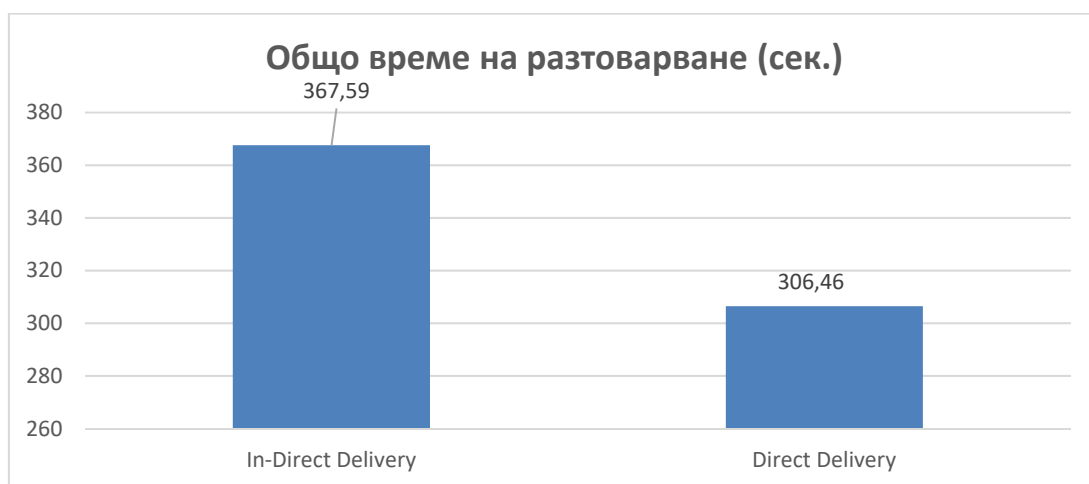
**Фиг. 3.38. Сравнение между общото време на разтоварване на контейнерите за хранителни и нехранителни контейнери**

Контейнерите с храна успяват да завършат операцията по разтоварване само след 129 секунди в сравнение с контейнерите за нехранителни стоки, които завършват операцията по разтоварване след 368 секунди, както е показано по-горе на фиг. 3.38. Тези резултати доказват способността на алгоритъма да дава приоритет на контейнерите за храна и да осигурява те да бъдат разтоварвани възможно най-бързо.

По този начин е проведен важен експеримент за използване на концепцията за директна доставка и интелигентна технология за намаляване на времето за изчакване на камиони и намаляване на складовото пространство в контейнерния двор. Директната доставка е процесът на разтоварване на товара от кораба директно към товарните камиони. Този процес е много сложен и се нуждае от координация в реално време, за да се постигне гладкост при изпълнението му.

Неправилната координация може да причини забавяне на разтоварването или допълнително време за изчакване на камионите. При този процес позицията на товара трябва да бъде идентифицирана много точно в карго-плана и приемникът на товара трябва да подреди своите камиони в точното време и последователност. В случай, че товарополучателят не е подредил камионите, разтоварването на кораба ще се забави, както и цялостната експлоатация на кораба. От друга страна, ако получателят на товара подреди своите камиони по-рано от действителното време за разтоварване на своя товар с директна доставка, времето за изчакване на камионите ще се увеличи и получателят на товара ще плати повече такси за задържане на транспортната компания.

Такъв сложен процес може да бъде решен с помощта на IoT чрез координация в реално време между КК и камионите на товарополучателите, без увеличаване на общото време за разтоварване и увеличаване на времето за изчакване на камионите. Както е показано на фиг. 3.39 по-долу, при проведения експеримент за сравняване на операцията по разтоварване, използвайки непряка доставка и директна доставка на операцията за разтоварване на контейнери, общото време за разтоварване на индиректната доставка е 367,59 секунди в сравнение със само 306,46 секунди за директна доставка.



**Фиг. 3.39. Сравнение индиректна – директна доставка**

В резултат на това алгоритъмът постига ефективна директна доставка без никакво увеличение на общото време на разтоварване, а дори е постигнато леко намаление.

Използването на IoT при операцията за разтоварване с директна доставка намалява запасите от контейнери в двора на терминала и приближаването до пълната директна доставка може дори да постигне „нулев размер“ на запасите от контейнери в автоматизирания контейнерен терминал.

В допълнение, директната доставка чрез IoT може да намалят драстично таксите за обработка на терминала. Те зависят директно от ресурсите, използвани на контейнерния терминал за обработка на контейнера. В случай на директна доставка, контейнерът ще бъде разтоварен в товароприемния камион и ще бъде избегнато използването на АУПС, АКП или какъвто и да е друг ресурс на площадката за контейнерите. В резултат на това алгоритъмът с използването на IoT намалява драстично таксите за обработка на терминала.

Накрая беше проведен експеримент, за да се види ефектът от увеличаване на броя обработени контейнери върху общото време за разтоварване с помощта на предложения алгоритъм в случай на 5 КК, 5 АУПС и 5 АКП. Както е показано по-долу в Таблица 3.3, общото време за разтоварване се е увеличило от 368 на 804,7 секунди, когато броят на контейнерите е увеличен от 40 на 100. След това се прилага стъпково увеличение от по100 контейнера, започвайки от 100 до 1000 контейнера.

Таблица 3.3

Общо време за разтоварване в зависимост от броя контейнери

Брой контейнери	Общо време за разтоварване (сек.)
40	368
100	804.7
200	1578.3
300	2313.5
400	2986.4
500	3730.4
600	4430.4
700	5132.8
800	5856.1
900	6583.6
1000	7288.5

С тези данни може да бъде пресметнато, че увеличаването на общото време за разтоварване в зависимост от увеличаването на броя на контейнерите може да се изрази с помощта на функцията  $y = 7,1871 x + 114,2$ , където „x“ е броят на контейнерите, а „y“ е общото време за разтоварване (фиг. 3.40):



**Фиг. 3.40. Графика на линейната функция  $y=7,1871x + 114,2$ , показваща зависимостта между промяната в броя контейнери и промяната в общото време на разтоварване**

Оттук следва, че можем да намерим резултата за общото време за разтоварване, ако са обработвани например 1000 контейнера:

$$y = 7,1871 \cdot 1000 + 114,2 = 7301,3 \text{ сек.}$$

Тоест около 7301,3 секунди или 2,03 часа ще са необходими, за да бъдат разтоварени 1000 контейнера в автоматизирания контейнерен терминал, като се използва алгоритъмът, предложен в настоящия дисертационен труд.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Настоящият дисертационен изследва трите етапа на работа в автоматизирания контейнерен терминал и предлага подход и модел за повишаване на неговата ефективност. Целта на предложения алгоритъм е да се намали общото време за разтоварване на съда и да се намалят терминалните такси за обработка.

В допълнение, концепцията „Интернет на нещата“ (Internet of Things – IoT) беше използвана за осъществяване на комуникацията от превозно средство към превозно средство и от превозно средство към инфраструктурата, за да се постигне плавно движение на контейнерните камиони. IoT помогна да се управлява увеличението на трафика и разнообразието на движенията, причинени от увеличаването на скоростта на разтоварване. В резултат на това предложеният алгоритъм увеличи скоростта на разтоварване а IoT беше интелигентният инструмент за осигуряване на гладък трафик в автоматизирания контейнерен терминал.

За да се тества ефективността на предложения модел и алгоритъм, бяха проведени експерименти с помощта на софтуера за симулация на „Arena“, който доказва намаляването на общото време на разтоварване в сравнение с резултатите от сравнителния тест във всички тествани случаи и намалява таксите за обработка на терминала. Освен това предложеният алгоритъм доказва, че може да се работи с по-малко ресурси от еталона и да се постигнат по-добри резултати.

Бяха проведени допълнителни експерименти, за да се осигури по-малко време за изчакване за контейнерите с хранителни продукти, за да се избегне загубата на хранителни продукти, причинена от дълго време на изчакване. Също така беше проведен експеримент за използване на директна доставка с цел намаляване на таксите за обработка на терминала, без да се увеличава общото време за разтоварване.

В резултат на това ефективността на предложения алгоритъм беше тествана с различни експерименти и той показва способността си да постигне целта на настоящия дисертационен труд, а именно:

***Чрез използване на „Интернет на нещата“ (IoT) и комуникационните технологии от превозно средство до превозно средство в автоматизирани управляеми превозни средства (АУПС) да се разработи модел за повишаване ефективността на трафика чрез намаляване на времето за разтоварване на корабите в автоматизирания контейнерен терминал.***

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

---

### Научно-приложни приноси:

1. Направено е задълбочено проучване и анализ на различните видове операции, осъществявани в пристанищните контейнерни терминали и методите за повишаване ефективността на диспечерската дейност за автоматизирани-те управляеми превозни средства (АУПС), както и за избягването на сблъсквания на превозни средства;
2. Въз основа на проучването на голям брой литературни източници е направен критичен анализ на използването на „Интернет на нещата“ (Internet of Things – IoT) в логистичния сектор, отчитайки малкото и/или липсващи разработки в тази област относно пристанищните контейнерни терминали;
3. На базата на анализа на трите етапа на операциите в автоматизираните контейнерни терминали е формулирана рамка за и е разработен оригинален Методически подход за намаляване на времето за разтоварване на плавателния съд и намаляване на таксите за обработка в автоматизирания контейнерен терминал;
4. В продължение на предложението Методически подход е разработен Модел с алгоритъм за повишаване ефективността на функционирането на пристанищните контейнерни терминали при комуникациите от превозно средство към превозно средство и от превозно средство към инфраструктурата и намаляване на времето за разтоварване на плавателния съд, както и на таксите за обработка, като се използват и предимствата на IoT;

### Приложни приноси:

5. Апробиран е методическият инструментариум чрез симулация с помощта на широко разпространения в тази област софтуер „Arena”. Като еталон за сравнение (бенчмарк) е използван моделът, предложен в публикацията [Xin, J., Negenborn, R., Corman, F., & Lodewijks, G. (2015). *Control of Interacting Machines in Automated Container Terminals Using a Sequential Planning Approach for Collision Avoidance. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 377-396*]. Експериментът показва:
  - 5.1. Намаляването на общото време на разтоварване в сравнение с резултатите на еталона във всички тествани случаи, както и намаляването на таксите за обработка на терминала;
  - 5.2. Предложението алгоритъм може да работи с по-малко ресурси от еталона и същевременно да постигне по-добри резултати;
6. Проведени бяха експерименти за осигуряване на по-малко време за изчакване при контейнерите за хранителни продукти, за да се избегне загубата на храна, причинена от разваляне на продуктите;
7. Апробирането на възможностите за директна доставка с цел намаляване на таксите за обработка на терминала, показва, че с прилагане предимствата на IoT се постига повишаване ефективността на автоматизирания контейнерен терминал, без да се увеличава общото време за разтоварване.



## **СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

- 1) Andreev, O., Al Carmadi, K. (2022). Investigating Operations and Food Priority at Automated Container Terminal, XX Jubilee International Scientific Conference “Management and Engineering ‘22”, ISSN 1314-6327, под печат;
- 2) Al Carmadi, K., Andreev, O. (2022). Smart Traffic Management at Automated Container Terminal, XIV International Scientific Conference “E-Governance and E-Communications”, ISSN 1313-8774, под печат;
- 3) Al Carmadi, K., Andreev, O. (2022). Increasing Efficiency of Direct Delivery at Automated Container Terminal, XIV International Scientific Conference “E-Governance and E-Communications”, ISSN 1313-8774 , под печат;
- 4) Al Carmadi, K. (2022). Vehicle-to-Vehicle Communication at Automated Container Terminal. Механика Транспорт Комуникации, бр. 2/2022, ВТУ „Т. Каблешков“ ISSN 1312-3823 (print) ISSN 2367-6620 (online), под печат.

## SUMMARY

---

### APPROACH AND METHODOLOGY FOR SMART MANAGEMENT OF LOGISTICS OPERATIONS IN AUTOMATED PORT TERMINAL

*Author: Khaldon Khaled Al-Karmadi*

The current dissertation examines the three stages of operations in the automated container terminals and proposes an approach and model for increasing their efficiency.

The purpose of the proposed algorithm is to reduce the total vessel unloading time and reduce the terminal handling charges. In addition, the Internet of Things (IoT) was used to implement vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication to achieve smooth movement of container trucks.

IoT has helped also manage the increase in traffic and in variety of movements caused by the increase in unloading speeds. As a result, the proposed algorithm increased the unloading speed and IoT was the smart tool to ensure smooth traffic in the automated container terminal.

In order to test the effectiveness of the proposed model and algorithm, experiments were conducted using the **Arena** simulation software to compare the proposed model to one published in the article [*Xin, J., Negenborn, R., Corman, F., & Lodewijks, G. (2015). Control of Interacting Machines in Automated Container Terminals Using a Sequential Planning Approach for Collision Avoidance. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 377-396*].

The simulation results proved the reduction of the total unloading time compared to the benchmark in all tested cases, as well as the reduction of terminal handling fees.

In addition, the proposed algorithm proved that it can work with fewer resources than the benchmark and achieve better results.

Additional experiments were conducted to ensure less waiting time for the food containers to avoid the loss of food products caused by long waiting time.

An experiment was also conducted to use direct delivery in order to reduce terminal handling charges without increasing total unloading time.

In brief, the effectiveness of the proposed algorithm was tested with various experiments and it showed its ability to achieve the main objective of the present dissertation, namely:

***By using the Internet of Things (IoT) and vehicle-to-vehicle communication technologies in automated guided vehicles (AGVs), develop a model for increasing traffic efficiency by reducing the time for unloading ships in the automated container terminal.***