

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_ Магістерської та  
аспірантської підготовки

Кафедра інформаційних технологій

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: Імітаційне моделювання роботи морського  
перевантажувального терміналу Одеського припортового заводу

Виконав студент 2 року групи МК- 61  
спеціальності 122 – комп'ютерні  
науки  
Виходцевський Данііл Богданович

Керівник к. т. н., доцент  
Великодний Станіслав Сергійович

Консультант \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Рецензент к. ф.-м. н., доцент  
Буяджи Василь Володимирович

Одеса 2018

## РЕФЕРАТ

Імітаційне моделювання роботи морського перевантажувального терміналу Одеського припортового заводу. Виходцевський Д. Б.

В останні роки ефективним інструментом керування і планування, засобом експертного аналізу ситуації стають пакети прикладних комп'ютерних програм класу систем ситуаційного моделювання. Незважаючи на складність внутрішньої побудови моделей, завдяки їх формальній структурі вдалося досягти того, що побудова моделей та аналіз результатів моделювання здійснюється у формі, прийнятній для інженерних працівників морського порту.

Метою магістерської роботи є проектування імітаційної моделі роботи Одеського припортового заводу.

Об'єктом дослідження є управління цехом перевантаження карбаміду на ОПЗ. Предметом дослідження є здійснення транспорту продукції за оптимальним планом, тобто з мінімальними витратами коштів.

В магістерській роботі розглянуті такі методи вирішення транспортної задачі: ситуаційне моделювання, метод Гауса, метод прогонки.

Перший розділ – аналіз вирішення транспортної задачі за допомогою імітаційного моделювання; другий – складання UML моделей стосовно ОПЗ; третій – програмна реалізація імітаційної моделі морського терміналу; четвертий – результати імітаційного моделювання та їх аналіз; п'ятий – охорона праці працівників ОПЗ; шостий – захист робочих та службовців комплексу утилізації від дій аміаку у разі аварії на ОПЗ; сьомий-економічне обґрунтування.

Для роз'яснення конкретної задачі були побудовані UML діаграми. У результаті побудови UML моделей були чітко показані усі шляхи транспортування продукції ОПЗ. Після того було розроблено загальну алгоритмічну імітаційну модель. Імітаційна модель була реалізована засобами GPSS, складено загальний алгоритм функціонування моделі, а вже виходячи з цього алгоритму було створено програмний код. Також у роботі присутні графіки роботи ОПЗ. Робота розробника дає значний шанс підприємству бути більш конкурентоспроможним.

Структура і обсяг роботи: 82 сторінки, 19 рисунків, перелік посилань з 28 джерел.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, СИТУАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, UML-ДІАГРАМИ, ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ, СТАТИСТИЧНИЙ РЕЗУЛЬТАТ, ЗВІТ МОДЕЛІ, ГІСТОГРАМА.

## SUMMARY

Imitation modeling of the sea transshipment terminal of the Odessa port plant. Vykhodtsevskiy D. B.

In recent years, an effective tool for managing and planning, according to the expert analysis of the situation are packets of applied computer programs class system of situational modeling. Despite the complexity of the internal design of the models, due to their formal structure, it was possible to achieve that the construction of models and the analysis of the results of the simulation is carried out in a form acceptable to the engineers of the seaport.

The aim of the master's thesis is to design the simulation model of the Odessa Port Plant.

The object of the study is the management of the overload carbamide workshop on IPF. The subject of the study is the transport of products under the optimal plan, that is, with a minimum cost of money.

In the master's work the following methods of solving transport problems are considered: situational modeling, Gauss method, method of running.

The first section – analysis of the solution of transport problems using simulation modeling; the second is the compilation of UML models IPOs; the third – the program realization of the simulation model of the maritime terminal; the fourth – the results of simulation and their analysis; the fifth – the labor protection of employees of IPF; the sixth is the protection of the workers and employees of the ammonia recycling complex in the event of an accident at the IPF; seventh economic justification.

To clarify a specific task, UML diagrams were constructed. As a result of constructing UML models, all ways of transporting OPP products were clearly displayed. After that, a general algorithmic simulation model was developed. The simulation model was implemented by means of GPSS, the general algorithm of model functioning was compiled, and based on this algorithm the software code was created. Also, in the work there are schedules of work of OPZ. The work of the developer gives a significant chance for the enterprise to be more competitive.

Structure and scope of work: 82 pages, 19 figures, list of references from 28 sources.

IMITATION MODEL, SITUATION MODELING, UML-DIAGRAMS, SOFTWARE REALIZATION, STATISTICAL RESULT, MODEL REPORT, HISTOGRAM.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП .....	9
1 АНАЛІЗ ВИРІШЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	11
1.1 Ознайомлення з терміналом ОПЗ.....	11
1.2 Найбільш популярні пакети імітаційного моделювання та методи вирішення задачі транспортування .....	15
1.2.1 Метод Гауса .....	17
1.2.2 Метод прогонки.....	18
1.2.3 Ситуаційне моделювання.....	20
2 СКЛАДАННЯ UML-АРХІТЕКТУРИ МОДЕЛЕЙ СТОСОВНО ОПЗ .....	21
2.1 Проектування діаграми варіантів використання .....	21
2.2 Проектування діаграми розміщення .....	27
2.3 Проектування діаграми послідовності.....	29
2.4 Проектування кооперативної діаграми.....	31
2.5 Проектування діаграми класів .....	33
2.6 Проектування діаграми станів .....	35
2.7 Висновки за розділом .....	39
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МОРСЬКОГО ТЕРМІНАЛУ ОПЗ.....	40
3.1 Складання загального алгоритму імітаційної моделі .....	40
3.2 Складання GPSS-коду імітаційної моделі.....	42
3.3 Запуск процесу моделювання .....	53
4 РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	54
4.1 Статистичні результати імітаційної моделі ОПЗ.....	54
4.2 Графічні результати моделювання.....	57
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70
ДОДАТОК А. Приклад оформлення основних фрагментів тексту програми GPSS .....	73
ДОДАТОК Б. Розраховані чисельні дані за результатами імітаційного моделювання роботи морського терміналу одеського проіпортового заводу.....	77

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВ – автонавантажувач, що здійснює навантаження готової продукції на автомашини дрібними партіями;

ВАТ – відкрите акціонерне товариство;

ДАІМ – діаграма алгоритму імітаційної моделі;

ДА – діаграма активності;

ДВВ – діаграма варіантів використання шляхів збуту хімічної продукції;

ДК – діаграма класів транспорту карбаміду;

ДП – діаграма послідовності прибування кораблів до причалів;

ДР – діаграма розміщення хімічної продукції;

ДС – діаграма станів морського терміналу;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

КД – кооперативна діаграма, сформована для визначення топології та пікове завантаження кожного об'єкту;

ОПЗ – Одеський припортовий завод;

ОС – операційна система;

ПВВ – пункт вивантаження вагонів;

СВ1 – судовонтажник № 1;

СВ2 – судовонтажник № 2;

СВ3 – судовонтажник № 3;

СКЛ1 – склад № 1;

СКЛ2 – склад № 2;

СЛАР – система з  $n$  лінійних алгебраїчних рівнянь;

СЧА – стандартні числові атрибути;

США – Сполучені Штати Америки;

ЦВК1 – цех виробництва карбаміду № 1;

ЦВК2 – цех виробництва карбаміду № 2;

ЦЗ – цех затарювання сировини в поліетиленові мішки;

«/» – дія позначається у синтаксисі переходу, яка позначає відповідне переміщення або іншу діяльність;

«^» – мета, тобто об'єкт, на який в кінцевому випадку направлена поведінка станів;

«Н» – використання опції «історія стану»;

GPSS (General Purpose System Simulation) – загальноцільова система моделювання;

SOLAE – System Of Linear Algebraic Equations;

UML (Unified Modeling Language) – мова, призначена для візуалізації, специфікації, конструювання й документування програмних систем.

## ВСТУП

В останні роки ефективним інструментом керування і планування, засобом експертного аналізу ситуації стають пакети прикладних комп'ютерних програм класу систем ситуаційного моделювання. Інструмент, що представляється, є унікальним засобом імітаційного моделювання виробничих і фінансових процесів. Він дозволяє досить точно й однозначно описати модульований об'єкт, якщо відомі його структурні елементи і взаємозв'язки між ними.

В роботі присутня наукова новизна та використане сучасне імітаційне моделювання. Розроблено методичне забезпечення ефективності транспортування продукції та ефективності роботи об'єктів морського транспорту, врахувавши особливості їх функціонування та часу на перевезення товару. Новаторським в методі ситуації також є поєднання показників безпеки руху та економічних показників, що дає можливість сприяти підвищенню продуктивності та фінансового росту ОПЗ.

Морський транспорт є однією з базових галузей економіки України. Незважаючи на те, що окремі його об'єкти розташовані на значних відстанях, досягнення конкурентоспроможних позицій морського транспорту на ринку перевезень можливо лише при системному підході до розвитку інфраструктури та організації роботи всього морського комплексу.

При вирішенні таких задач особливу актуальність набувають питання імітаційного планування та управління оцінки роботи морського транспорту, а також питання розподілу ресурсів, технічного обслуговування, та вибору маршруту. У зв'язку з цим представлена робота є актуальною.

Необхідно відмітити практичну спрямованість досліджень. Незважаючи на складність внутрішньої побудови моделей, завдяки їх формальній структурі вдалося досягти того, що побудова моделей та аналіз результатів моделювання здійснюється у формі, прийнятній для інженерних працівників морського порту.

Проведені дослідження мають значне наукове значення, доведені до практичної реалізації, широко використовувались на економічному ринку. Портові причали являються складними системами в яких одночасно взаємодіє велика кількість об'єктів, при цьому для кожного з таких об'єктів характерна складна технологія. Адекватне моделювання транспортних систем практично можливе лише шляхом імітації на ЕОМ. В той же час і сама побудова імітаційної моделі роботи морського перевантажувального терміналу

ОПЗ є складною задачею і вимагає уважної розробки програми, зауважуючи кожну деталь.

Метою магістерської роботи є проектування імітаційної моделі роботи Одеського припортового заводу з урахуванням таких умов:

- об'єктом управління є цех перевантаження карбаміду на ОПЗ;
- транспорт продукції здійснюється по оптимальному плану, тобто з мінімальними витратами коштів.

Транспортні задачі розглядаються за двома критеріями: за критерієм «часу» і за критерієм «вартості».

Об'єктом дослідження є імітаційна модель транспорту карбаміду на Одеському припортовому заводі.

Імітаційне моделювання – це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю, що з достатньою точністю описує реальну систему, з нею проводяться експерименти з метою одержання інформації про цю систему.

Предметом дослідження є робота ОПЗ, тобто розповсюдження хімічної продукції по Україні та за кордоном, виконуючи усі необхідні умови для цього та обмеження.

Методи дослідження. В магістерській роботі розглянуті такі методи вирішення транспортної задачі: ситуаційне моделювання, метод Гауса, метод прогонки, що використовується в задачах з діагональними матрицями. З перерахованих методів, метод ситуаційного моделювання найбільш підходить для досягнення поставленої мети в моєї магістерській роботі. Саме ситуаційному моделюванню належить здатність більш спрощено та швидко вирішити транспортну задачу на підприємстві.



# 1 АНАЛІЗ ВИРІШЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

## 1.1 Ознайомлення з терміналом ОПЗ

Будівництво ВАТ «Одеський припортовий завод» (ОПЗ) почалося у 1975р., а свою продукцію завод випускає з 1978 року. Основним призначенням підприємства є виробництво аміаку, карбаміду та іншої хімічної продукції. Завод також приймає і перевантажує в морські судна на експорт продукцію інших підприємств України і Росії: аміак, карбамід, метанол і рідкі комплексні азотні добрива. Хімічна продукція від інших підприємств на перевантажувальні комплекси заводу надходить по залізниці і по аміакопроводу Тол'ятті-Горлівка-Одеса довжиною 2417 км. До складу Одеського припортового заводу входить:

- два агрегати з виробництва аміаку початковій проектною потужністю 450 тис. тон на рік кожен;
- два агрегати з виробництва карбаміду початковій проектною потужністю 330 тис. тон на рік кожен;
- комплекс з перевантаження аміаку потужністю 4,3 млн. тон на рік, зі складом на 120 тис. тон;
- комплекс з перевантаження карбаміду потужністю до 5 млн. тон на рік, зі складом на 80 тис. тон;
- комплекс з перевантаження метанолу потужністю 1 млн. тон на рік, зі складом на 48 тис. тон;
- комплекс з перевантаження рідких азотних добрив потужністю 500 тис. тонн на рік, зі складом на 36 тис. тон;
- інші підрозділи.

Загальна площа території заводу становить близько 250 га. Продукція заводу має попит на внутрішньому ринку, але основна її частина – близько 85%, експортується більш ніж в 30 країн світу. У результаті системної модернізації технологічного обладнання та вдосконалення технологічних процесів, впровадження нової техніки, проведення енергозберігаючих заходів, вдосконалення автоматичних систем контролю і управління технологічними процесами, сучасного рівня технічного обслуговування і високої підготовки персоналу, постійного пошуку зниження собівартості шляхом збільшення загальної ефективності роботи підприємства, завод працює з продуктивністю перевищує проектні потужності.

Завантаження виробничих потужностей з виробництва аміаку становить 125%, а з виробництва карбаміду – 127%. Два агрегату початкової проектною річною потужністю 900 000 тонн рідкого аміаку в даний час виробляють понад 1 мільйона тонн аміаку. А два агрегати з виробництва карбаміду, початкові проектні показники яких становили 660 000 тонн в рік, виробляють понад 800 000 тонн карбаміду.

На заводі проводиться багато заходів спрямованих на енергозбереження. В результаті чого зростання обсягів виробництва супроводжується також зниженням споживання енергоресурсів у розрахунку на одиницю продукції. На сьогоднішній день на Одеському припортовому заводі найнижчі питомі витрати природного газу серед хімічних підприємств України. Роботи з реконструкції і модернізації виробництва проводяться у співпраці з компаніями багатьох країн (Франція, Німеччина, Італія, США, Данія та ін.).

Припортовий завод є членом Міжнародної асоціації виробників добрив, активно співпрацює з її членами. Соціальна програма має дуже важливе значення для припортового заводу і є невід'ємною частиною від виробництва. На ОПЗ створена комплексна виробничо-соціальна система для роботи і життя працівників заводу, яка включає в себе: високоавтоматизоване виробництво з хорошими умовами праці та побуту; можливості для культурного розвитку, повноцінного відпочинку, занять спортом, лікування; здійснення доплати пенсіонерам заводу, багатодітним сім'ям, інвалідам, матерям одиначкам; вирішення житлових питань працівників підприємства; і багато іншого.

Постійне і стабільне зростання показників роботи Одеського припортового заводу є, перш за все, результатом впровадження в життя довгострокової програми соціально-економічного розвитку підприємства.

Виробничі потужності Одеського припортового заводу дозволяють випускати продукцію високої якості. Вона йде на експорт і на потреби галузей України. Стабільно гарантована якість забезпечується злагодженою роботою високопрофесійних фахівців виробничих цехів та відділу технічного контролю.

Компанія безпосередньо виробляє: гази промислові прості, азот, гази промислові складні, сульфідні і сульфати металів, кислота азотна та аміак, аміак безводний, добрива азотні.

ОПЗ виконує наступні види економічної діяльності:

- промисловість;
- переробна промисловість;
- хімічна і нафтохімічна промисловість;

- хімічне виробництво;
- виробництво основної хімічної продукції;
- виробництво добрив та азотних сполук;
- діяльність готелів та ресторанів;
- діяльність транспорту та зв'язку;
- додаткові транспортні послуги та допоміжні операції;
- транспортне оброблення вантажів;
- складське господарство;
- надання комунальних та індивідуальних послуг;
- діяльність у сфері культури та спорту, відпочинку та розваг.

Компанія експортує товари в наступні країни: Аргентина, Бразилія, Болгарія, Канада, Франція, Індія, Ізраїль, Італія, Йорданія, Кенія, Південна Корея, Мексика, Марокко, Мозамбік, Нідерланди, Нігерія, Норвегія, Пакистан, Перу, Румунія, Сенегал, В'єтнам, Іспанія, Сірія, Туніс, Туреччина, Танзанія, Сполучені Штати.

Компанія імпортує товари з наступних країн: Австрія, Чехія, Данія, Франція, Німеччина, Угорщина, Італія, Литва, Польща, Росія, Швейцарія, Сполучені Штати.

Перевантаження карбаміду. Комплекс дозволяє приймати карбамід власного виробництва і від сторонніх постачальників у спеціальних вагонах-мінераловозах. На станції вивантаження вагонів може розвантажуватися до 300 вагонів на добу. За стрічковими транспортерами карбамід вивантажується на склади (два по 40 тис. тон) або навантаження здійснюється безпосередньо на морські судна. На причалах розташовані три судно навантажувача сучасної конструкції, які дозволяють вантажити карбамід зі швидкістю до 2 тис. тон на годину. Суднонавантажувачі і всі транспортні лінії мають ефективні електронні системи управління, забезпечені пристроями пилопридушення, які дозволяють мінімізувати виділення пилу, що утворюється в процесі навантаження карбаміду. Можливості комплексу з відвантаження становлять до 5 млн. тон на рік.

Одеський державний припортовий завод входить до складу підприємств, які очолює Міністерство промислової політики України. ОПЗ – це підприємство, яке здійснює виробництво та транспорт карбаміду. Основне призначення заводу – здійснення виробництва, зберігання та експорту власної хімічної продукції та перевантаження хімічної продукції інших підприємств.

Транспорт карбаміду виробляється цехом перевантаження карбаміду, який включає в себе:

- пункти прийому продукції:
  - АВ – автонавантажувач;
  - ЦЗ – цех затарювання сировини у поліетиленові мішки;
  - СВ1 – судовонтажник№1;
  - СВ2 – судовонтажник№2;
  - СВ3 – судовонтажник№3;
  - СКЛ1 – склад№1;
  - СКЛ2 – склад№2.
- пункти відправлення продукції:
  - ЦВК1 – цех виробництва карбаміду № 1;
  - ЦВК2 – цех виробництва карбаміду № 2;
- пункт вивантаження вагонів (ПВВ):
  - СКЛ1 – склад№1;
  - СКЛ2 – склад№2.
- цех перевантаження карбаміду (ЦПрК) включає в себе наступні пункти прийому продукції:
  - АВ – автонавантажувач;
  - ЦЗ – цех затарювання сировини в поліетиленові мішки;
  - СВ – судовонтажник№1;
  - СВ2 – судовонтажник№2;
  - СВ3 – судовонтажник№3;
  - СКЛ1 – склад№1;
  - СКЛ2 – склад№2.
  - АВ – автонавантажувач, що здійснює навантаження готової продукції на автомашины дрібними партіями.

Навантаження здійснюється насипом. Автонавантажувач працює в автономному децентралізованому режимі. Система управління автонавантажувачем не має зв'язку з апаратно-програмним комплексом управління технологічним процесом.

ЦЗ – цех затарювання сировини в поліетиленові мішки. На цей пункт сировина надходить насипом. У цеху карбамід дозується партіями по 50 кг і розфасовується в поліетиленові мішки. Розфасовка здійснюється в напівавтоматичному режимі.

СВ1, СВ2, СВ3 – суднонавантажувачі. Суднонавантажувач здійснює навантаження карбаміду в трюми судів насипом. Навантажувач може працювати в двох режимах автоматичному і напівавтоматичному. В автоматичному режимі оператор здійснює тільки попередню установку, а навантаження виконується під контролем системи управління автонавантажувача. У напівавтоматичному режимі навантаження здійснюється під контролем оператора, цей режим використовується при довантаженні трюмів (заповненні порожнеч).

СКЛ1, СКЛ2 – склади. Склади – це спеціально обладнані приміщення, в яких здійснюється зберігання готової сировини. Завантаження та вивантаження зі складу здійснюється крацеркраном, які працюють, як і суднонавантажувач, у двох режимах. Кожен склад має ємність 50 тис. тон. Зберігання сировини здійснюється насипом. Так як крацеркран може працювати тільки в одному напрямку, тобто тільки на навантаження або тільки на вивантаження, то склад можна вважати як пунктом прийому, так і пунктом відправлення.

ЦВК1, ЦВК2 – цех виробництва карбаміду. У цих пунктах провадиться виробництво карбаміду. Паралельно з виробництвом, проводиться вивіз з цих пунктів готової сировини в пункт певний центральної ЕОМ, відповідно до транспортного плану. ПВВ – пункт вивантаження вагонів. На цьому пункті здійснюється вивантаження сировини із залізничних вагонів і транспортує його в пункт, визначений транспортним планом. ПВВ здатний обслуговувати одночасно 14 залізничних вагонів, що складає близько 1 тис. тон карбаміду. ПВВ працює тільки в напівавтоматичному режимі.

Комплекс дозволяє приймати карбамід власного виробництва і від сторонніх постачальників у спеціальних вагонах-мінераловозах. На станції вивантаження вагонів може розвантажуватися до 300 вагонів на добу. По стрічковим транспортерам карбамід вивантажується на склади (два по 40 тис. тон) або навантаження здійснюється безпосередньо на морські судна. На причалах розташовані три судно навантажувача сучасної конструкції, які дозволяють вантажити карбамід зі швидкістю до 2 тис. тон на годину.

## 1.2 Найбільш популярні пакети імітаційного моделювання та методи вирішення задачі транспортування

Імітаційна система реалізує алгоритм рішення завдання і надає користувачеві сервісні можливості по керуванню обчислювальним процесом.

До імітаційного моделювання прибігають, коли:

- дорого або неможливо експериментувати на реальному об'єкті [1];
- неможливо побудувати аналітичну модель, тому що в системі є час, причинні зв'язки, наслідки, нелінійності, стохастичні (випадкові) змінні [2];
- необхідно зімітувати поведінку системи в часі [3].

Найбільш популярними пакетами імітаційного моделювання є:

- 1) Arena компанії Rockwell Automation;
- 2) AnyLogic компанії XJ Technologies;
- 3) GPSS World фірми Minuteman Software;
- 4) Process Charter 1.0.2 компанії Scitor;
- 5) Powersim 2.01 фірми Modell Data AS;
- 6) Ithink 3.0.61 виробництва High Performance Systems;
- 7) Extend+BPR 3.1 компанії Imagine That!;
- 8) Vensim фірми Ventana Systems.

Ці пакети найбільше відрізняються стилем моделювання, тобто середовищем, за допомогою якого створюються моделі. У пакеті Process Charter модель будується за допомогою блок-схеми. Powersim і Ithink використовують систему позначень Systems Dynamics, запропоновану в 1961 р. Джеєм Форрестером Масачусетського технологічного інституту. Extend застосовує компоновочні блоки. Всі продукти, крім Process Charter, дозволяють проводити аналіз чутливості, тобто багаторазово виконувати модель із різними вхідними параметрами, щоб зрівняти результати декількох прогонів.

Більш детально розглянемо найбільш популярний пакет для імітаційного моделювання, який я буду використовувати для своєї дипломної роботи [4].

GPSSWorld (GPSSW, General Purpose System Simulation World – світова загальноцільова система моделювання), розроблена для ОС Windows. Цей програмний продукт увібрав в себе весь арсенал новітніх інформаційних технологій. Він включає розвинені графічні оболонки для створення моделей і інтерпретації вихідних результатів моделювання, засоби мультимедіа та відео, об'єктно-орієнтоване програмування та ін. В основу системи GPSS World покладена мова імітаційного моделювання GPSS [5].

Система GPSS World – потужне універсальне середовище моделювання як дискретних, так і безперервних процесів, призначене для професійного моделювання найрізноманітніших процесів і систем. За допомогою цієї системи, наприклад, можна ефективно моделювати як виробничі, так і невиробничі процеси: функціонування торговельних і розважальних закладів, портів, вуличний рух, проведення воєнних дій, роботу редакцій, установ і мережі

Internet, різних систем масового обслуговування тощо. Система має великий набір команд для керування процесом моделювання, які можна як використовувати в інтерактивному режимі, так і включати в модель. Забезпечено можливість проведення експериментів, що згенеровано системою, користувачьких і оптимізаційних. Також система GPSSW має новий високошвидкісний транслятор, що працює в сотні раз швидше його попередників. Для швидкого виправлення помилок використовується повноекранний текстовий редактор [6].

Система GPSSW досить проста у вивченні і універсальна в застосуванні. Ефективне використання системи передбачає виконання ряду етапів [7]:

- постановка задачі.
- виявлення основних особливостей.
- створення імітаційної моделі процесу.
- подання імітаційної моделі в системі GPSSW.
- моделювання системи.

Розглянуто декілька найбільш популярних методів при вирішенні транспортних задач, які можна змоделювати за допомогою програми GPSSW.

До найбільш популярних прямих методів відносять ситуаційне моделювання, метод Гауса та його різновиди, метод Крамера (визначників), метод оберненої матриці, а також метод прогонки, що використовується в задачах з діагональними матрицями. Проте, метод Крамера (визначників) не може бути застосований в більшості практичних задач через велику складність розрахунку визначників навіть при невеликому зростанні порядку системи. Тому в цьому розділі буде зосереджено увагу на розгляді системного моделювання, методу Гауса, який, якщо й поступається ітераційним методам в певних практичних областях, все ж таки є найбільш універсальним, а також методу прогонки, що використовується в задачах з діагональними матрицями [8].

### 1.2.1 Метод Гауса

Цей метод є одним з найпоширеніших методів рішення СЛАР (система з  $n$  лінійних алгебраїчних рівнянь) або System Of Linear Algebraic Equations (SOLAE)). У його основі лежить ідея послідовного виключення невідомих, що приводить вихідну систему до трикутного виду, у якому всі коефіцієнти нижче головної діагоналі дорівнюють нулю. Існують різні обчислювальні схеми, що реалізують цей метод [9]. Найбільше поширення мають схеми з вибором головного елемента по рядку, по стовпцю, або по всій матриці.

Класичний метод Гауса (метод виключення) ґрунтується на доведенні матриці коефіцієнтів системи (1.1) до трикутного вигляду:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \dots\dots\dots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n, \end{cases} \quad (1.1)$$

і складається з двох етапів: прямого ходу і зворотного підставлення. Етап прямого ходу закінчується, коли одне з рівнянь системи стає рівнянням з одним невідомим. Далі, здійснюючи зворотне підставлення, знаходять всі невідомі. З метою зменшення обчислювальної похибки використовують метод Гауса з вибором головного елемента. Під головним елементом будемо розуміти максимальний по модулю елемент матриці  $A$ , обраний по заданій множині рядків та стовпців.

При програмуванні методу для зберігання інформації про коефіцієнти матриць достатньо використовувати один двомірний масив з  $n$  рядками та  $n+1$  стовпцем, в якому розміщується розширена матриця системи  $(A \mid B)$ .

### 1.2.2 Метод прогонки

Метод прогонки застосовується для розв'язання систем рівнянь з стрічковими матрицями коефіцієнтів. Розглянемо його застосування для розв'язання тридіагональної системи, до якої часто зводиться лінійна крайова задача [10].

Запишемо систему в такому вигляді:

$$\begin{aligned} &b_0 y_0 + c_0 y_0 = \Phi_0, \\ &a_1 y_0 + b_1 y_1 + c_1 y_2 = \Phi_1, \\ &a_2 y_1 + b_2 y_2 + c_2 y_3 = \Phi_2, \\ &\dots\dots\dots \\ &a_i y_{i-1} + b_i y_i + c_i y_{i+1} = \Phi_i, \\ &a_{n-1} y_{n-2} + b_{n-1} y_{n-1} + c_{n-1} y_n = \Phi_{n-1}, \\ &a_n y_{n-1} + b_n y_n = \Phi_n. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1.2)$$



Для розв'язання цієї системи виконаємо аналог прямого ходу методу Гауса. Тоді одержимо систему у вигляді:

$$\begin{aligned}
 y_0 - u_0 y_1 &= v_0, \\
 y_1 - u_1 y_2 &= v_1, \\
 &\dots\dots\dots \\
 y_{i-1} - u_{i-1} y_i &= v_{i-1}, \\
 y_i - u_i y_{i+1} &= v_i, \\
 y_{n-1} - u_{n-1} y_n &= v_{n-1}, \\
 y_n &= v_n,
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

де  $u_0, v_0, u_1, v_1, \dots, u_n, v_n$  – деякі коефіцієнти, що називаються прогоночними.

Відзначимо, що:

$$u_0 = -\frac{c_0}{b_0}; \quad v_0 = \frac{\Phi_0}{b_0}. \tag{1.4}$$

Прогоночні коефіцієнти, визначені із останньої системи, дають можливість знайти  $y_n, y_{n-1}, \dots, y_0$ .

Виключаючи із попередніх співвідношень  $y_{i-1}$  шляхом арифметичних перетворень, одержуємо формули визначення шуканих значень:

$$\begin{aligned}
 u_i &= -\frac{c_i}{a_i u_{i-1} + b_i}, \\
 v_i &= \frac{\Phi_i - a_i v_{i-1}}{a_i u_{i-1} + b_i}
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

і далі:

$$\begin{aligned}
 y_n &= v_n, \\
 y_i &= u_i y_{i+1} + v_i, \quad i = n-1, \dots, 1, 0.
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

### 1.2.3 Ситуаційне моделювання

Ситуаційне моделювання – це метод, в основу якого покладено відтворення в спеціальних лабораторних умовах певних ситуацій з метою розв’язання складних задач чи в навчальних цілях, які можуть мати місце в реальних системах [11]. Назва походить від слова латинського походження ситуація (situs – становище), що означає збіг умов і обставин, які утворюють певне становище [12].

Побудова ситуаційної моделі полягає в тому, що повний опис неосяжної множини ситуацій функціонування реального об’єкта за певними правилами замінюється певною кількістю узагальнених ситуацій, кожна з яких з певною мірою вірогідності відтворює один з можливих станів системи [13]. Ситуаційна модель може бути реалізована або за допомогою ЕОМ (наприклад, засобами імітаційного моделювання) [14], або шляхом програвання в реальних умовах спеціальних сценаріїв (ділові ігри, воєнні ігри) [15].

Ситуаційне моделювання – метод імітації вироблення і прийняття управлінських рішень у різних виробничих ситуаціях шляхом проведення симульованої гри згідно із заданим сценарієм (чи системою правил) окремими групами людей або людини та ЕОМ [16]. Саме ситуаційне моделювання може розглядатися як деяке спрощене відтворення реального економічного чи виробничого процесу. У загальному випадку ситуаційне моделювання може використовуватися [17]:

- при вирішенні транспортної задачі на підприємстві;
- при навчанні та доборі господарських керівників різного рангу;
- при навчанні студентів у вузах;
- при колективному прийнятті управлінських рішень;
- із дослідницькою метою для вивчення деяких сторін економічної поведінки людей, зокрема реакції на ті чи інші зміни в організаційній формі управління, на можливі заохочення та стягнення [18].

Більш детальне пояснення використання ситуаційного моделювання буде розглядатися у розд. 3 та 4.

## 2 СКЛАДАННЯ UML-АРХІТЕКТУРИ МОДЕЛЕЙ СТОСОВНО ОПЗ

### 2.1 Проектування діаграми варіантів використання

Складання UML моделей [19 – 23] зроблені із формування діаграми варіантів використання (ДВВ). Розглянені варіанти використання не тільки продукції ОПЗ, а й ринки збуту та шляхів збуту.

Робота почата з того, що до ОПЗ який являє собою бізнес-актора (див. діаграму на рис. 2.1) до ОПЗ підходить аміако-провід, який починається з міста «Тол'яті», яке позначено на діаграмі як бізнес-виконавець до якого за допомогою асоціації зі стереотипом «subseride» під'єднано виробника аміаку – комбінат «Тол'ятіазот», позначений як варіант використання із бізнес-реалізацією. Аміако-провід «Тол'яті-Горлівка-Одеса» проходить крізь концерн «Стірол» у місті Горлівка, який також за допомогою асоціації зі стереотипом «subscribe» підключено до бізнес-виконавця «Горлівка» (див. діаграму).

Далі за допомогою асоціації зі стереотипом «communicate» бізнес-виконавець «Горлівка» сполучено з бізнес-виконавцем «Одеса». Потім за допомогою асоціації зі стереотипом «communicate» аміако-провід під'єднано до нашого центрального бізнес-актору «ОПЗ», який включає в себе за допомогою асоціацій зі стереотипом «include» бізнес-виконавців які являють собою «Термінали завантаження» та «Перевалювальні потужності» які в свою чергу сполучені з «Терміналами завантаження» за допомогою асоціації зі стереотипом «communicate» (дивись діаграму).

Бізнес-актор «ОПЗ» виробляє «Хімічну продукцію», яка являє собою бізнес-варіант використання, який під'єднано до ОПЗ асоціацією зі стереотипом «realize». В свою чергу «Хімічна продукція» сполучена за допомогою асоціації зі стереотипом «communicate» до бізнес-виконавців «Перевалювальні потужності», які розширюються за допомогою асоціацій зі стереотипами «extend» на два актори «Складені комплекси» та «Охолоджувальні комплекси».

Бізнес-виконавець «Термінали завантаження» розширюються за допомогою трьох асоціативних зв'язків зі стереотипами «extend» на акторів які являють собою «Автомобільні», «Морські», «Залізничні» термінали.

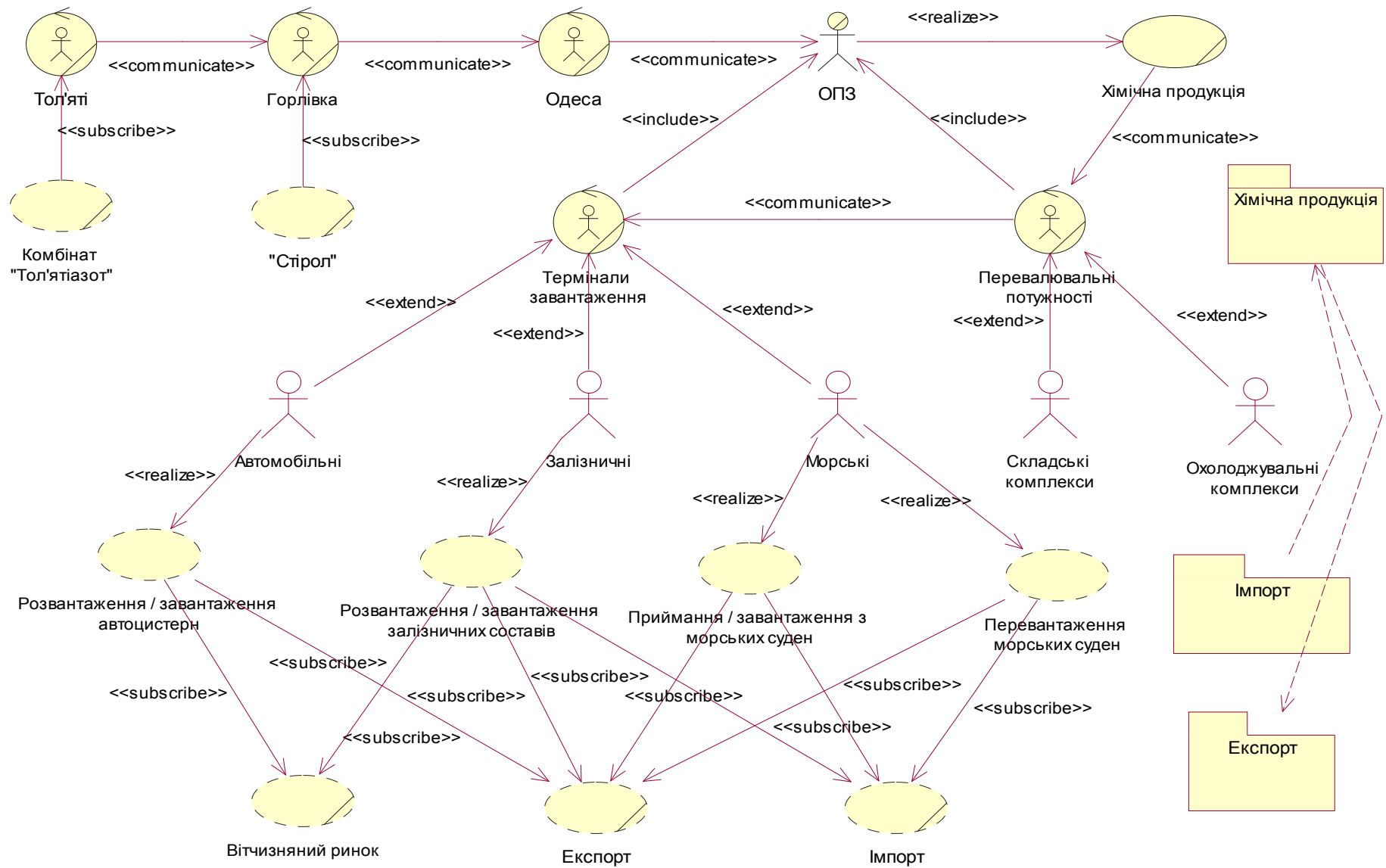


Рисунок 2.1 – Діаграма варіантів-використання (ДВВ)

«Автомобільні» термінали виконують «Розвантаження/завантаження автоцистерни» яке являє собою «реалізацію варіанта використання», який з'єднується асоціацією зі стереотипом «realize» до актора «Автомобільні термінали». Актор «Залізничні термінали» за допомогою асоціації зі стереотипом «realize» реалізує «Розвантаження/завантаження залізничних составів» які представлені варіантом використання зі стереотипом «Реалізація». Актор «Морські Термінали» за допомогою асоціацій зі стереотипами «realize» виконують реалізацію варіантів використання «приймання/завантаження з морських суден», «перевантаження морських суден».

Усі подальші асоціації використовують стереотип «subseride» та використовують під'єднання «реалізацій варіантів використання до «варіантів використання бізнес-реалізації», а саме «реалізація варіантів використання». «Розвантаження / завантаження автоцистерн» та «Розвантаження / завантаження залізничних составів» виходять на «варіант використання бізнес-реалізацій». «Вітчизняний ринок» реалізація варіантів використання «Розвантаження/завантаження залізничних составів» виходить як на «Вітчизняний ринок» так і на «Експорт» і «Імпорт». Реалізація варіантів використання «Приймання / завантаження з морських суден» виходить як на «Експорт» так і на «Імпорт», також як і реалізація варіантів використання «Перевантаження морських суден».

З побудованої структури ДВВ видно, що вона має графо подібний вигляд із вузлами та гілками. Також на поданій ДВВ наведено пакетну структуру «Хімічна продукція», яка йде на «Експорт» та продукція яка «Імпортується».

Розглянуто вміст кожного пакету, а саме: «Хімічна продукція» (рис. 2.2), «Імпорт», «Експорт». Почнемо з пакету «Імпорт». Оскільки саме від нього залежить пакет «Хімічна продукція», а вже від виготовленої «Хімічної продукції» залежить «Експортна продукція», яка виходить до пакету «Експорт».

Імпортерами сировини, яка необхідна для виготовлення основної хімічної продукції ОПЗ – є країни Європи та США, які на сформованій піддіаграмі варіантів використання позначені як «бізнес-актори», а сам імпорт хімічної продукції зображений (рис. 2.3) зі стереотипом «варіант використання із бізнес-реалізацією». У поданому випадку бізнес-акторами, які імпортують сировину є: Росія, Данія, Польща, Литва, Італія, Угорщина, Швейцарія, Німеччина, США, Франція, Австрія, Чехія. Із всіма цими країнами взаємодіє ОПЗ.

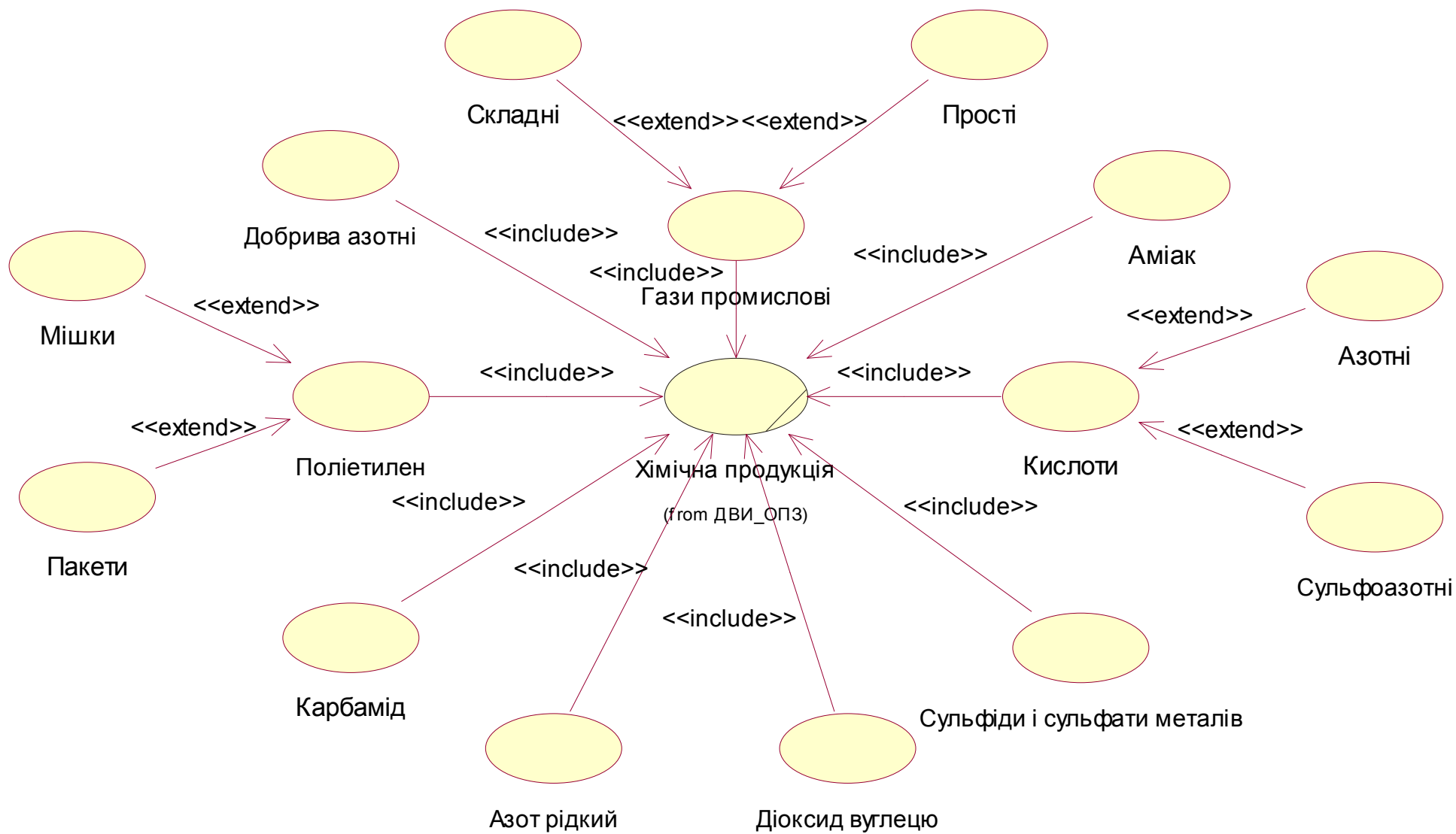


Рисунок 2.2 – Вміст пакету «Хімічна продукція»

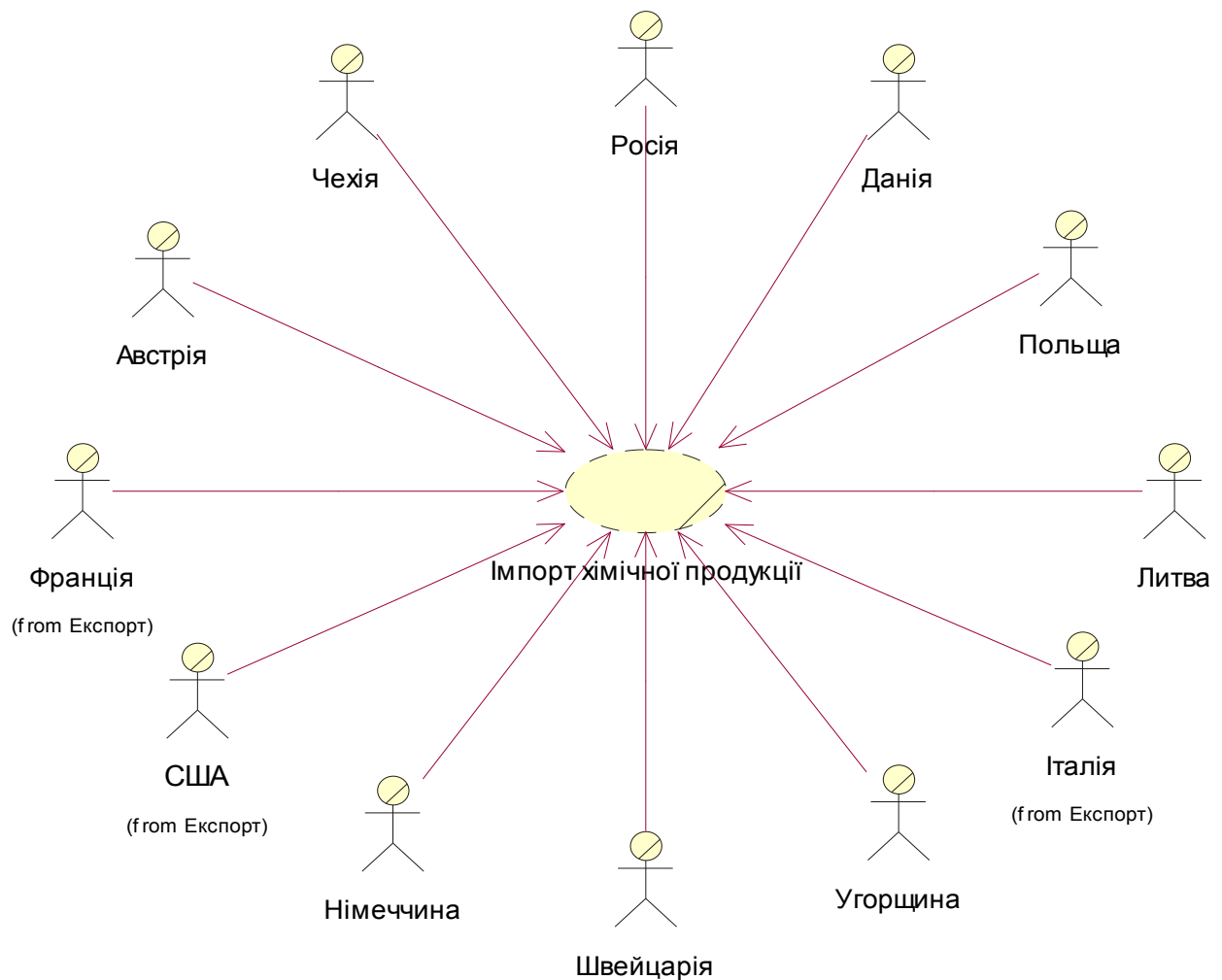


Рисунок 2.3 – Вміст пакету «Імпорт хімічної продукції»

Розглянемо пакет «Хімічна продукція». У сформованій піддіаграмі «хімічна продукція» зображається як «бізнес-варіант використання», який взято з головної діаграми варіантів використання.

До складу «Хімічна продукція» як загального поняття входять різноманітні варіанти використання зі стереотипами «include», а саме «Добрива азотні», «Поліетилен», «Карбамід», «Азот рідкий», «Діоксид вуглецю», «Сульфіди і сульфати металів», «Кислоти», «Аміак» та «Гази промислові». Деякі з них можемо розглянути як загальні назви до складу яких зі стереотипами «extend» входять їх різновиди. Наприклад, до складу « Гази промислові» входять як «Прості» так і «Складні» гази; «Поліетилен» розширюється як поняття до якого включено « Пакети» та «Мішки»; «Кислоти» розширюється на «Азотні» та «Сульфоазотні» також за допомогою стереотипа «extend»[32].

Переходимо до пакету «Експорт». Експорт хімічної продукції зображений на піддіаграмі (рис. 2.4) як варіант використання зі стереотипом «бізнес-реалізація».

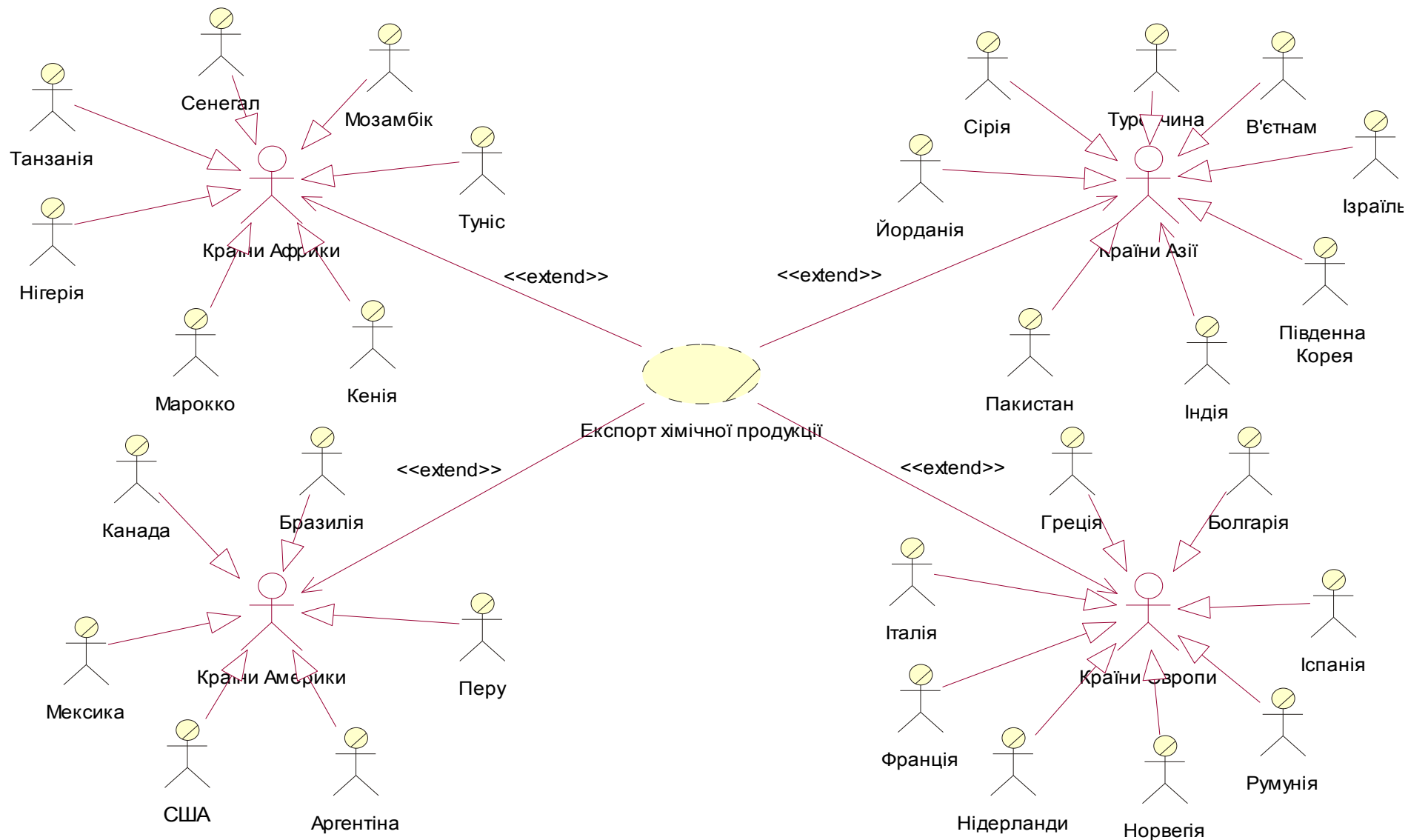


Рисунок 2.4 – Вміст пакету «Експорт хімічної продукції»



У даному випадку всю експортну продукцію ОПЗ за допомогою стереотипу «extend» можна розбити на чотири актори: «Країни Африки», «Країни Азії», «Країни Європи», «Країни Америки». До кожного з розглянутих акторів за допомогою зв'язку «наслідування» входять бізнес-актори, які являють собою конкретну країну.

До актора «Країни Африки» входять країни до яких імпортується продукція ОПЗ, а саме: «Нігерія», «Танзанія», «Сенегал», «Мозамбік», «Туніс», «Кенія», «Марокко».

До актора «Країни Азії» входять: «Йорданія», «Сирія», «Туреччина», «В'єтнам», «Ізраїль», «Південна Корея», «Індія», «Пакистан».

До актора «Країни Європи» входять: «Греція», «Болгарія», «Іспанія», «Румунія», «Норвегія», «Нідерланди», «Франція», «Італія».

До актора «Країни Америки» входять: «Канада», «Бразилія», «Перу», «Аргентина», «США», «Мексика».

В усі ці країни, які представлено як бізнес-актори ведеться імпорт хімічної продукції ОПЗ.

Розглянуто діаграму розміщення ОПЗ, на яку винесемо цікавлячий нас цикл виробництва та відправлення карбаміду.

## 2.2 Проектування діаграми розміщення

На діаграмі розміщення (ДР) [24] у якості головного вузла показано «Цех перевантаження карбаміду» (рис. 2.5) з циклічним виробництвом продукції про що свідчить поле планування «суліс»; «процес» який зводиться до інформаційного пакету позначено як «Транспорт карбаміду». Поданий цех пов'язаний із «Пунктом приймання продукції» та «Пунктом відправлення продукції» за допомогою зв'язку зі стереотипом «abstract» в той час як ці два пункти пов'язані між собою за допомогою «транспортної стрічки».

«Пункт приймання продукції» виконаний з позначенням планування «executive», що позначає підпорядкованість головному вузлу, а саме «Цеху перевантаження карбаміду»; який виконує процес «Приймання».

«Приймання» здійснюється шляхом розвантаження продукції, яка поступає до «АН» – автонавантажувач насипом; у такому випадку на др. «АН» позначимо як пристрій. Наступні пристрої пов'язані із «Пунктом приймання продукції»: «Цех затарювання», який виконує приймання рідкої продукції у різноманітній тарі; «Суднонавантажувач» у кількості трьох причалів, які приймають продукцію, яка йде насипом у трюмі судна.

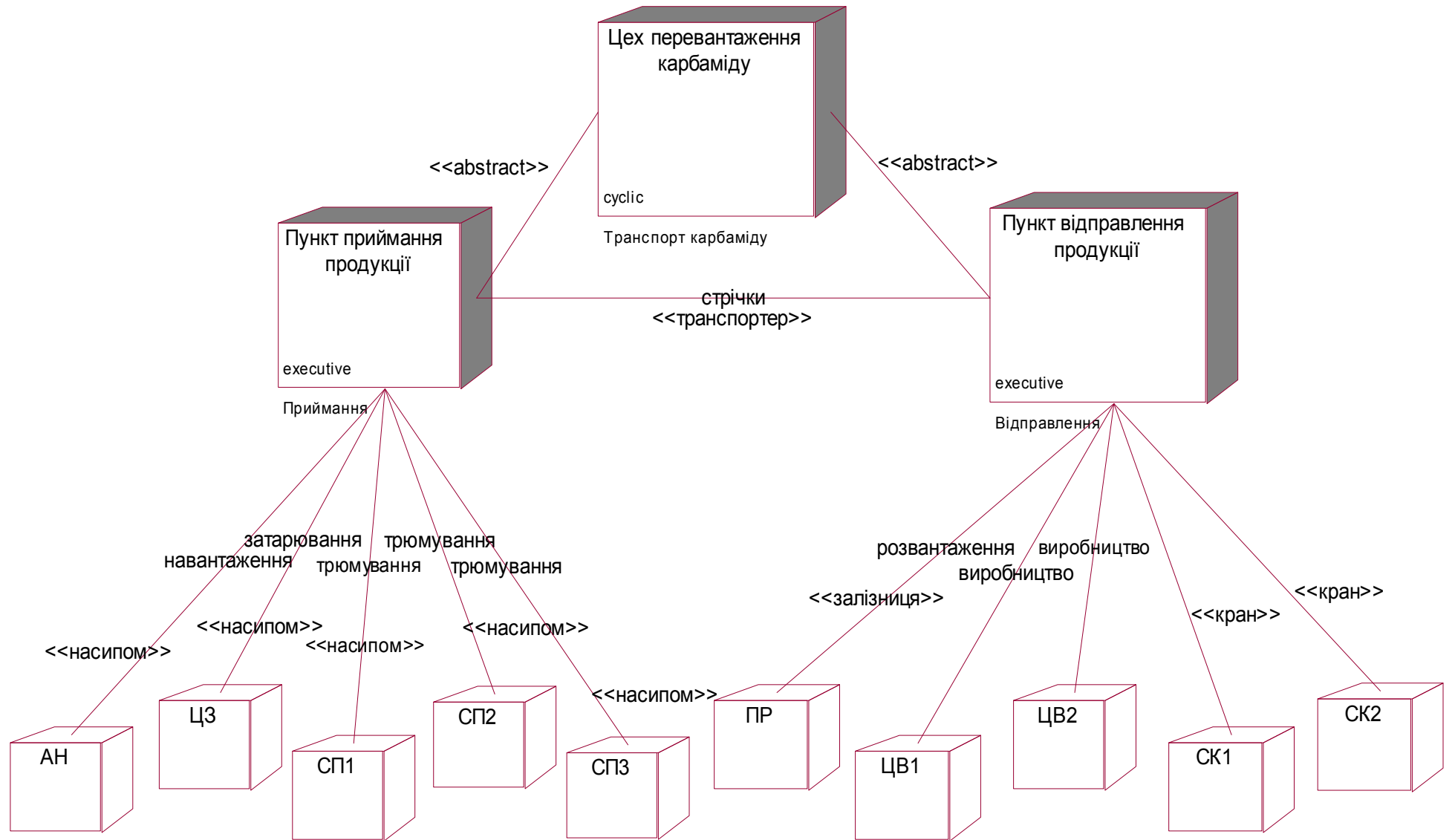


Рисунок 2.5 – Діаграма розміщення ОПЗ

Розглянуто «Пункт відправлення продукції», у якому також «планування» виконано зі стереотипом «executive», а процес, який він виконує – «відправлення». До цього пункту включено ряд пристроїв, які пов'язані із ним різноманітними зв'язками.

«ПВВ» виконує зв'язок із вагонами залізничного транспорту; «ЦВ1» та «ЦВ2» являють собою цехи виробництва; також включено два склади «СК1», «СК2», навантаження яких здійснюється за допомогою кранів.

### 2.3 Проектування діаграми послідовності

Для магістерської роботи нас цікавлять три причали із суднонавантажувачами.

Розглянуто послідовність дій сухогрузів при навантаженні та розвантаженні на причалах за допомогою побудованої діаграми послідовності «ДП» (рис. 2.6).

У якості об'єктів на ДП прийнято: «Маленьке судно», «Середнє судно», «Велике судно», «Шлюз», «Причал 1», «Причал 2», «Причал 3», «Суднонавантажувач», який об'єднаний у один об'єкт, але мається на увазі судно навантажувачі на кожному причалі; та об'єкт «Берегова зона».

Усі судна, що заходять до морського терміналу ОПЗ умовно можна розділити на три категорії: маленькі, середні та великі. У залежності від ємності причалу на ньому можуть розташуватись одне велике судно, два середніх або чотири маленьких – без прив'язки до конкретних розмірів у метрах, а тільки вимірюючи причали кратністю будь-який суден (тобто 1:2:4). Більш детальні умови розміщення суден будуть надані пізніше після формування імітаційної моделі засобами GPSS. А на цьому етапі достатньо буде визначити послідовність дій [25].

Розглянуто ситуацію, коли об'єкт «Маленьке судно» швартується до причалу, нехай це буде об'єкт «Причал 1»; само ж «Швартування» наведено на ДП як повідомлення з синхронним стереотипом, про що свідчить хрестик біля стрілочки. В даному випадку синхронність зазначається в тому, що після «Швартування» судно прив'язують сталевими канатами, тобто на подане повідомлення надходить відповідь.

Далі з об'єкту «Причал 1» відбувається «Розвантаження / навантаження» як повідомлення із лімітом часу очікування обмежене умовами роботи «Суднонавантажувача». Далі відбувається робота суднонавантажувача, яке зображене як «Рефлексивне повідомлення».

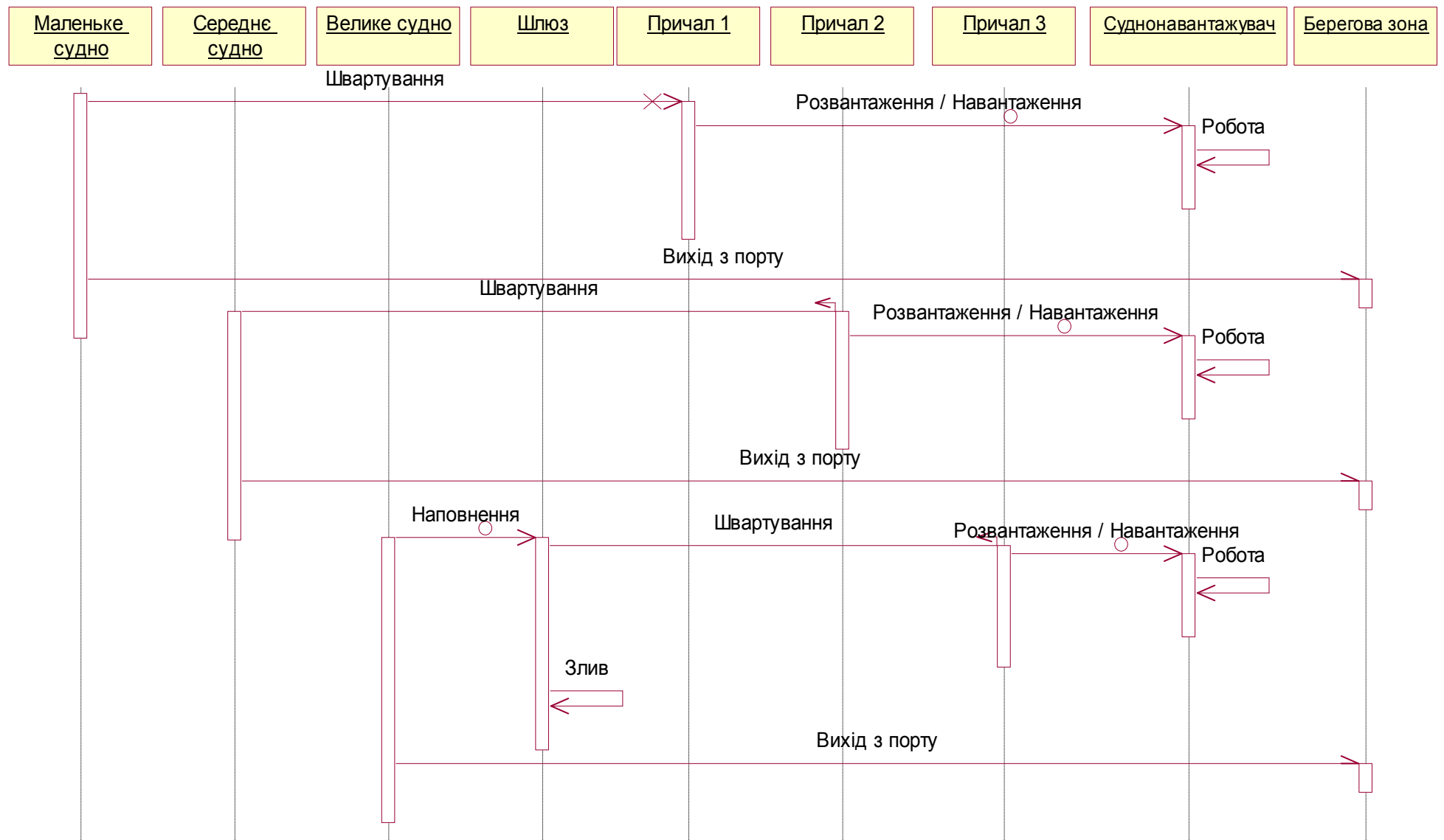


Рисунок 2.6 – Діаграма послідовності дій сухогрузів

Після того як об'єкт «Суднонавантажувач» виконав свою роботу, «Маленьке судно» виходить із порту, про що свідчить відповідне повідомлення, спрямоване до об'єкту «Берегова зона» з асинхронним стереотипом.

Далі розглянуто процес «Швартування» інших типів суден. Зазначимо, що цей процес може відбуватися паралельно, тобто на один причал можуть бути подані декілька суден, в залежності від ємності причалу та типу суден, але «Велике судно» має пріоритет перед середнім судном, а «Середнє судно» в свою чергу має пріоритет перед «Маленьким судном».

З цієї причини процес «Швартування» «Середнього судна» зображений як повідомлення «з відмовою вставати в чергу», що направлений до об'єкту «Причал 2». Далі відбувається стандартне «Розвантаження/навантаження» за допомогою «Суднонавантажувача» «Другого причалу»; подане повідомлення також зі стереотипом «З лімітом часу очікування». Після чого «Середнє судно» виходить до об'єкту «Берегова зона», з повідомленням стереотипу «асинхронне».

Далі розглянуто об'єкт «Велике судно», слід зауважити, що робота з навантаження та завантаження великих суден можливе тільки за допомогою підняття рівня води у «Шлюзі», тому додамо на ДП відповідний об'єкт. Після заходу «Великого судна» до шлюзу відбувається його наповнення, про що свідчить повідомлення з лімітом часу очікування на процес наповнення. Далі відбувається швартування «Великого судна» на «Причал 3» з повідомленням зі стереотипом «без черги». Далі відбувається «Розвантаження/навантаження» «Великого судна» за допомогою «Суднонавантажувача» «Причалу 3». Робота «Суднонавантажувача» також наведена як його «Рефлексивне повідомлення». Далі для виходу «Великого судна» необхідно знизити рівень води у «Шлюзі», про що свідчить «рефлексивне повідомлення» «Злив» у об'єкта «Шлюз». Після цього «Велике судно» виходить до об'єкту «Берегова зона» з повідомлення «асинхронного стереотипу».

Таким чином на сформованій ДП можна відстежити всю послідовність швартування, завантаження та виходу з деякими специфічними особливостями приймання великих суден з підключення додаткових об'єктів, наприклад, шлюзу.

## 2.4 Проектування кооперативної діаграми

Наступним етапом сформуємо кооперативну діаграму (КД) [26] роботи морського терміналу ОПЗ (рис. 2.7).

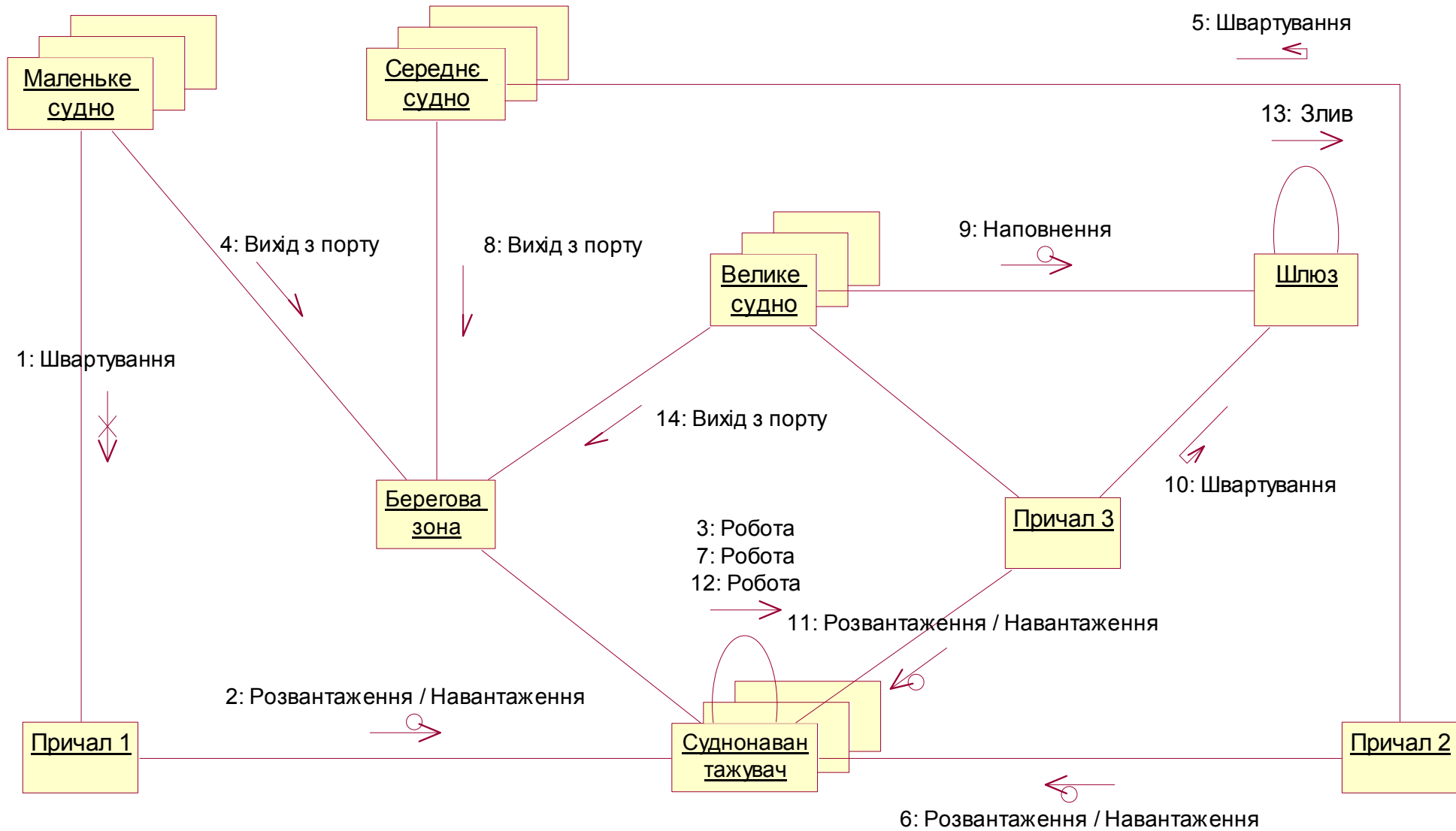


Рисунок 2.7 – Кооперативна діаграма роботи морського терміналу ОПЗ

В даному випадку КД необхідні для визначення топології (геометрії розміщення) та пікове завантаження кожного об'єкту, що наведено на ДП. Не будемо детально розглядати специфікацію повідомлень, тому що їх було розглянуто при поданні опису ДП. Відмінністю КД є те, що послідовність повідомлень тут наведено із відповідними цифрами, які відображають події зображені на ДП з гори донизу.

На КД одинарними прямокутниками показані одиничні об'єкти: наприклад, «Причал 1», «Причал 2», «Причал 3», «Шлюз», «Берегова зона». В той же час об'єкти, які мають множинну структуру, а це: «Маленьке судно», «Середнє судно», «Велике судно», «Судноавантажувач» представлені куповою структурою прямокутників.

Із КД видно, що найзавантаженим об'єктом є «Судноавантажувач», до якого сходяться чотири зв'язки, а п'ятий зв'язок є рефлексивним. Далі по завантаженості йдуть об'єкт «Берегова зона», до якої виходять усі навантажені судна. Далі йдуть об'єкти «Велике судно», «Причал 3», у яких по три зв'язки; всі інші об'єкти мають по два зв'язки, крім об'єкту «Шлюз», який має два зв'язки та один рефлексивний зв'язок.

З аналізу КД можна зробити висновки, що функціонування морського терміналу може вийти з ладу тільки при пошкодженні найбільш завантажених об'єктів із чотирма зв'язками, а це «берегова зона» та «Судноавантажувач». У випадках, якщо вийдуть з ладу деякі інші об'єкти – функціонування не припиниться, а тільки дуже загальмує.

## 2.5 Проектування діаграми класів

Діаграма класів (ДК) показує які класи [27] існують при побудові імітаційної моделі морського терміналу ОПЗ, а також стереотипи зв'язків між ними.

Перший клас, який нанесено на ДК (рис. 2.8) це буде «Транспорт карбонату», який являє собою клас зі стереотипом «бізнес-сутність». Цей клас показує сам бізнес-процес транспорту карбонату, який за допомогою зв'язків зі стереотипом «реалізація» розкладається на приймання, відправлення та перевантаження. При чому перевантаження зображується як абстрактний клас (позначимо назву курсивом), тобто такий який не має своїх екземплярів операцій та атрибутів, а наслідують їх з класу «приймання», проте має свою чітку визначену функцію посередника технологічного процесу між «Відправленням і прийманням». Це також показують встановлені між цими класами залежності, які винесемо на спроектовану ДК. «Відправлення» залежить від

«Перевантаження», а воно в свою чергу залежить від «Приймання». Усі вони з'єднані між собою за допомогою зв'язків зі стереотипом «залежність».

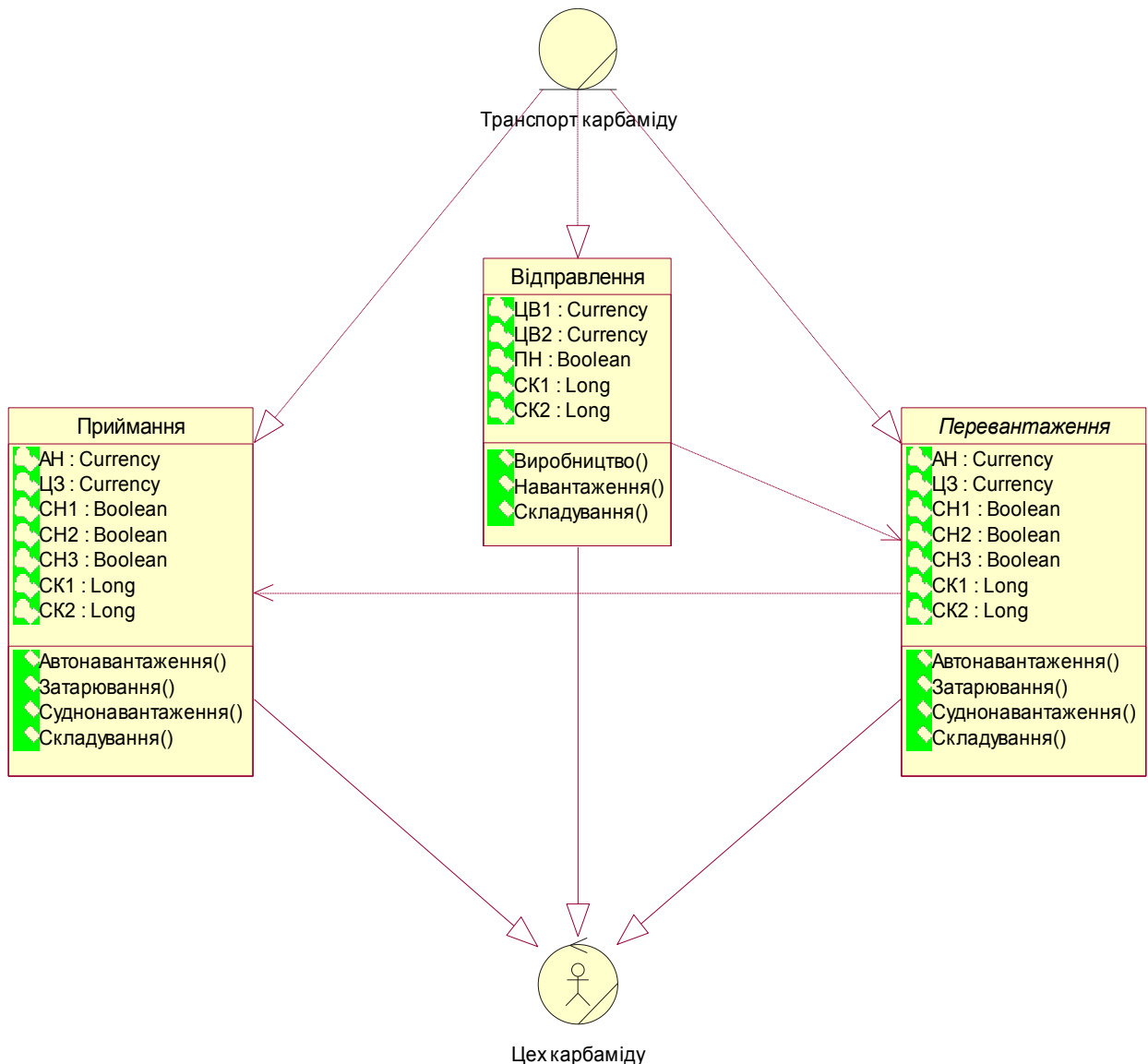


Рисунок 2.8 – Діаграма класів транспорту карбаміду

Всі ці перераховані процеси виконано у «Цеху карбаміду», який винесено на діаграму як класи зі стереотипом «бізнес-виконавець». До якого сходяться процеси приймання, відправлення та перевантаження як до батьківського об'єкту, за допомогою зв'язків зі стереотипом «наслідування».

Детально розглянуто операції та атрибути кожного з класів, а саме «Відправлення», «Перевантаження», «Приймання». Операції являють собою процеси, які виконуються в межах даного класу, а атрибути до структури кожного класу зі своїм відповідним форматом типізації даних. Розглянемо атрибути класу «Відправлення», таким є «ЦВ1» типом даних поточним



(currency), що означає поточне виробництво карбонату, яке здійснюється у цеху виробництва №1 (ЦВ1); ЦВ2 – цех виробництва №2 із поточним значенням виробництва карбонату ; ПН – пункт навантаження з логічним представленням даних у форматі (boolean); СК1 – перший склад карбонату з типом представлення даних у форматі (long), що значить велику кількість продукції, яка може зберігатися на складі; за таким же самим принципом сформований атрибут СК2, з тим же типом представлення даних. Розглянуто операції «Класу відправлення». До них входять процеси виробництва, навантаження та складування готової продукції, які наведені у відповідному полі «Класу відправлення» та не потребують детального пояснення.

Розглянуто атрибути «Класу приймання». Зауважимо, що «Клас приймання» має свої склади, які мають ідентичну структуру і з атрибутами «Класу відправлення» (СК1 та СК2) та виконують аналогічні функції. АН – являє собою автонавантажувач з поточною типізацією даних у форматі (currency); ЦЗ – цех затарювання сировини у поліетиленові мішки, також йде з типізацією (currency); СН1, СН2, СН3 – судно навантажувачі кожного з трьох причалів з булевою логічною типізацією даних у форматі (boolean), функції їх схожі, а логіка представлення складається з логічного нуля в випадку не роботи судно навантажувача та логічної одиниці у випадку, коли він працює.

До операцій «Класу приймання» можна віднести операції автонавантаження, затарювання, судонавантаження та складування, які позначені у відповідному полі «Класу приймання» та не потребують детального пояснення. Оскільки клас «Перевантаження» є абстрактним класом, що він копіює усі атрибути та операції класу від якого він залежить, а це у даному випадку «Клас приймання», тому він має такі ж атрибути (АН, ЦЗ, СН1, СН2, СН3, СК1, СК2) та операції.

## 2.6 Проектування діаграми станів

Перейдемо до побудови діаграми станів (ДС), які потрібні для відтворення поведінки системи, що моделюється [28].

На цій діаграмі показується стани, в яких знаходяться об'єкти, що досліджуються. ДС стандартно починаються з стану «Початок» (рис. 2.9), який буває тільки в одиничному екземплярі, у той же час, коли «станів кінець» може буди багато. Стан «Початок» зображується як чорне коло. Далі від кожного стану йдуть переходи. Кожен перехід має свій синтаксис, який складається з окремих частин та позначається відповідними символами.

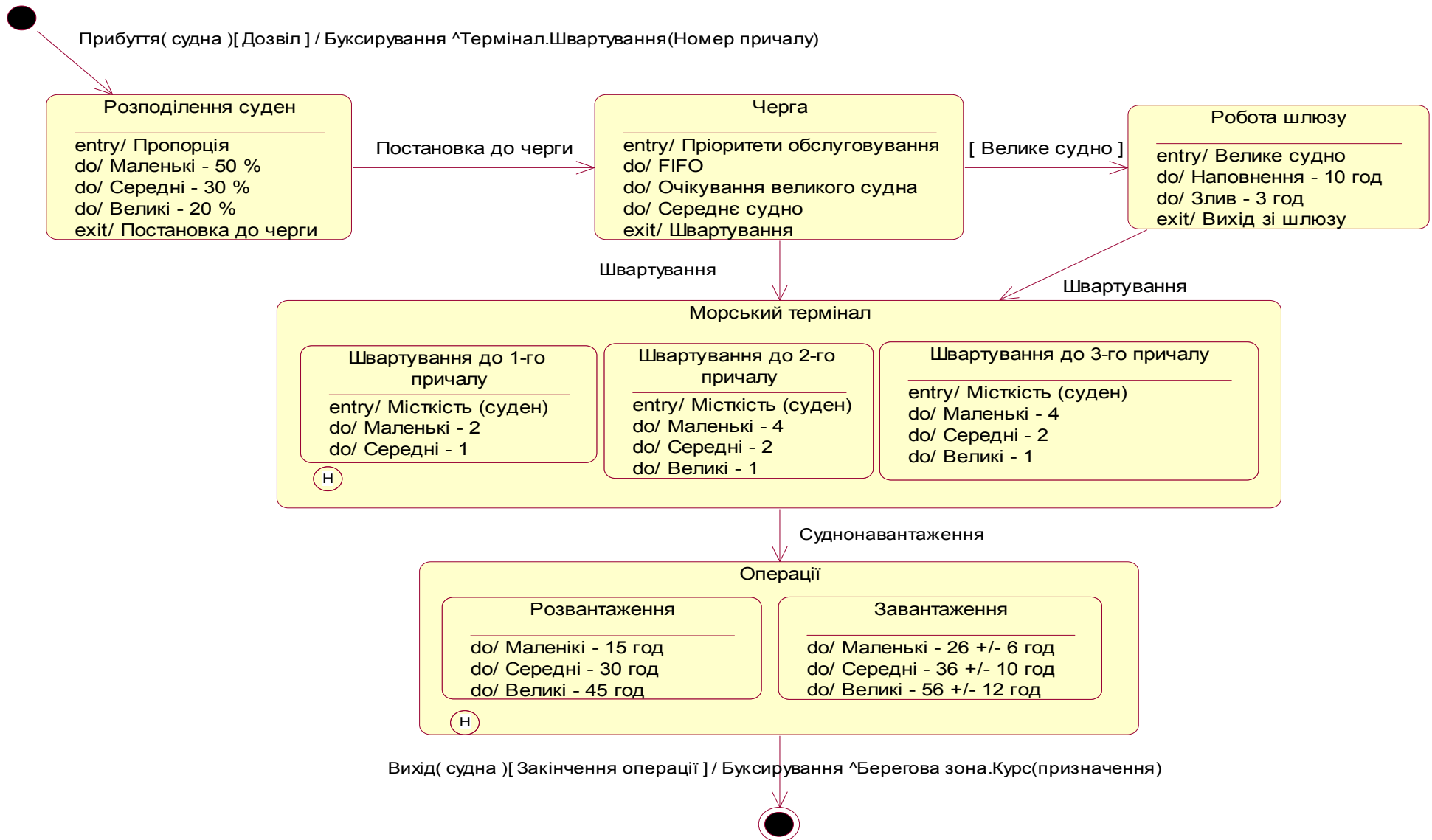


Рисунок 2.9 – Діаграма станів роботи причалів ОПЗ

Перший перехід починається з стану «Початок» та йде до стану «Розподілення суден». Цей перехід має назву «Прибуття».

Для переходу «Прибуття» існують аргументи, які йдуть відразу за назвою та беруться у дужки у даному випадку аргументи судна. Далі йде обмежуюча умова, яка заключається у прямокутні дужки та позначає, коли неможливе виконання переходу. У нашому випадку обмежуючою умовою буде – дозвіл, при відсутності якої судно не може потрапити до портової зони. Після цього йде дія, яка позначає відповідне переміщення або іншу діяльність, дія позначається у синтаксисі переходу як символ «/». У цього переходу буде «Буксирування», тобто коли декілька маленьких буксирів тягнуть велике судно до морського перевантажувального терміналу.

Далі слідує мета, тобто об'єкт, на який в кінцевому випадку направлена поведінка станів, мета позначається символом «^». Для нашого переходу кінцевою метою буду «Термінал». Мета посилення відокремлюється від події посилення символом «.», в нашому випадку подія буде «Швартування». Інакше кажучи, подія настає тоді, коли досягнуто мети, коли судно дісталось до терміналу, настає швартування. Останнє у синтаксису переходу позначається аргументи події, тобто номер причалу, ці аргументи беруться в дужки, які ставляться після події посилення.

На сформованій діаграмі станів першим станом йде стан «Розподілення суден». Кожен стан має вхідні умови, за яких поданий стан відбувається – «entry»; діяльність, яка відбувається в середині стану – «do»; та вихідну дію, яка веде до виходу з цього стану та переходу до наступного – «exit». Для стану розподілення суден у якості вхідної дії у подальшому будемо позначати всі дії англійською термінологією, є пропорція; тобто entry – «пропорція». Ця пропорція розподіляє всі судна, що прибувають до морського терміналу на наступні умовні категорії: «Маленькі судна» – 50%, «Середні судна» – 30%, «Великі судна» – 20%; все це позначається як «do». У якості «exit» у даному стані є постановка до черги кожного з суден та після якої відбувається наступний перехід, який також зображений у вигляді стрілки з відповідною назвою «Постановка до черги».

Розглянуто стан «Черга». Звернемо увагу на те, що цей стан має один вхід та два виходи – це перехід «Швартування» та перехід «Велике судно». Цю особливість розглянемо дещо пізніше, після опису поданого стану. У якості entry у стану «Черга» виступають «пріоритети обслуговування», які визначають ту послідовність, за якою будуть завантажуватися судна різноманітних категорій. У якості «do» виступають дисципліни обслуговування

«fifo», що означає перший прийшов – перший обслужився; далі «Очікування великого судна» означає, що в ситуації, коли причал очікує заявку від великого судна, яке затримується на шлюзі, то жодне з суден не може бути прийнято до причалу; середнє судно має пріоритет перед маленьким судном. У якості «exit» йде «Швартування».

Таким чином стан «Черга» регламентує порядок обслуговування різноманітних категорій суден, з якого видно, що маленькі судна мають найнижчий пріоритет. Що ж стосується ситуації з двома виходами зі стану «Черга», то перший вихід, а саме перехід швартування відбувається у випадку для маленьких і середніх суден, другий вихід пов'язаний із швартуванням великих суден, для здійснення якого необхідно застосовувати шлюзи, тому у якості обмежуючої умови прийнято велике судно, яке взяте в прямокутні дужки [23].

Розглянуто «Роботу шлюзу» як типовий стан на ДС. У якості entry вказано умову за якої шлюз спрацьовує, тобто «Велике судно»; у якості дії вказано «Наповнення», яке триває 10 годин та пов'язане з накачкою води до шлюзу; ще однією дією буде злив води, який триває три години; подією exit буде «вихід зі шлюзу» та наступне швартування до морського терміналу.

Далі обидва швартування як переходи сходяться у суперстані «Морський термінал», який вміщує в собі три підстани. Для того, щоб запам'ятати точки ходу та виходу з кожного підстану будемо використовувати опцію «історію стану», про що свідчить буква «Н» у горі.

Розглянемо кожний з підстанів. Перший підстан – це «Швартування до першого причалу», в якому entry позначає місткість суден, а do – кількість суден кожної з категорій. Для першого причалу це одне середнє судно, або два маленьких судна, велике судно до першого причалу не швартується. Далі другий підстан, це «Швартування до другого причалу», яке також у entry означає кількість суден, які вміщуються на поданому причалі, виражених через «місткість»; другий причал вміщує одне велике, два середніх, або чотири маленьких суден. Третій підстан – це «Швартування до третього причалу», яке у якості entry також як і два попередніх підстанів має «Місткість суден» та характеристики місткості аналогічні характеристикам другого підстану, а саме: великих – одне, середніх – два, маленьких – чотири.

Після суперстану «Морський термінал» відбувається перехід «Суднонавантаження», після виконання якого переходимо до розгляду конкретних суднонавантажувальних операцій, які зводяться до суперстану «операції» зі своєю історією стану.

Суперстан операції вміщує два підстани – це «Розвантаження та завантаження», які мають дії, пов'язані з триванням цих операцій відповідно до категорії суден. Розвантаження маленьких суден відбувається 15 годин, середніх – 30 годин, великих – 45 годин. Завантаження суден коливається у зв'язку з тим, що при завантаженні карбоміду необхідно не тільки висипати визначену кількість, а ще й вірно заповнити всі порожнини та порожні кути у трюмі сухогрузу, у зв'язку з цим завантаження маленьких суден може тривати від 20 до 32 годин ( $26 \pm 6$ ); середніх від 26 до 46 годин ( $36 \pm 10$ ); великих - від 44 до 68 годин ( $56 \pm 12$ ). Після виконання суперстану операції здійснюється перехід «Вихід».

Перехід «Вихід» має наступний синтаксис: аргументи – судна, вказуються у дужках; обмежуюча умова, при невиконанні якої неможливе виконання переходу – закінчення операції, позначається прямокутними дужками; дія – буксирування позначається «/»; мете переходу означає кінцевий пункт при здійсненні саме цього переходу, тобто до якого направлене судно – це берегова зона, позначається символом «^»; подія – це курс або маршрут, за яким йде далі судно, відокремлюється від мети; аргументи подій – це призначення, тобто кінцевий порт судна, позначається як подія в дужках. Після цього наступає стан «Кінець», позначений чорною точкою з кружечком навколо та означає кінець розгляду поведінки цікавлюючого фрагменту моделюємої системи [22].

## 2.7 Висновки за розділом

Таким чином під час проектування різноманітних діаграм у цьому розділі магістерської роботи було детально розглянуто й сформовано наступні діаграми, які пов'язані з роботою морського перевантажувального терміналу ОПЗ: діаграма варіантів використання з піддіаграмами та пакетною структурою; діаграма розміщення; діаграма послідовності; кооперативна діаграма; діаграма класів та діаграма станів.

Всі сформовані діаграми подають можливості для детально вивчення та всебічного дослідження різноманітних аспектів діяльності ОПЗ, крім того вони дозволяють сформуванню подальшу імітаційну модель морського терміналу засобами GPSS [26].

### 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МОРСЬКОГО ТЕРМІНАЛУ ОПЗ

#### 3.1 Складання загального алгоритму імітаційної моделі

Перед тим як було перейдено до безпосередньої реалізації імітаційної моделі засобами GPSS, було складено загальний алгоритм функціонування моделі, а вже виходячи з цього алгоритму я створила програмний код.

Виходячи з того, що другий розділ магістерської роботи виконано за допомогою нотації UML, то запропонований алгоритм також було складено у цій нотації, але зображено його та класифіковано як діаграму активності (ДА), тобто в залежності від умов на кожному конкретному етапі виконувались активності конкретного блоку [27].

Першим блоком у схемі алгоритму (рис. 3.1) є блок «Generate», із запланованими параметрами, а саме: прибуття кораблів за експоненційним законом з коливанням у 26 годин, що у подальшому буде реалізовано у структурі моделі. Далі йде блок умови «ShipType», який в залежності від типу корабля сортує їх на відповідні причали. Кораблі розподіляються у пропорції (5 : 3 : 2), тобто 50% маленьких кораблів йдуть за відповідною гілкою «[50% Small]», 20% великих кораблів за гілкою «[20% Large]», всі що залишилися, тобто середні, йдуть за останньою третьою гілкою.

Далі в залежності від типу кораблів виконується співвідношення корабля у блоках «Assign» зі стереотипом «Parameters», таких блоків в алгоритмі три. Після виходу з кожного з цих блоків формується кожна з черг ( у блоках «Queue») зі стереотипом «P\$ Quenum», що означає приймання величини параметру (P) за допомогою символу приєднання (\$) до номера черги (Quenum). Таких черг формується також три.

Після цього при виході з кожної черги розміщено блок умови «Both», що означає обидва виходи з кожної з трьох умов. Кожен вихід відповідає своєму причалу, які можна побачити в схемі (Berth1, Berth2, Berth3). Також в схемі є проміжні умови вибору другого або третього причалу (2 or 3), таких умов в схемі алгоритму дві.

Далі з усіх восьми гілок йде підключення призначення номера конкретного причалу (Assign), де цей номер може змінюватись, а поки що буде мати змінну «X», точніше «Berth\_Num\_X».

Всі ці блоки призначення сходяться за допомогою «Горизонтальної синхронізації» в одну гілку, що й приведено на схемі алгоритму.

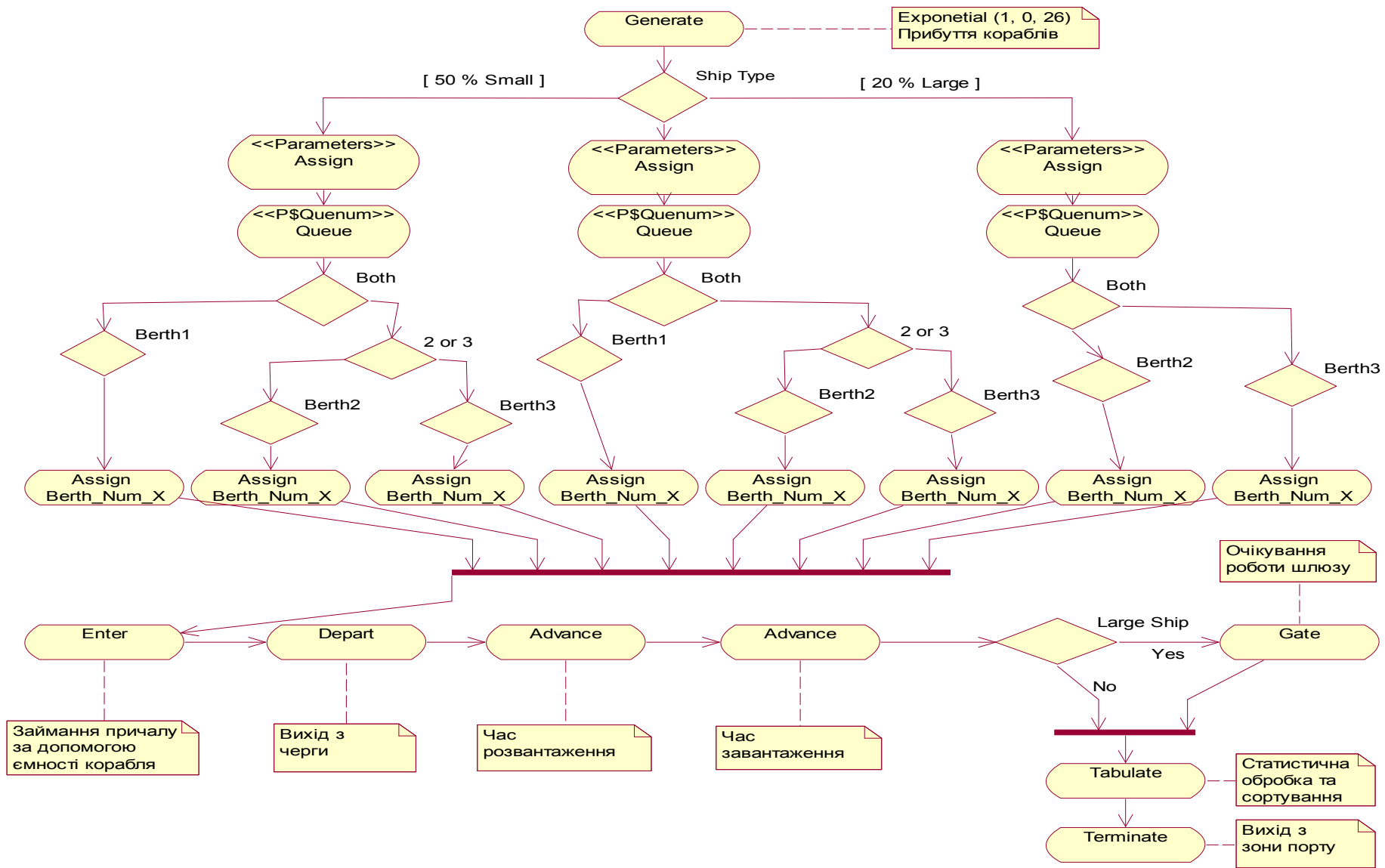


Рисунок 3.1. – Алгоритм імітаційної моделі у вигляді діаграми активності

Далі йде блок «Enter», що означає займання причалу за допомогою ємності корабля. Після цього блок «Depart», що означає вихід з черги, за ним йде блок «Advance» з вказаним часом розвантаження, що коливається в залежності від типу корабля та зовнішніх умов, але знаходиться у відповідних, чітко визначених рамках. Далі йде такий же блок «Advance», але який буде виконувати моделювання часу, який становить: для маленьких кораблів  $24 \pm 6$  годин, для середніх  $36 \pm 10$  годин, для великих  $56 \pm 12$  годин із рівномірним розподіленням.

Після виходу з останнього блоку «Advance» йде блок умови «LargeShip», що перевіряє тип корабля та підключає додатково блок очікування роботи шлюзу «Gate» при умові, що корабель великий (вихід «Yes») блоку «LargeShip». Якщо тип корабля не відповідає умові «LargeShip», то шлюз не підключається. Обидва виходи за допомогою «горизонтальної синхронізації» під'єднуються до наступного блоку «Tabulate», що відповідає за статистичну обробку та сортування даних до спеціальних таблиць за відповідним типом кораблів. Далі йде блок «Terminate», що означає відплиття корабля та вихід з берегової зони порту (рис. 3.1).

Таким чином було сформовано загальний алгоритм роботи імітаційної моделі, за допомогою якої далі було створено GPSS код імітації роботи морського терміналу ОПЗ [18].

### 3.2 Складання GPSS-коду імітаційної моделі

Сформовано імітаційну модель ОПЗ за допомогою послідовності блоків та операторів GPSS, що являє собою вихідний код моделі.

Спочатку було задано ім'я кожного з трьох причалів: Berth1, Berth2, Berth3; ім'я шлюзу: Tide; та типи кораблів: маленькі, середні, великі-відповідно: TSmall, TMedium, TLarge. Кожному з цих імен за допомогою оператора «EQU» призначено номери об'єктів із вище зазначеними іменами.

Berth1	EQU	1
Berth2	EQU	2
Berth3	EQU	3
Tide	EQU	1
Tsmall	EQU	1
Tmedium	EQU	2
Tlarge	EQU	3



Було організовано булеві зміни: з першої по дев'яту, які мають назву: «Var 1 – Var 9». Блок , що визначає булеві змінні називаються «BVariable». Кожна з цих змінних має стандартні числові атрибути (СЧА), які зазначені праворуч від блоку «BVariable»:

```

Var1  BVARIABLE (R$Berth2'GE'1+R$Berth3'GE'1)#Q3'E'0
Var2  BVARIABLE R$Berth2'GE'1
Var3  BVARIABLE R$Berth3'GE'1
Var4  BVARIABLE SE$Berth1
Var5  BVARIABLE (R$Berth2'GE'2+R$Berth3'GE'2)#Q3'E'0
Var6  BVARIABLE R$Berth2'GE'2
Var7  BVARIABLE R$Berth3'GE'2
Var8  BVARIABLE SE$Berth3#LS1
Var9  BVARIABLE SE$Berth2#LS1

```

де R – СЧА, який показує вільну ємність кожного з причалів (Berth1, Berth2). Кожний з СЧА приєднується до відповідного ім'я за допомогою символу «\$», що означає символ приєднання. СЧА «S» показує поточну ємність кожного з причалів. Оператори порівняння виконують операції пов'язані із формуванням логіки моделі: наприклад, «GE» – означає більший або рівний; «LE» – менший або рівний; відповідно «GE» – більший або рівний.

У наступному фрагменті виконано розподілення місткості причалів відносно до маленьких кораблів:

```

Berth1 STORAGE 2
Berth2 STORAGE 4
Berth3 STORAGE 4

```

де у поданному сегменті використовується блок «STORAGE», що позначає ємність накопичувача, як видно з сегменту, ємність кожного з причалів ( у маленьких кораблях) дорівнює: для першого-2; для другого-4; для третього-4.

Далі було перейдено до формування статистичних таблиць, які будуть відображатись у кінцевому звіті розрахунків моделі.

```

Tsmall TABLE M1,30,10,20 ; Транзитний час для маленьких кораблів
TmediumTABLEM1,50,10,15 ; Транзитний час для середніх кораблів

```

TlargeTABLEM1,90,10,20 ; Транзитний час для великих кораблів  
де блок «TABLE» організує збір статистичних даних відповідно до кожного з типів краблів для побудови гістограм обслуговування. Кожен блок «TABLE» містить визначені характеристики серед яких: M1 – визначає час перебування транзакту в моделі, цей СЧА використовується для усіх гістограм (для всіх типів кораблів).

Друге значення кожного з параметрів «TABLE» означає перше значення для побудови гістограм: наприклад, для «TSmall» – це буде 30 годин, для «TMedium» і «TLarge» відповідно 50 та 90 годин. Третій параметр який в наших випадках становить 10-означає крок побудови гістограм , тобто додаються 10 годин кожний раз. Четвертий параметр блоків «TABLE» означає кількість додавань третього параметру, наприклад, для кораблів «TSmall» до начального параметру 30 годин буде додано по 10 годин 20 разів та ін. Таким чином цей сегмент моделі може бути гнучко переорієнтований під конкретні вимоги масштабування гістограм.

У наступному сегменті сформуємо так званий «Таймер дня»:

```
GENERATE 24 ; Один транзакт кожену добу
TERMINATE 1 ; Годинник працює один раз на добу
```

де блок «Generate» виконує породження транзактів у кількості 24, що значить умовну одиницю вимірювання нашої конкретної імітаційної моделі, тобто одна доба. Наступний за ним блок «Terminate» виконує знищення транзактів на тукількість яка зазначена у його операнді, тобто виконується просування транзактів по моделі кожену годину.

Було пачато формування підпрограм роботи шлюзу:

```
GENERATE ,,0,1
AgainLOGICRTide ; Циклічний транзакт моделює наповнення
ADVANCE 3 ; Злив триває три години
LOGICSTide ; Наповнення починається
ADVANCE 10 ; Повний шлюз - протягом 10 годин
TRANSFER ,Again ; Транзакт повертається до мітки'Again'
```

де перший блок «Generate» сформований таким чином, що перші два його операнди пропущено, а саме починається із двох ком. Третій операнд блоку «Generate» встановлює зміщення інтервалів, у нашому випадку воно

дорівнює нулю; четвертий операнд показує обмеження на кількість транзактів: 1 – означає, що шлюз може працювати одночасно тільки з одним кораблем [16].

Далі було задано логічний перемикач з ім'ям «Again» за допомогою блоку «Logic», який змінює стан логічного перемикача; у нашому випадку, у першому операнді стоїть символ R, що значить: скинути логічний перемикач, далі йде ім'я блоку з яким будуть виконуватись логічні маніпуляції: «Tide», тобто шлюз, який може бути у станах наповнення та злив, про що буде детально описано далі.

Наступний блок «Advance» призначений для моделювання затримки транзактів, тобто їх обслуговування, у нашому випадку операнд дорівнює трьом, що означає тривання зливу води протягом трьох годин (за начальними умовами). Далі йде логічний блок «Logic» але з операндом S, що означає: встановлення логічного перемикача роботи шлюзу, починається процес наповнення, яке триває протягом 10 годин та моделюється як обслуговування транзакту блоком «Advance» з операндом 10.

Далі необхідно сформулювати зміну напрямків роботи транзактів за допомогою блоку «Transfer», який працює у режимі безумовної передачі. Про що свідчить пропущений перший операнд, а другий операнд позначає мітку ім'я блоку куди передається транзакт: у нашому випадку це – «Again» – ім'я блоку логічного перемикача. Таким чином у даному сегменті формується цикл роботи шлюзу, включаючи стани наповнення та зливу.

Формування надходження кораблів, які виконуються у нижче наведеному сегменті:

GENERATE	(Exponential(1,0,26))	; Кожні 26 годин
		; з'являється корабель
TRANSFER	500,Inter	; 50 % кораблів – маленькі

де у блоці «Generate» виконується експоненційне породження транзактів кожні 24 години. У блоці «Transfer» формується зміна напрямків руху транзактів відповідно до поточного статистичного режиму роботи цього блоку у якому 50% кораблів–маленькі (за початковою умовою), що реалізується у тисячних долях цілого потоку, тобто у нашому випадку перший операнд дорівнює 500; а перехід відбувається у альтернативний блок з ім'ям «Inter».

Далі йде призначення характеристик маленьких кораблів та запис їх параметрів за допомогою блоку «Assign»:

ASSIGN Size,1 ; Тип корабля - маленький, розмір=1  
 ASSIGNCapacity,1 ; Ємність маленького корабля =1  
 ASSIGNQunum,1 ; Черга #1 для маленьких кораблів  
 ASSIGNM\_Unload,15 ; Середній час розвантаження  
 ASSIGNM\_Load,24 ; Середній час завантаження  
 ASSIGNLoadsp,6 ; Розкид часу завантаження  
 QUEUEP\$Qunum ; Встати до черги  
 ; з маленьких кораблів  
 TRANSFER Both,Pier1,Pier2

де «Size» визначає номер фіксованого параметру та його розмір що дорівнює одиниці; «Capacity» – фіксований параметр, що визначає ємність маленького корабля, також дорівнює одиниці, як і наступний параметр «Qunum», що позначає першу чергу для маленьких кораблів.

Параметр «M\_Unload» показує середній час розвантаження, а «M\_Load» – середній час завантаження, які дорівнюють для маленьких кораблів 15 та 24 години відповідно. Опираючись на параметр «Loadsp» характеризує розкид часу завантаження, тобто  $\pm 6$  годин. Блок «Queue» формує процес вставання до черги з маленьких кораблів, та виконує автоматичне збирання статистики про очікування; у своєму складі він має СЧА Р приєднаного черги з маленьких кораблів «Qunum» та означає величину параметру. Блок «Transfer» виконує функції зміни напрямків руху у поданому сегменті; працює в режимі «Both»; про що свідчить відповідне слово у першому операнді, що позначає перехід в обидві мітки: «Pier1» і «Pier2».

Ім'я «Pier1» містить блок «Gate», який виконує перевірку стану пристроїв або багатоканальних устаткувань чи логічних ключів, у нашому випадку це «Berth1» із SNF умовою яке значить перевірку багатоканального устаткування на не заповнення:

Pier1 GATESNFBerth1 ; Перевірка стану зайнятості  
 ; Першого причалу  
 ASSIGNBerth\_Num,1 ; Причал=Berth1,

а блок «Assign» призначає фіксований параметр «Berth\_num».

Сформовано перехід до потрібного причалу з його розвантаженням та завантаженням:

Small ENTER P\$Berth\_num, P\$Capacity; Займаємо причал  
; за допомогою ємності корабля  
DEPART P\$Quenum ; Вийти з черги  
ADVANCE P\$M\_Unload, (Exponential(1,0,1)); Час розвантаження  
ADVANCE P\$M\_Load,P\$Loadsp ; Час завантаження  
TEST E P\$Size,3,Skipit ; Чи великий корабель?

де ім'я «Small» містить блок «Enter», що моделює використання багатоканальних устаткування із вмістом наступних операндів: «P\$ Berth\_Num» (номер багатоканального устаткування із вказівкою величини параметру у вигляді СЧА «P») та «P\$ Capacity», що означає кількість одиниць багатоканального устаткування, які займають один транзакт, приєднаний за допомогою СЧА P. Блок «Depart» виводить транзакти з черги – «P\$Quenum».

Блок «Advance» виконує обслуговування у вигляді завантаження та розвантаження які записані у вигляді двох операндів, а саме «P\$M\_Unload» та «P\$M\_Load» – показують середню затримку на час обслуговування, а другі операнди (у нашому випадку Exponential (1,0,1)) та «P\$Loadsp» – означають половину поля допуску рівномірно розподіленого інтервалу часу. Наступний блок «Test» виконує перевірку умов визначення напрямків руху транзактів. Він містить допоміжний оператор «E», який виконує зрівняння операндів , а саме: чи дорівнює операнд «P\$ Size» операнду три, та якщо ні, транзакт переходить у операнд «Skipit».

Змодельовано логіку роботи шлюзу:

GATELSTide ; Очікується наповнення  
SkipitLEAVEP\$Berth\_Num,P\$Capacity ; Причал звільняється  
; на ємність корабля  
TABULATEP\$Quenum ; Транзитний час зводиться  
; до таблиці за типом корабля  
TERMINATE ; Відплиття корабля

де блок «Gate» перевіряє стан пристроїв або логічних ключів у нашому випадку «Tide» на умову LS (перевірка умови увімкнений), тобто очікується наповнення шлюзу. Блок з ім'ям «Skipit» починається процедурою «Leave» яка моделює звільнення частини або всієї ємності багатоканального устаткування «P\$ Berth\_Num» на кількість одиниць вказаних у другому операнді,

тобто «P\$ Capacity». Блок «Tabulate» записує у внутрішню таблицю GPSS значення цікавлячої вибірки у той момент, коли транзакт входить до блока, у нашому випадку «P\$ Quenum» – це ім'я таблиці у якій використовується відповідне значення; сформовані таблиці формуються за типами кораблів. Блок «Terminate» виконує моделювання знищення транзактів, у нашому випадку – відплиття корабля.

Наступний сегмент моделі необхідний для того, щоб призначити причал №2 або причал №3 коли вони досяжні:

```

Pier2  TEST E    BV$Var1,1      ; Маленький корабель спробує
                                           ; підійти до причалу 2 або 3
TRANSFERBoth,Berth2,Berth3      ; Спроба потрапити
                                           ; на причал 2 або 3
Berth2 TESTEBV$VAR2,1           ; Чи вільний причал 2?
ASSIGNBerth_Num,2              ; Призначити причал 2
TRANSFER    ,Small
Berth3 TEST E    BV$Var3,1      ; Чи вільний причал 3?
ASSIGNBerth_Num,3              ; Призначити причал 3
TRANSFER    , Small

```

де перший блок має ім'я «Pier 2» та містить команду перевірки умови для визначення напрямку руху транзактів, тобто «Test». У цьому блоці у якості операнда стоїть «E», що значить операцію умови дорівняння одного операнду іншому, а саме: «BV\$Var1» – одиниці, що значить спробу маленького корабля підійти до причалу два або три.

Блок «Transfer» виконує подальшу зміну напрямку руху транзактів. У даному випадку блок «Transfer» працює у режимі «Both», про свідчить його перший операнд. У такому випадку другий операнд, тобто «Berth 2» є міткою блока куди передається транзакт, а третій операнд «Berth3» є міткою альтернативного блоку. Наступний рядок починається з ім'я «Berth 2» та містить блок «Test» з тим же операндом «E», що виконує логічну перевірку зайнятості другого причалу.

Далі йде блок призначення та зміни значень параметрів транзактів, тобто блок «Assign», у якості операндів якого виступають номер фіксованого параметру «Berth\_Num», а у якості СЧА, що використовуються у процесі модифікації число 2. Наступний блок «Transfer», який працює у безумовному

режимі передачі про що свідчить пропущений перший операнд, а другий – це операнд у який передаються всі наступні транзакти, тобто «Small».

Блок «TestE» з ім'ям «Berth 3» виконує порівняння зайнятості третього причалу; у якості операндів виступають «BV\$ Var3» та «BV\$ Var 1», слідом йде блок призначення «Assign» який за допомогою першого операнда «Berth\_Num» призначає третій причал.

Після цього йде блок «Transfer» із вже знайомим безумовним режимом передачі.

Наступний сегмент відповідає за збір характеристик середніх кораблів. Складається він з наступних сегментів, відокремлених блоками «Transfer»:

InterTRANSFER	400,,Large	; 40 % від визначеної половини
		; (тобто 20 % від всього розподілу)
		; всіх кораблів - великі
PRIORITY	2	; Усі середні кораблі входять тут
ASSIGNSize,2		; Тип корабля - середній, розмір=2
ASSIGNCapacity,2		; Ємність середнього корабля = 2
ASSIGNQuenum,2		; Черга #2 для середніх кораблів
ASSIGNM_Unload,30		; Середній час розвантаження
ASSIGNM_Load,36		; Середній час завантаження
ASSIGNLoadsp,10		; Розкид часу завантаження
QUEUEP\$Quenum;		; Встати до черги з
		; маленьких кораблів

де перший блок «Transfer» має мітку «Inter» та наступні числові параметри: 400 – частота передавання транзактів, виражена у 1000-х долях процентів, тобто 40% від визначеної половини (тобто 20% від всього розподілу) – є великі кораблі, які будуть направлені у відповідний блок «Large».

Наступний блок «Priority» – змінює значення рівня пріоритету транзакту. У своєму першому операнді він має значення рівня пріоритету, вираженого у константі (у нашому випадку для середніх кораблів це 2). Усі середні кораблі входять у цей сегмент [17].

Наступні шість рядків починаються з блоку «Assign», що значить для кожного призначення визначених параметрів, розглянуто деякі з них при тому, що двійки у операндах вказують на розміри кораблів: «Size» – тип корабля середній; «Capacity» – ємність середнього корабля; «Quenum» – черга номера 2 для середніх кораблів; «M\_Unload» – середній час розвантаження (до-

рівнює 30 годин); «M\_Load» – середній час завантаження (дорівнює 36 годин); «Loadsp» – розкид часу завантаження (дорівнює 10 годин). Блок «Queue» – виконує автоматичне збирання статистики черги з маленьких кораблів, містить СЧА «P» - величину параметру, приєднаного до відповідної мітки «Quenum».

Слідом йде сегмент переходів:

TRANSFERBoth,Quay1,Quay2	
Quay1 TESTEBV\$Var4,1	; Спроба потрапити на причал 1
ASSIGNBerth_Num,1	; Призначити причал 1
TRANSFER ,Small	; Перехід для обробки
Quay2 TESTEBV\$Var5,1	; Спроба потрапити
	; на причал 2 або 3
TRANSFERBoth,,Quay3	; Спроба першим потрапити
	; на причал 2
TESTEBV\$Var6,1	; Чи вільний причал 2?
ASSIGNBerth_Num,2	; Призначити причал 2
TRANSFER ,Small	; Перехід для обробки

У даному фрагменті міститься чотири зміни напрямків руху транзактив, виражених через блоки «Transfer». Перший блок «Transfer» працює у режимі «Both», про який було детально описано раніше; другий блок «Transfer» даного сегменту працює у безумовному режимі як і четвертий, а ось третій працює в режимі «Both», але з пропущеним другим операндом, що значить спробу першим потрапити на другий причал.

У поданому сегменті міститься три перевірки умов для визначення напрямку руху, виражених через блоки «Test» з операндом «E» та які позначають послідовно спробу потрапити на перший причал, спробу потрапити на другий або третій причали та перевірку зайнятості другого причалу (BV\$ Var 6,1).

Також цей сегмент містить два блоки призначення причалів «Assign» з номерами 1 або 2 для першого чи другого причалів відповідно.

Наступний фрагмент призначений для роботи з третім причалом:

Quay3 TEST E BV\$Var7,1	; Спроба потрапити на причал 3
ASSIGNBerth_Num,3	; Призначити причал 3
TRANSFER ,Small	; Перехід до розвантаження /
	; завантаження



де «Quay1» – це ім'я блоку «Test» з операндом «E» для перевірки умови потрапляння на третій причал (BV\$Var7,1). Блок «Assign» виконує призначення третього причалу з операндами «Berth\_Num,3». Блок «Transfer», що працює у безумовному режимі виконує перехід до розвантаження або завантаження.

Сформовано характеристики великих кораблів що записуються до визначених параметрів статистики:

LargePRIORITY	3	; Усі великі кораблі входять тут
ASSIGNSize,	3	; Тип корабля – великий, розмір=3
ASSIGNCapacity,	4	; Ємність великого корабля = 4
ASSIGNQenum,	3	; Черга №3 для великих кораблів
ASSIGNM_Unload,	45	; Середній час розвантаження
ASSIGNM_Load,	56	; Середній час завантаження
ASSIGNLoadsp,	12	; Розкид часу завантаження
QUEUEP\$Qenum		; Встати до черги з ; великих кораблів
TRANSFER	Both,First,Second	; Спроба потрапити ; на причал3 або 2

де блок «Priority» містить мітку «Large», що вказує на роботу з великими кораблями, також міститься значення рівня пріоритету, що дорівнює для великих кораблів константи 3. Усі великі кораблі мають розмір 3 та входять у цей сегмент.

Наступні шість блоків призначають або змінюють значення параметрів транзактів. Тут скрізь трійка означає великий тип корабля, а інші операнди слід тлумачити наступним чином: «Size» – визначає розмір; «Capacity» – ємність великого корабля (рівного чотирьом); «Qenum» – черга номера 3 для великих кораблів; «M\_Load» – середній час розвантаження (45 годин); «M\_Load» – середній час завантаження (56 годин); «Loadsp» – розкид часу завантаження (дорівнює 12 годин).

Блок «Queue» з операндом «P\$ Qenum» виконує збір статистики черги з великих кораблів. Блок «Transfer» що працює в режимі «Both» виконує спробу потрапити на причали 3 або 2.

Наступний сегмент виконує функції порівняння призначення та переходу третього та другого причалів:

First TEST E BV\$Var8,1	; Спроба першим потрапити ; на причал3
ASSIGNBerth_Num,3	; Призначити причал 3
TRANSFER ,Small ;	; Перехід до розвантаження / ; завантаження
SecondTESTEBV\$Var9,1	; Спроба другим потрапити ; на причал2
ASSIGNBerth_Num,2	; Призначити причал 2
TRANSFER ,Small	; Перехід до розвантаження / ; завантаження

Перший блок цього сегменту має мітку «First» та виконує спробу першим потрапити на 3 причал (операнди: «BV\$Var8,1»). Далі блок «Assign» призначає причал 3 («Berth\_Num,3»). Блок «Transfer» виконує перехід до розвантаження та завантаження у безумовному режимі.

Умова другим потрапити на другий причал міститься у блоці «Test» з міткою «Second» та операндами «BV\$Var9,1». Призначення причалу 2 виконується за допомогою блоку «Assign» з операндами «Berth\_Num,2». Перехід до розвантаження та завантаження на другому причалі організується у блоці «Transfer» з безумовним переходом до блоку «Small».

Наступний – є останній сегмент моделі: «Start 365» виконує імітацію роботи морського терміналу протягом 365 діб, тобто протягом року.

Розглянута імітаційна модель складається з декількох сегментів. Після визначення всіх об'єктів, крім блоків в моделі йдуть три головних сегменти. Транзакти у верхньому сегменті визначають час моделювання та зменшують лічильник завершення один раз у модельовану добу. Один транзакт циркулює у середньому сегменті для представлення роботи шлюзу-це впливає на досяжність причалів для великих кораблів. Транзакти, що знаходяться у нижньому сегменті моделі являють собою корабель. Для кожного з них задаються атрибути, відповідно типу корабля, що він представляє. Потім він очікує досяжний причал, обмінюється вантажем та покидає термінал.

У моделі присутні дев'ять мулевих змінних, що визначаються у самому початку. Булеві змінні при обробці повертають значення нуль або одиниця. Коли значення виразу мулевої змінної дорівнює нулю, то повертається нулевий результат, в іншому випадку повертається значення одиниці. Ці змінні використовуються для визначення стану терміналу і того які дії можливі [3, 4].

### 3.3 Запуск процесу моделювання

Для запуску моделювання та отримання стандартного звіту необхідно:

- 1) обрати меню «File»;
- 2) вибрати «Open»;
- 3) виділити модель: OPZ.gps та натиснути кнопку Open;
- 4) скласти процес моделювання, обравши: Command;
- 5) створити процес моделювання;
- 6) у діалоговому вікні набрати 365 або просто натиснути кнопку Ок.

Процес моделювання закінчиться коли 365 транзактів увійдуть у блок «Terminate», що являє 365 діб роботи терміналу.

Після завершення процесу моделювання GPSS виводить звіт у спеціальний файл звіту, що задано за замовленням (OPZ 1.1). Розширення імен файлів звіту будуть змінюватись у залежності від збережених процесів моделювання та раніш існуючих звітів. Якщо процес моделювання було створено та запущено у перший раз-звіт буде з номером 1.1

Звіт буде автоматично виведено у вікні. Його можна як звертати, переміщати, копіювати так і друкувати. Взагалі GPSS-звіт записується у спеціальних форматах. Якщо є необхідність редагувати звіти – необхідно скопіювати його зміст у буфер обміну, а вже з нього у будь-який текстовий редактор [13].

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 4.1 Статистичні результати імітаційної моделі ОПЗ

Після того як було запущено процес моделювання ми отримуємо згенерований стандартний звіт (який наведено у додатку Б). На основі цього звіту можна проаналізувати статистику процесу моделювання та різноманітні характеристики отримані для пристроїв та блоків.

Стандартний звіт моделі містить наступну інформацію. Починається звіт з загальних відомостей про результати моделювання, які включають версію GPSS (GPSS – World Simulation Report); ім'я файлу (OPZ\_1); дату та час створення звіту; час початку моделювання (StartTime=0, 000); час закінчення моделювання (EndTime=8760. 000, що дорівнює 365 днів або один рік); кількість блоків які описують модель (Blocks=73); кількість пристроїв які використовуються в моделі (Facilities=0); кількість багатоканальних устаткувань, що використовуються у моделі (Storages=3).

Далі йдуть імена, що призначені користувачем з початку сеансу; напроти них йде стовпчик значень (Value, які показують числові значення призначені кожному з імен). Слід помітити, що номери призначені системою, починаються з тисячі.

У моделі присутні 37 призначених користувачем імен, кожне з яких детально розглянуте у попередньому розділі, повний перелік імен та поточних значень, які відповідають кожному з них (наведено у додатку Б).

Наступною частиною звіту буде список відомостей про блоки моделі, які починаються стовпчиком Label, що значить мітку. Другий стовпчик Loc – позначає ім'я або номер кожного з блоків. Третій стовпчик BlockType – позначає тип блоку; наступний стовпчик EntryCount (число входів) – показує число транзактів що ввійшли до цього блоку з часу початку сеансу до закінчення; наступний стовпчик CurrentCount (поточний рахунок) – показує кількість транзактів у цьому блоці при завершенні моделювання; стовпчик Retry (затримка) – це кількість транзактів які очікують специфічної умови залежної від стану блоку.

Тобто у цій частині звіту формуються визначені послідовності блоків моделі без урахування коментарів та проміжних значень й змінних які містяться у самому коді. Наприклад, перший блок Generate, як видно зі звіту містить 365 входів, що дорівнює моделюванню кожної доби року що моделю-

ється. Таку інформацію можна отримати аналізуючи кожний з 73 блоків імітаційної моделі ОПЗ.

Наступна частина звіту містить статистичні дані про пристрої та черги. Перший стовпчик Queue (черга) – містить інформацію про ім'я або номер об'єкта-черги; наступний стовпчик Max – це максимальне значення кількості транзактів які чекали в черзі до пристрою; стовпчик Cont (зміст) вказує значення поточної кількості транзактів які перебувають у черзі до пристрою вкінці періоду моделювання; стовпчик Entry (входи) – це лічильник кількості входів транзактів до блока Queue протягом всього періоду моделювання; Entry (0) – лічильник кількості входів до блока Queue із нулевою затримкою за часом, тобто ті транзакти, які не очікували входу, а відразу потрапляли до пристрою; Ave. Cont (середній зміст) показує середню кількість транзактів які перебували в черзі за весь період моделювання; Ave. Time (середній час) – середній час перебування транзактів у моделі; Ave (0) – середній час перебування транзактів у черзі за винятком нульових входів у період моделювання; Retry (затримка) – кількість транзактів які очікують на специфічну умову, що залежить від стану цього об'єкта-черги.

Таким чином, аналізуючи цей сегмент звіту, можна побачити, що у моделі формується три черги з іменами: 1, 2, 3, за кожним ім'ям якої можна спостерігати статистичні дані у додатку Б. Наприклад, черга 2 має чотири максимально транзактів які перебували у ній, 107 входжень до цієї черги, причому 76 з яких не очікували у черзі та ін.

Наступний сегмент звіту має статистичні дані про наші багатоканальні устаткування, тобто причали Berth1 – Berth3. Усі статистичні дані наведені у додатку Б, зупинимось лише на інтерпретації результатів звіту. Стовпчик Storage (пам'ять) – це ім'я або номер багатоканального устаткування (у нашому випадку Berth1 Berth2 Berth3); стовпчик CAP (ємність) – показує ємність багатоканального устаткування; стовпчик Rem (залишок) – це число невикористаної ємності багатоканального устаткування; стовпчик Min – мінімальне число одиниць ємності, а Max – це максимальне число одиниць ємності багатоканального устаткування, які використовуються протягом сеансу моделювання; Entries (входи) – кількість часу коли пристрій був зайнятий з часу початку сеансу моделювання; AVL – показує чи доступна пам'ять на прикінці моделювання (1-означає доступність, 0- зайнятість); стовпчик AVE.C – це середньо зважаний час перебування транзактів на багатоканальному устаткуванні; Util – процент часу протягом якого під час моделювання було зайнято багатоканальне устаткування (найважливіша характеристика,

що показує коефіцієнти використання кожного пристрою); Retry – кількість транзактів які очікують на специфічну умову багатоканального устаткування; Delay – кількість транзактів що очікують входу до Enter.

Якщо проаналізувати цей сегмент звіту, то можна побачити числові значення кожного з трьох причалів, про те всі ці значення отримані на фінальний момент моделювання, тобто вже зібрана повна статистика протягом періоду імітації, а нас цікавить зміна різноманітних коефіцієнтів у динаміці. Для цього нижче приведено графічні залежності цікавлячи параметрів.

Наступний сегмент містить статистичні дані, що сформовані у вигляді таблиць (додаток Б). Перший стовпчик Table – вказує ім'я або номер відповідного об'єкта-таблиці (у нашому випадку об'єкти таблиці будуть сформовані відповідно до маленьких, середніх та великих кораблів: TSmall, TMedium, TLarge); Mean – середньозважене значення; STD.DEV – зважене значення середнього відхилення; Range-визначає нижню та верхню межі класу частоти; Retry-затримка; FREQUENCY(частота) – загальна зважена частота одиниць що табулюються; CUM.% – сума частоти яка збільшується.

Виходячи з аналізу сформованих таблиць, що приведені у додатку Б, можна дослідити їхні параметри, відповідно до кожного з діапазонів часу. Наприклад: можна побачити що середні кораблі розвантажуються та завантажуються у діапазонах від 50 до 180 годин, а великі від 90 до 250 годин, проте таблична форма подання результатів не подає достатньої наочності, тому на підставі даних цих таблиць у подальших підрозділах сформовано гістограми обслуговування кораблів із розбиттям процесу на окремі стовпчики.

Наступний сегмент звіту стосується статистичних даних про логічні ключі. Перший стовпчик LogicSwitch показує ім'я або номер об'єкта або логічного ключа. У якості цього ключа у нашій моделі виступає Tide (шлюз), що приймає значення (Value) один або нуль; стовпчик Retry-показує затримку. Наступний сегмент звіту показує статистичні дані переліку поточних подій та запланованих майбутніх подій де стовпчик FecXn – показує номер кожного транзакту у списку подій; PRI – заданий пріоритет транзакту; BDT – час коли транзакт залишає список майбутніх подій; Assem – параметри збірки; Current – номер блока, де транзакт перебував під час закінчення моделювання; Next – номер наступного блока, куди має увійти транзакт; Parameter – назви або номери параметрів транзактів (у нашому випадку у моделі існують наступні параметри із відповідними значеннями (Value): Loadsp=6, M\_Load=24, M\_Unload=15, Quenum=1, Berth\_Num=1, Capacity=1, Size1). Для

детального вивчення статистичних параметрів переліку майбутніх подій необхідно звернутися до додатку Б та до [12].

## 4.2 Графічні результати моделювання

Спершу було сформовано гістограми обслуговування кораблів. Для цього виберемо у меню Window – моделювання вікна – Table Window. Після того як розглянута імітаційна модель, від трансльована у переліку, що випадає, діалогового вікна обираємо операцію TSmall та натискаємо Ok. Після цього з'являються гістограми обслуговування маленьких кораблів із визначеними у імітаційній моделі діапазонами розбиття (рис. 4.1).

З приведеної гістограми можна отримати наступні параметри: для середніх кораблів за тим же способом сформовано гістограму обслуговування, але у переліку що випадає діалогового вікна побудови гістограм обрано: TMedium (рис. 4.2).

Останню гістограму сформовано для великих кораблів, обравши у діалоговому вікні операцію TLarge (рис. 4.3).

Далі йде формування графічних результатів та залежностей за тими параметрами, які були найважливішими у вище поданому аналізу сформованого звіту, про те цікавлячи їх поведінка у динаміці, тому графіки що наведені нижче представлені у масштабі часу, обмеженого початковим та кінцевим станом моделювання.

На першому графіку необхідно відобразити зміну коефіцієнта використання в кожному з трьох причалів протягом року, тому для цього у спеціальному вікні PLOT Window сформуємо необхідні позначення, мітки та СЧА цього графіка (рис. 4.4).

Далі (на рис. 4.5) наведено графік варіювання коефіцієнтів використання для трьох причалів протягом року.

Виходячи з того, що звітний період, тобто рік – моделюється як 9000 годин, тому початкова дільниця графіку вимагає розширення. Для цього у вікні настроювання параметрів графіків час моделювання, а точніше кінцеве його значення змінено з 9000 на 1000. Результати зміни масштабування наведено на рис. 4.6.

Проаналізувавши приведені графічні залежності можна зробити висновки, що причали 1, 2, 3 використовувались на 52%, 49% та 54% відповідно.

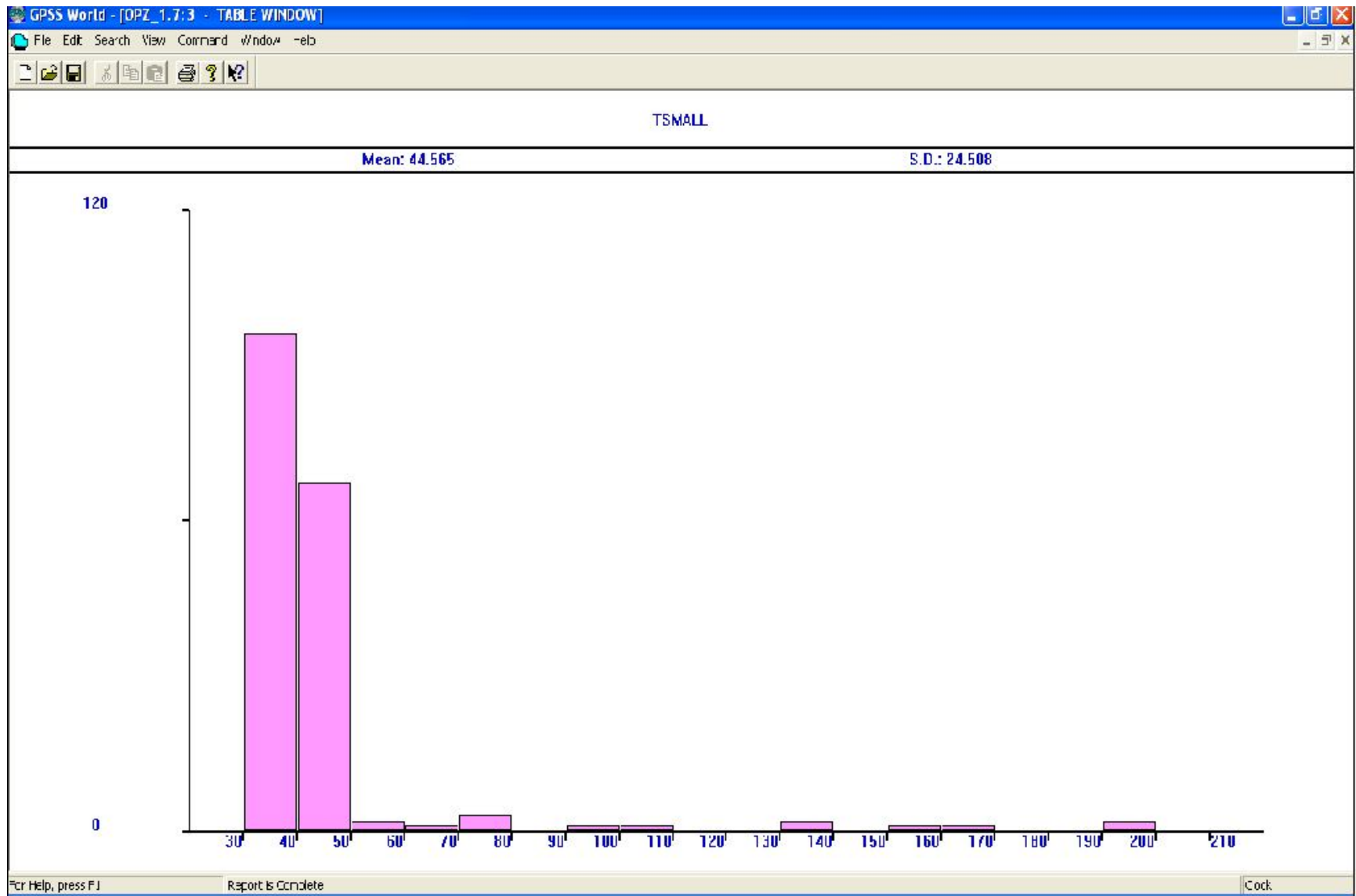


Рисунок 4.1 – Гістограма обслуговування кораблів за типом «маленькі»



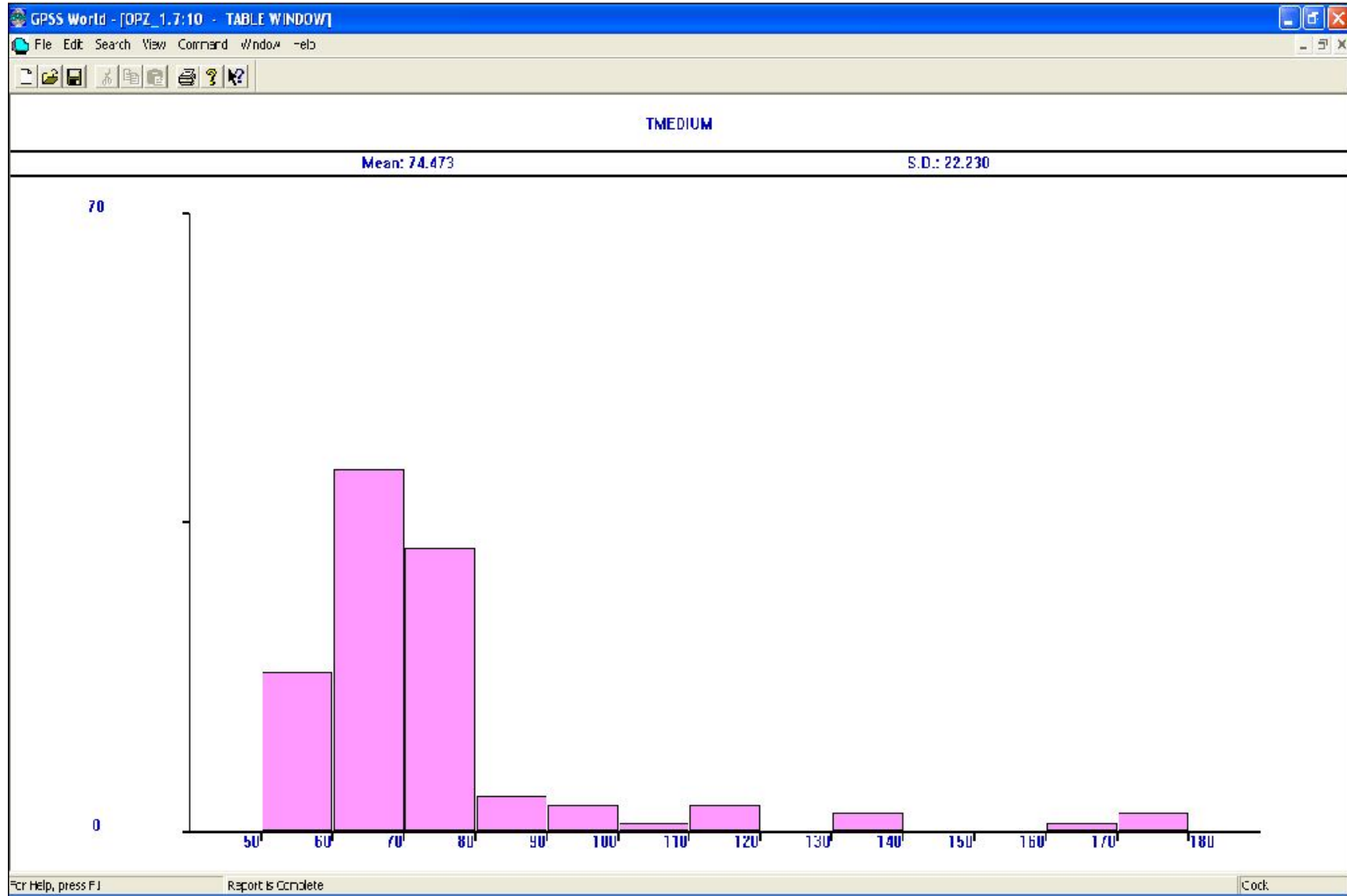


Рисунок 4.2 – Гістограма обслуговування кораблів за типом «середні»

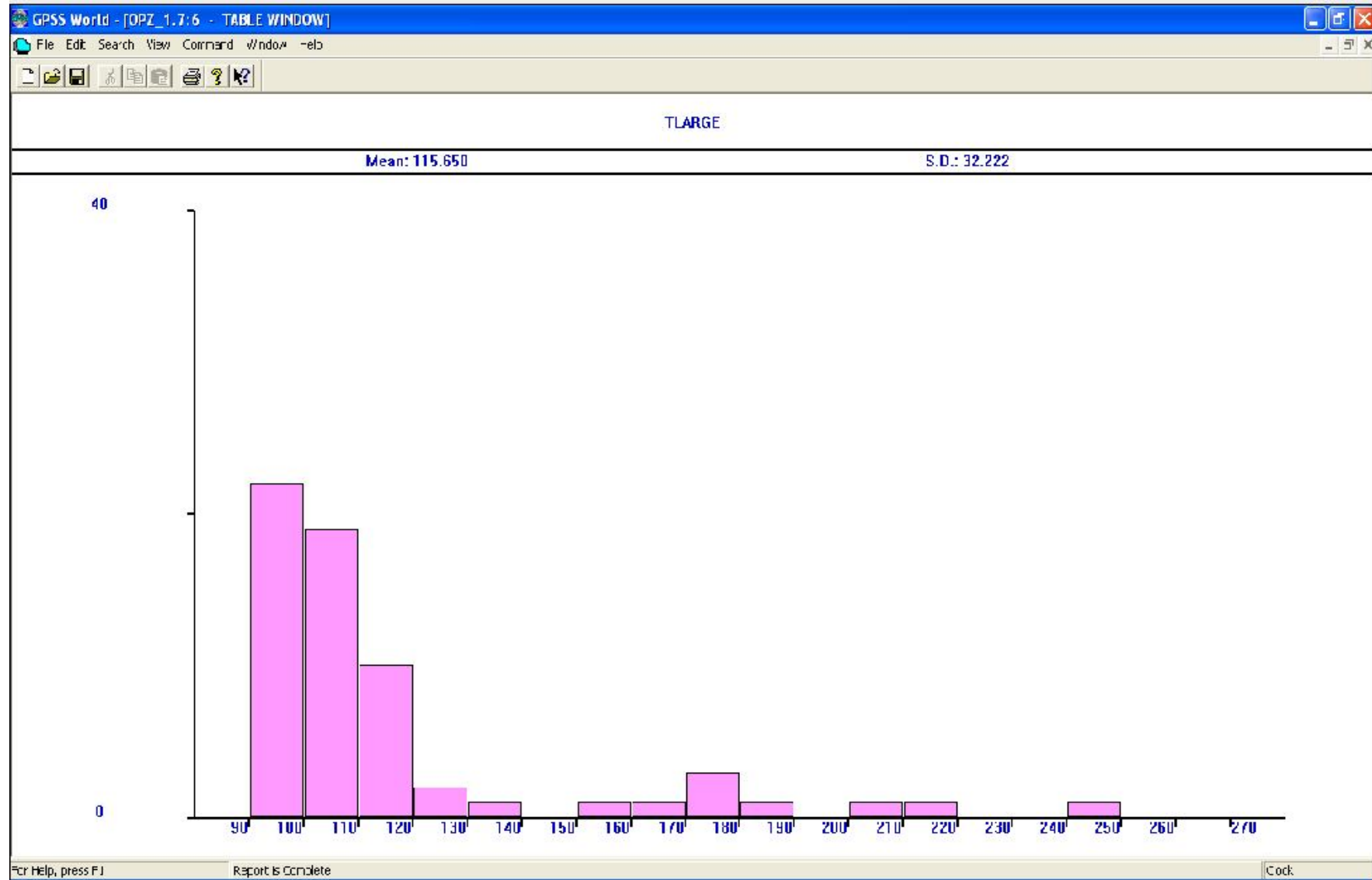


Рисунок 4.3 – Гістограма обслуговування кораблів за типом «великі»

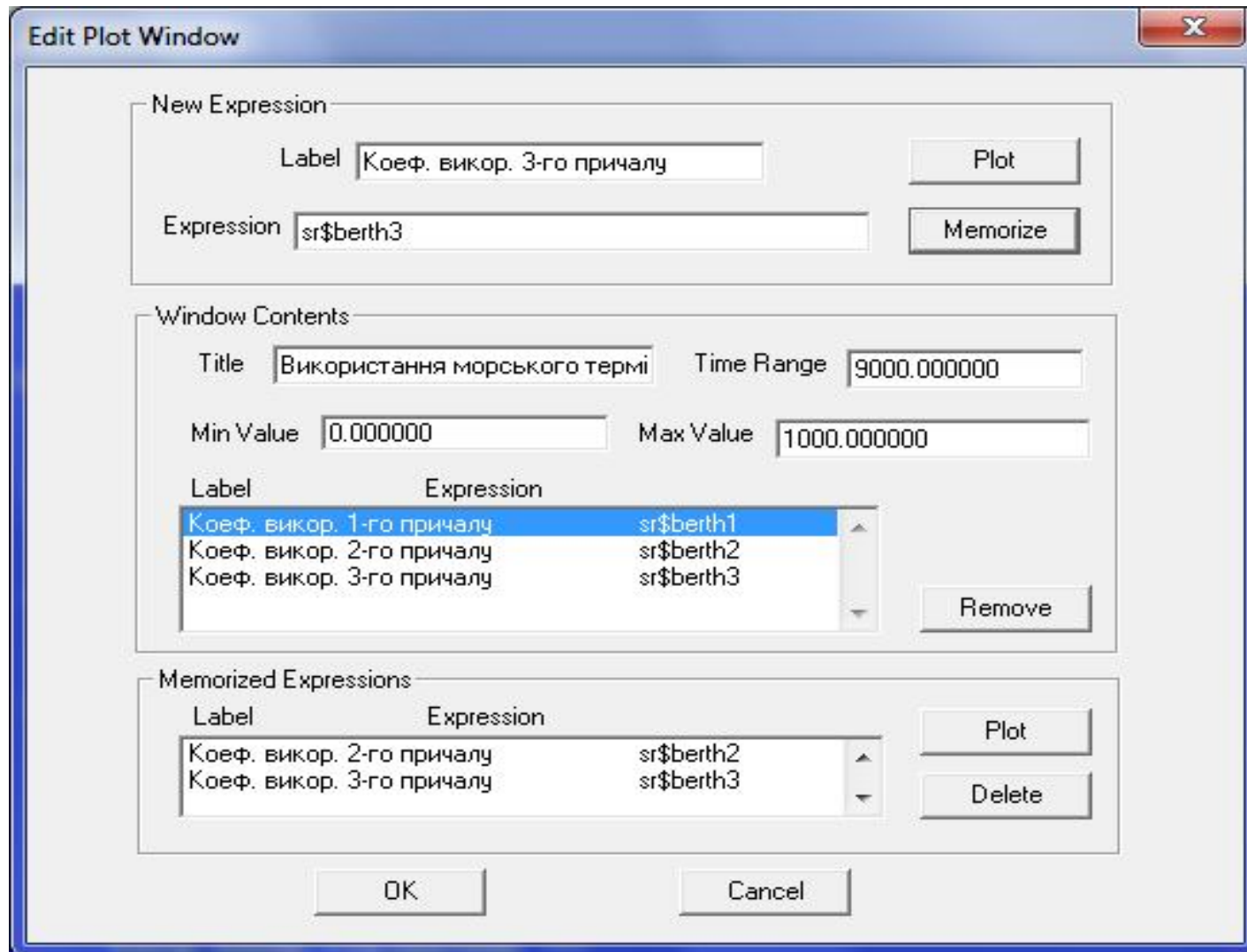


Рисунок 4.4 – Вікно налаштування необхідних параметрів для відображення коефіцієнтів використання відразу для трьох причалів

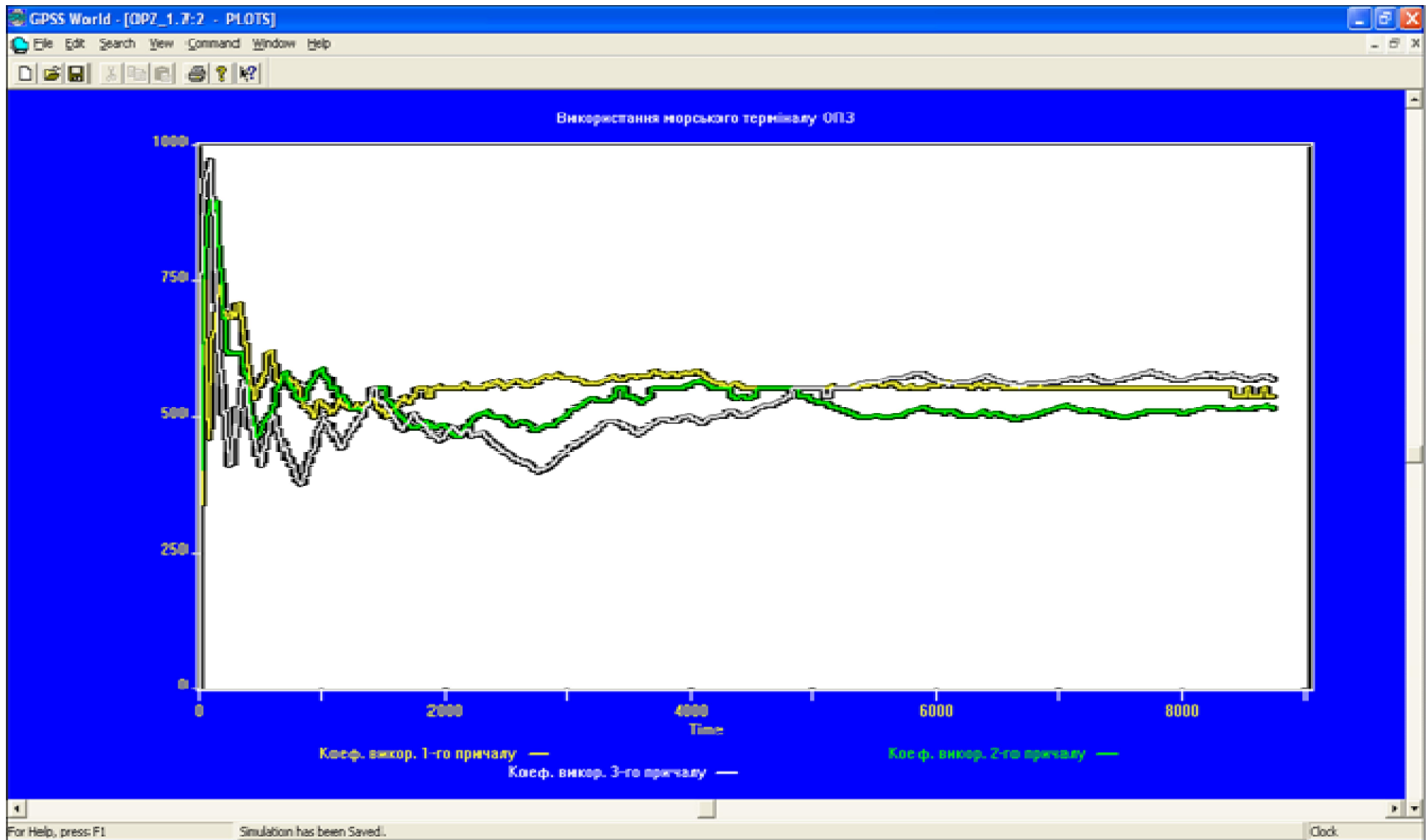


Рисунок 4.5 – Динаміка зміни коефіцієнтів використання трьох причалів протягом року

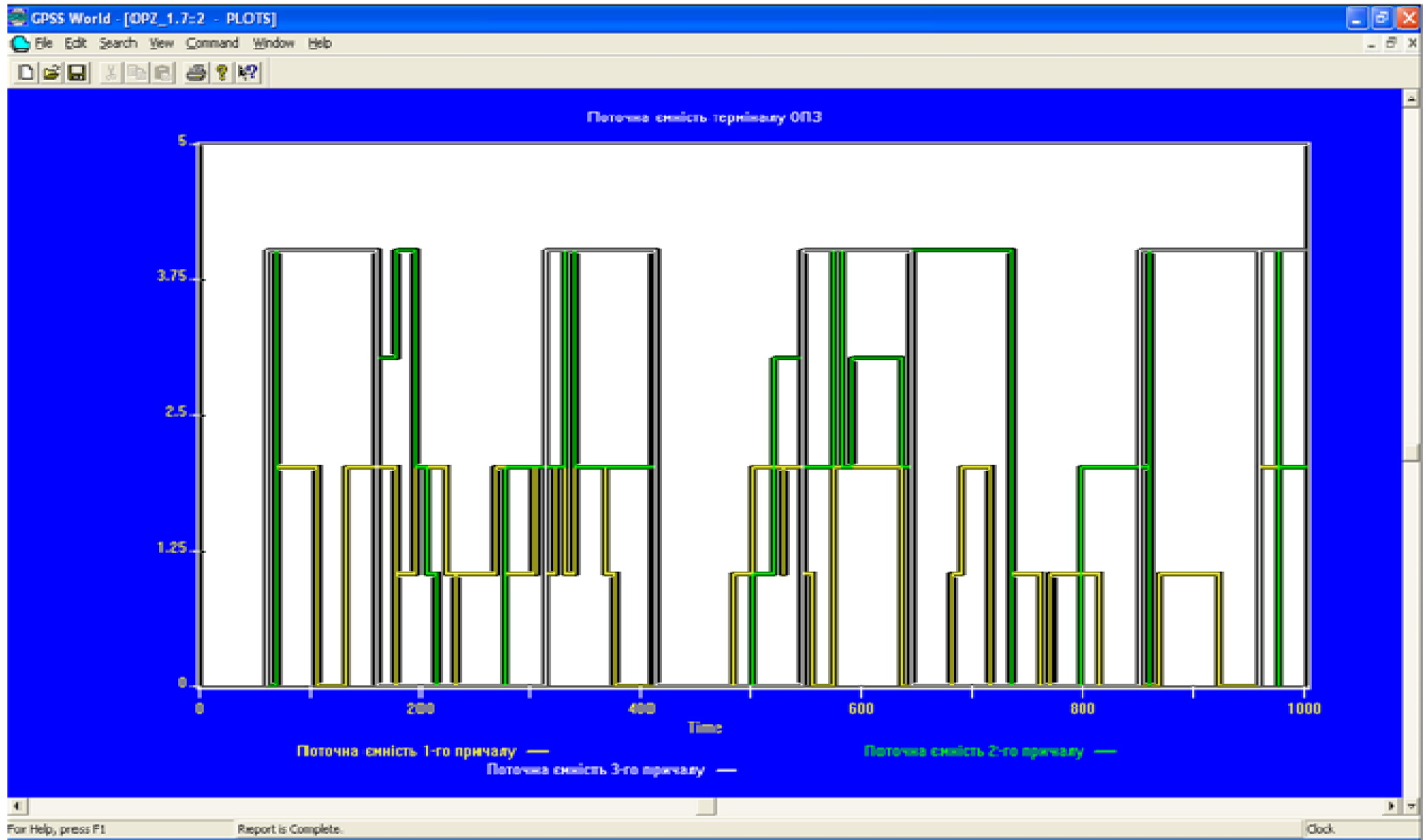


Рисунок 4.6 – Динаміка коефіцієнтів використання трьох причалів у збільшеному масштабі початкової ділянки

Наступним етапом графічної побудови буде формування графіків зайнятості ємності причалів як пристроїв накопичення, тобто якщо великий причал (2 або 3) має чотири одиниці місткості, а маленький корабель одну одиницю, тому необхідно простежити у динаміці кількість вільних одиниць на кожному причалі у кожний дискретний момент часу. Для цього виконано відповідне настроювання параметрів відображення вільної ємності для трьох причалів у вікні PLOT Window (рис. 4.7).

Проте рис. 4.8 також наведений для моделювання протягом року, тому для більш детального вивчення ділянки, розширимо їх до відповідних параметрів, шляхом зміни початкового або кінцевого часів моделювання (рис. 4.9).

Таким чином у даному розділі магістерської роботи були отримані статистичні та графічні результати моделювання, найважливішими з яких є: розподілення транзитного часу для кожного типу кораблів, яке складає для маленьких, середніх та великих відповідно 44, 74 та 115 годин (поданого у вигляді трьох гістограм); коефіцієнти використання трьох причалів (причали 1, 2, 3 відповідно 52%, 49%, 54%, що графічно подані на графіках з різними масштабами) та графіки зайнятості поточної ємності для кожного з трьох причалів.

В результаті проведеного імітаційного моделювання можна зробити висновки, що кожний з трьох причалів при існуючому розкладі обслуговування ОПЗ не достатньо використовується. Збільшити їх використання можна за рахунок оптимізації швартування кораблів та керування ними при вході до берегової зони.

Ця оптимізація призведе до більш повного використання морського завантажувального терміналу та раціональнішого його використання без залучення додаткових матеріальних та трудових ресурсів, проте дану оптимізацію необхідно виконувати спочатку у межах сформованої імітаційної моделі, детально аналізувати отримані статистичні та графічні характеристики, декілька разів змоделювати роботу шлюзу, встановити довжину черг обслуговування з аналізом максимальної позиції та кількості кораблів, що очікують і лише потім переходити до впровадження отриманих результатів на реальний об'єкт, тобто морський термінал ОПЗ.

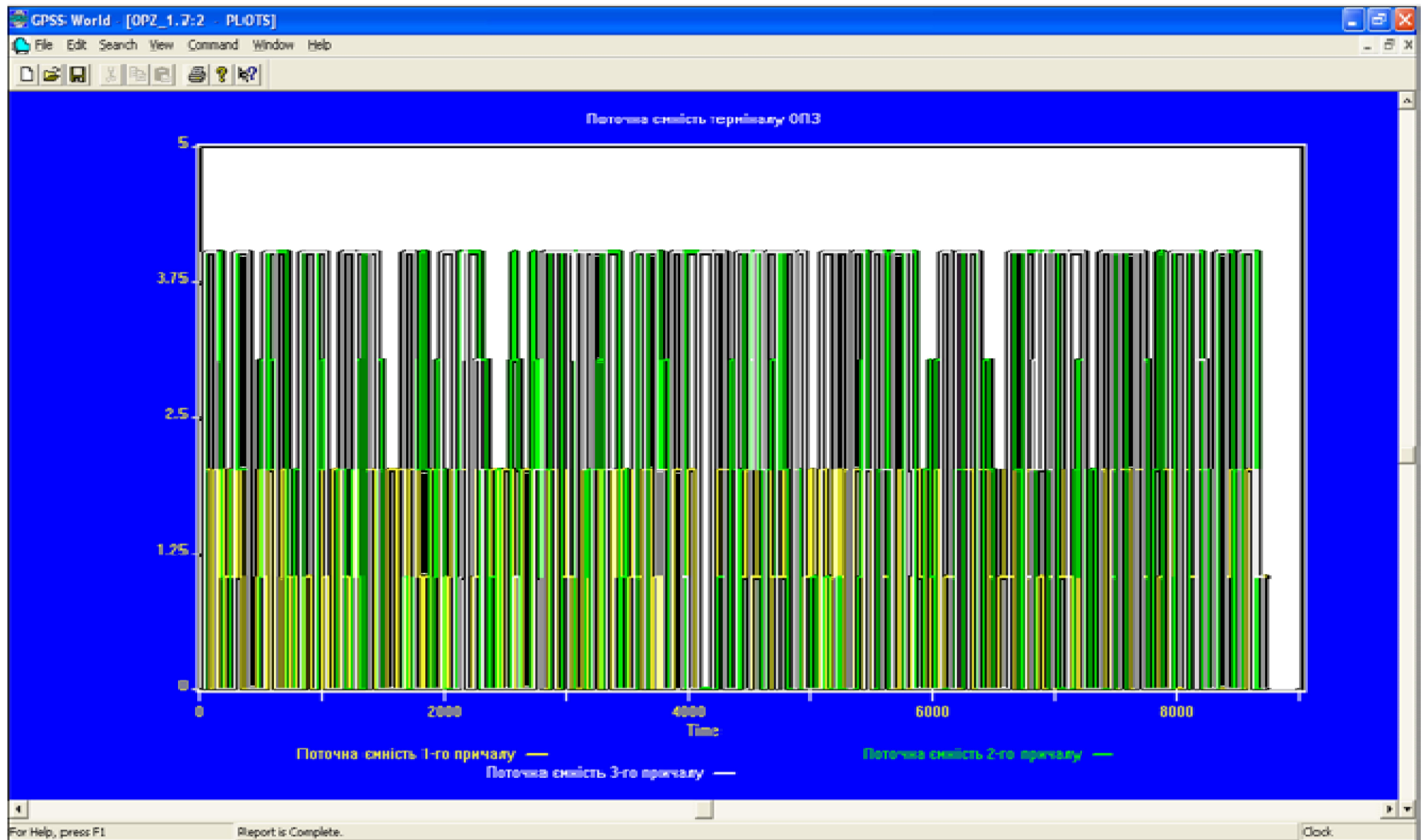


Рисунок 4.7 – Настроювання параметрів графічного відображення вільної ємності для трьох причалів

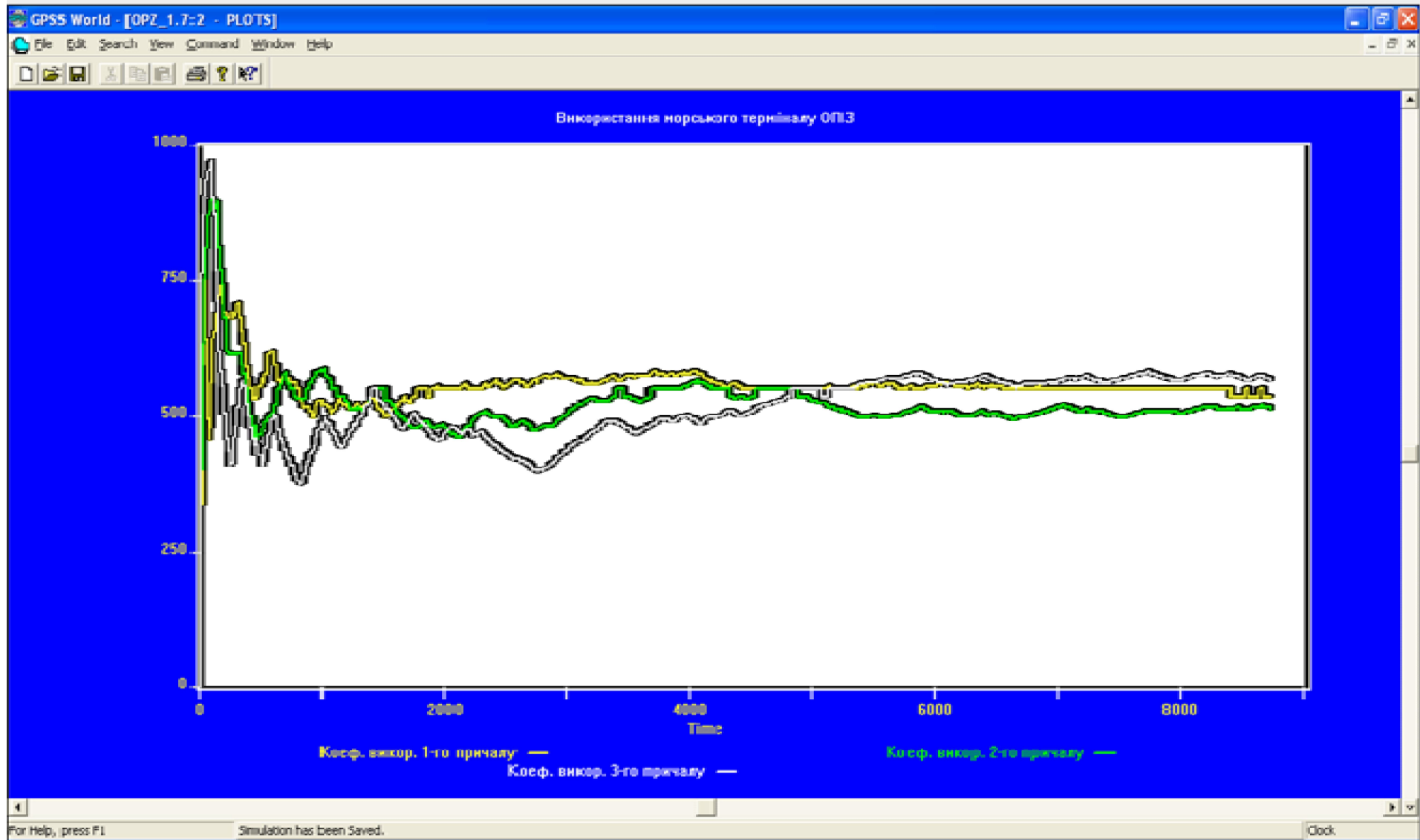


Рисунок 4.8 – Графічні відображення розглянутої зайнятості кожного з трьох причалів



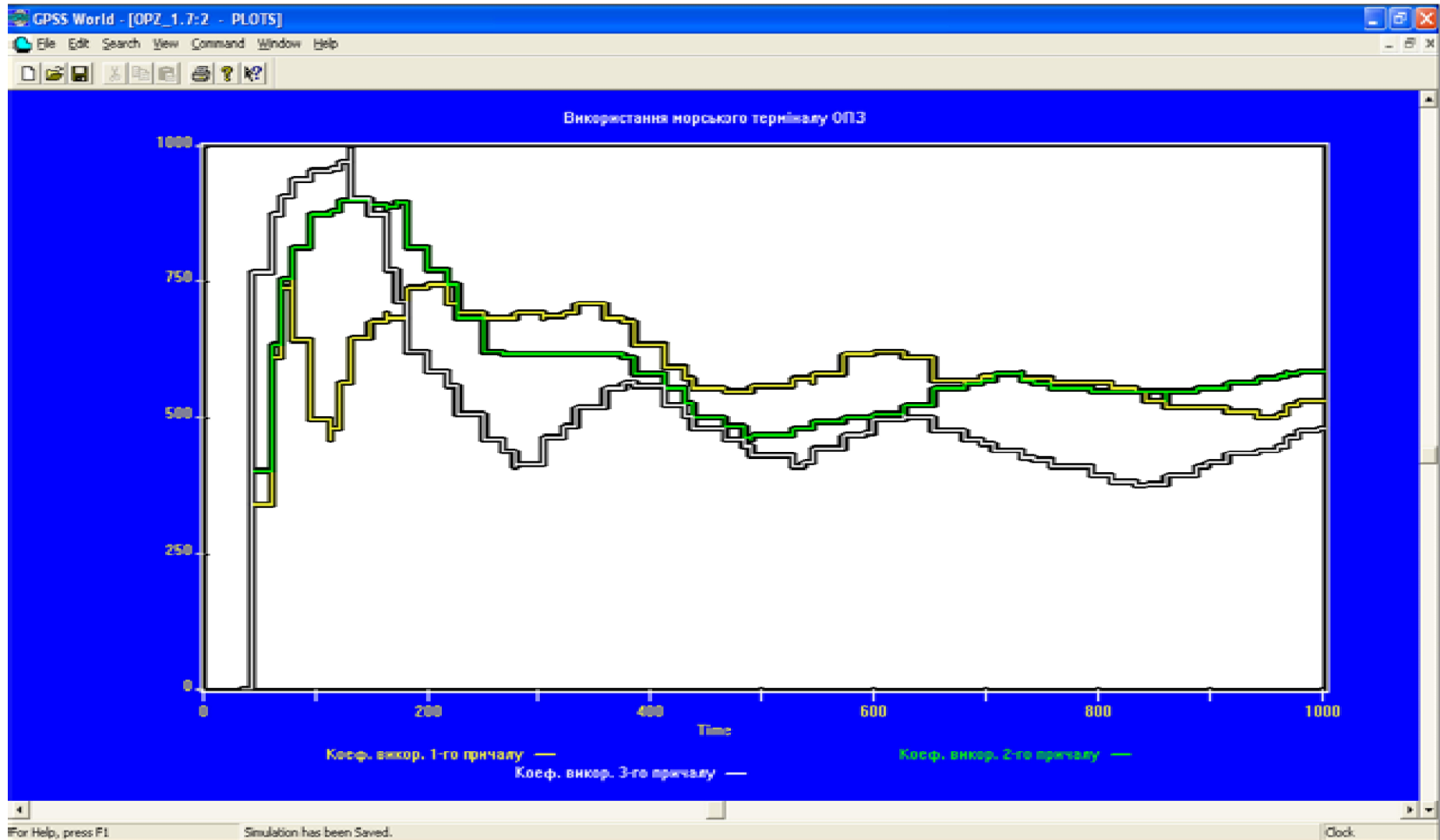


Рисунок 4.9 – Розширення ділянки до відповідних параметрів, шляхом зміни початкового або кінцевого часів моделювання

## ВИСНОВКИ

Використання імітаційного моделювання для управління підприємством робить будь-яку компанію більш конкурентоздатною за рахунок підвищення її керованості й адаптованості до змін ринкової кон'юнктури. Подібна підхід до вирішення транспортної задачі дозволяє:

- підвищити ефективність управління заводом за рахунок забезпечення керівників і фахівців максимально повною, оперативною й достовірною інформацією на основі єдиного банку даних;
- поліпшити діловодство за допомогою оптимізації й стандартизації документообігу;
- знизити витрати на ведення справ за рахунок імітаційного моделювання обробки інформації, регламентації й спрощення доступу співробітників компанії до потрібної інформації;
- забезпечити надійний облік і контроль надходжень і витрати коштів на всіх рівнях управління;
- гарантувати повну безпеку й цілісність даних на всіх етапах обробки інформації і багато чого іншого.

Особливість моделювання за допомогою GPSS є те, що можна зберігти звичну термінологію СМО при побудові моделі. У якості об'єктів використовуються повідомлення, черги і таке інше.

Таким чином у даній магістерській кваліфікаційної роботи були отримані статистичні та графічні результати моделювання, найважливішими з яких є: розподілення транзитного часу для кожного типу кораблів, яке складає для маленьких, середніх та великих відповідно 44, 74 та 115 годин (поданого у вигляді трьох гістограм); коефіцієнти використання трьох причалів (причали 1, 2, 3 відповідно 52%, 49%, 54%, що графічно подані на графіках з різними масштабами) та графіки зайнятості поточної ємності для кожного з трьох причалів.

В результаті проведеного імітаційного моделювання можна зробити висновки, що кожний з трьох причалів при існуючому розкладі обслуговування ОПЗ не достатні. Збільшити їх можна за рахунок оптимізації швартування кораблів та керування їми при вході до берегової зони. Ця оптимізація призведе до більш повного використання морського завантажувального терміналу та раціональнішого його використання без залучення додаткових матеріальних та трудових ресурсів, проте дану оптимізацію необхідно виконувати спочатку у межах сформованої імітаційної моделі, детально аналізувати

отримані статистичні та графічні характеристики, декілька разів змоделювати роботу шлюзу, встановити довжину черг обслуговування з аналізом максимальної позиції та кількості кораблів, що очікують і лише потім переходити до впровадження отриманих результатів на реальний об'єкт, тобто морський термінал ОПЗ.

Для роз'яснення конкретної задачі були побудовані UML діаграми (усього в роботі їх 10). У результаті побудови UML моделей були чітко показані усі шляхи транспортування продукції ОПЗ. Завдяки моделям UML розробнику набагато простіше спланувати подальшу роботу для вирішення проблеми транспортування. В UML моделях було розглянуто варіанти використання не тільки продукції ОПЗ, а й ринки збуту та шляхи збуту. Після того було розроблено загальну алгоритмічну імітаційну модель. Імітаційна модель була реалізована засобами GPSS, складено загальний алгоритм функціонування моделі, а вже виходячи з цього алгоритму було створено програмний код. Також у роботі присутні графіки роботи ОПЗ (9 штук).

В результаті проведеного імітаційного моделювання можна зробити висновки, що робота розробника дає значний шанс підприємству бути більш конкурентоспроможним за рахунок підвищення його керованості й адаптованості до змін ринкової кон'юнктурию.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение. 1980. – 592 с.
2. Правила охорони праці для підприємств громадського харчування. НПАОП 55.0-1.02-96. К: Основа, 2007. – 110 с.
3. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
4. Аверилл М., Кельтон Д. Имитационное моделирование. – СПб.: Питер, Издательская группа BHV. 2004. – 848 с.
5. Бражник А. Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS World. – СПб.: Реноме. 2006. – 439 с.
6. Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В. Имитационное моделирование экономических процессов. – М.: Финансы и статистика. 2006. – 416 с.
7. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
8. Кудрявцев Е. М. GPSSWorld. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс. 2004. – 320 с.
9. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование: Теория и технологии. СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 384 с.
10. Томашевский В. Н., Жданова Е. Т. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 654 с.
11. Арсеньев Б. П., Яковлев С. А. Интеграция распределенных баз данных (монография). – СПб.: Лань, 2001. – 464 с.
12. Колбанев М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи (монография). – СПб.: Издательство СПбГУ. 2002. – 230 с.
13. Кузьменко В. М. Специальные языки программирования. Программные и инструментальные средства моделирования сложных систем. – Харьков: ХНУРЭ, 2001. – 388 с.
14. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. / Под ред. Нейлора Т. М. / М.: Мир, 1975. – 501 с.
15. Руководство по GPSS/PC. Minuteman Software. Перевод с англ. под ред. Якимова И. М. Казань: ФОКС, 1997. – 351 с.
16. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1978. – 232 с.

17. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1985, – 271 с.
18. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
19. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 736 с.
20. Шмуллер Дж. Освой самостоятельно UML 2.0 за 24 часа. Практическое руководство. – М.: Вильямс, 2009. – 416 с.
21. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя. – 5-е изд. – М., СПб.: ДМК Пресс, 2011. – 432 с.
22. Буч Г. UML. Классика CS. – 2-е изд. Пер. с англ.; под общ. ред. О. С. Орлова. – СПб.: Питер, 2010. – 736 с.
23. Гома Х., UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 704 с.
24. Кватрани Т., Rational Rose 2000 и UML. Визуальное моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 176 с.
25. Леоненков А. В., Самоучитель UML. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 304 с.
26. Мацяшек Л. А., Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML. – М.: Вильямс, 2012. – 432 с.
27. Рамбо Дж., UML: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2008. – 656 с.
28. Фаулер М., UML. Основы. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 192 с.