

**КОМПЛЕКС ІМІТАЦІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ПОРТУ**

В.І. Тихонін

ст. викладач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»
Навчально-наукового інституту морського бізнесу
tihonin1960@rambler.ru

Одеський національний морський університет

Анотація. *Визначені та проаналізовані основні фактори які здійснюють вплив на процес перевантаження вантажів в порту. Описаний процес функціонування терміналів порту і запропонована методика визначення їх оптимальних параметрів шляхом імітаційного динамічного моделювання.*

Розроблені блок-схеми і алгоритм побудови імітаційних моделей. Запропоновано використовувати принцип «особливих подій» і визначений їх перелік. Визначені основні вимоги до побудови моделей і визначення їх адекватності.

Ключові слова: *термінали порту, параметри, імітаційне динамічне моделювання, блок-схеми і алгоритм.*

**КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОРТА**

В.И. Тихонин

ст. преподаватель
кафедры «Эксплуатация портов и технология перегрузочных работ»
Учебно-научного института морского бизнеса

Одесский национальный морской университет

Аннотация. *Определены и проанализированы факторы оказывающие влияние на процесс перегрузки грузов в порту. Описан процесс функционирования терминалов порта и предложена методика определения их оптимальных параметров путем имитационного динамического моделирования.*

Разработаны блок-схемы и алгоритм построения имитационных моделей. Предложено использовать принцип «особых событий» и определен их перечень. Определены основные требования к построению моделей и определения их адекватности.

Ключевые слова: *терминалы порта, параметры, имитационное динамическое моделирование, блок-схемы и алгоритм.*

UDC 656.615:658.003

**COMPLEX OF IMITATION DYNAMIC MODELS OPTIMIZATION
OF PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL LOAD COMPLEXES OF PORTA**

V.I. Tikhonin

Senior lecturer

of the Department «Operation of ports and technology of transshipment»
Educational Institute of Marine Business

Odessa National Maritime University

***Abstract.** Definite and analysed factors having influence on the process of overload of loads in port and on treatment of ships and carriages. Their priority is definite. The process of functioning of technological shifting complexes (terminals) of port is described and the method of determination of their optimum parameters is offered by an imitation dynamic design.*

Classification of terminals and models is offered. The basic modify parameters of models and boundary of their changes are definite. The cases of outages of transport vehicles are described. Flow-charts and algorithm of construction of simulation models are developed.

It is suggested to use principle of the «special events» and their list is definite. The basic requirements are definite by the construction of models and determination of their adequacy. The possible complex of optimization parameters of simulation model is offered.

***Keywords:** terminals of port, parameters, imitation dynamic design, flow-charts and algorithm*

Вступ. Завдання оптимізації значень параметрів технологічних перевантажувальних комплексів (ТПК) (терміналів) порту при заданому їхньому завантаженні виникає як при проектуванні, так і при експлуатації ТПК. На етапі проектування оцінка параметрів здійснюється в умовах неповної інформації про майбутні умови роботи ТПК. У процесі експлуатації ТПК реальні умови роботи, як правило, значно відхиляються від умов, прийнятих у проектних розрахунках. Тому в процесі експлуатації ТПК, при складанні планів поповнення порту підйомно-транспортним обладнанням (ПТО) і його реконструкції постійно виникає завдання оптимізації параметрів ТПК для умов його роботи, що змінилися. Із цим завданням нерозривно зв'язане завдання спеціалізації ТПК – визначення оптимального завантаження ТПК при заданих значеннях його параметрів (зворотне завдання). Тому можна затверджувати, що завдання оптимізації параметрів ТПК є однією з найважливіших завдань в експлуатації портів і представляє великий науковий і практичний інтерес.

Аналіз основних досягнень і літератури. Завдання оптимізації значень параметрів ТПК є досить складним, тому що функціонування ТПК зв'язане з такими випадковими процесами, як прибуття а відправлення транспортних засобів до порту, їхнє завантаження й розвантаження,

зберігання вантажів на складі. Відомі аналітичні методи рішення цього завдання складні, спрямовані на оптимізацію окремих параметрів ТПК у відриві від системи інших параметрів, бувають різного роду допущенні про характер прибуття транспортних засобів у порт, умовах їхньої обробки й ін. [1; 2; 3]. Для цих цілей часто використовується теорія масового обслуговування, яка, як було доведено в [4], для опису функціонування порту і його взаємодії із залізницею не підходить. Перераховані недоліки значно знижують можливість практичного застосування цих методів, точність одержуваних при їх допомозі результатів.

Для рішення такого завдання пропонується використовувати метод імітаційного моделювання, тому що в цей час це єдиний ефективний метод практичного дослідження складних систем, до яких відносяться й ТПК [5]. Імітаційна модель дозволяє врахувати такі особливості функціонування ТПК, як наявність дискретних і безперервних величин, нелінійні їхні характеристики, різного роду випадкові впливи й інші фактори, які досить часто є непереборною перешкодою при аналітичних методах дослідження.

До одних з перших робіт з імітаційного моделювання виробничої діяльності порту відносяться [6; 7]. В [8; 9] для побудови імітаційної моделі порту пропонується використовувати схеми кусково-лінійних агрегатів (КЛА), що значно зменшує трудомісткість підготовки моделі, але при цьому знижується точність одержуваних рішень, тому що застосування КЛА неминує сполучене з рядом припущень та істотних спрощень моделюючого процесу. Такий підхід неприйнятний для імітації роботи окремого ТПК, коли в процесі моделювання необхідно розглядати процес перевалки окремих партій вантажу, зміну в часі стану завантаження складу, транспортних засобів, а також вплив інших істотних факторів, які неможливо врахувати в схемах КЛА.

Імітаційне моделювання роботи ТПК уже використовувалося для цілей проектування в [10]. Однак запропонована для цього модель відрізняється високим рівнем ад'єктивування вихідних даних і процесів які моделюють, що цілком відповідає вимогам, пропонованим до точності розрахунків, виконуваних на стадії проектування, і обумовлено відсутністю достовірних даних про реальні умови функціонування ТПК.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою дослідження є побудова комплексу імітаційних динамічних моделей для визначення оптимальних значень параметрів ТПК, а об'єктом розгляду – ТПК порту або термінал окремої стивідорної компанії, елементами якого є:

морський вантажний фронт (МВФ), який включає причал, фронти обробки суміжних видів транспорту, технологічні лінії (ТЛ) та призначений для перевалки вантажу із судна на склад і назад або по прямому варіанту;

тиловий вантажний фронт (ТВФ), який включає фронти обробки суміжних видів транспорту, ТЛ та призначений для перевалки вантажу з суміжних видів транспорту на склад і назад; склад.

Матеріали досліджень. Для ТПК які експлуатуються, на відміну від проєктованих, представляється можливим (через наявність інформації) врахувати вплив на роботу ТПК таких істотних факторів як:

кількість вантажу на судні й структур його вантажного плану;
кількість вагонів у поїзді (потягу) і його структурний склад по видах вагонів і вантажів;
організація й технологія зберігання вантажів на складі;
організація виконання маневрових робіт на припортовій станції;
можливість попереднього накопичення вагонів на припортовій станції й ін.

В роботі пропонується комплекс імітаційних динамічних моделей для визначення оптимальних значень параметрів ТПК універсального призначення який експлуатуються, з урахуванням перерахованих факторів. Для цього розроблені моделі ТПК, що спеціалізуються на перевантаженні:

1. Імпортних і каботажних вантажів прибуття з перевалкою всього вантажу через склад;
2. Імпортних і каботажних вантажів прибуття з перевалкою всього вантажу по прямому варіанту;
3. Імпортних і каботажних вантажів прибуття із частковою перевалкою вантажу по прямому й складському варіантах;
4. Експортних і каботажних вантажів відправлення з перевалкою всього вантажу через склад;
5. Експортних і каботажних вантажів відправлення з перевалкою всього вантажу по прямому варіанту;
6. Експортних і каботажних вантажів відправлення із частковою перевалкою вантажу по прямому й складському варіантах.

Така класифікація ТПК та їхніх моделей обумовлена тим, що спосіб функціонування ТПК із 1 по 3 істотно відрізняється від ТПК із 4 по 6. У першому випадку на ТПК прибуває вже сформована суднова партія, яка має певну величину й структуру (вантажний план судна, що складається з окремих партій вантажу). У другому випадку суднова партія відправляється з порту, вона попередньо комплектується як по величині, так і за структурою в міру завезення вантажів у порт суміжними видами транспорту. Хоча моделі 1 і 2 можна розглядати як окремі по відношенню до моделі 3, а 4 і 5 – відносно 6, однак на їх необхідно реалізувати як самостійні моделі. Це викликано тим, що їхнє відповідне ад'єктивування приводить до значного збільшення трудомісткості розрахунків і витрат часу при виконанні обчислювальних експериментів.

Параметри моделі можна умовно розділити на керовані (які варіюються) і розрахункові. До керованих параметрів віднесені параметри, які на практиці піддаються цілеспрямованій зміні. У розглянутих моделях це: кількість ТЛ на МВФ, кількість ТЛ на ТВФ, площа (ємність) складу, кількість і довжина залізничних вантажних фронтів (ЗВФ), які обслуговують ТПК, частота (розклад) подачі вагонів на ЗВФ. Питання про визначення

оптимальних значень цих параметрів виникає при складанні планів поповнення порту ПТО, реконструкції ТПК і припортової станції, розробці «Єдиного технологічного процесу роботи під'їзної колії й станції примикання» (ЄТП). Розрахункові параметри, на відміну від керованих, не задаються, а обчислюються по певному алгоритму залежно від прийнятих значень керованих параметрів.

Така класифікація параметрів ТПК досить умовна, так як той самий параметр залежно від розв'язуваного завдання може бути як керованим, так і розрахунковим.

Область зміни значень керованих параметрів визначається в такий спосіб:

кількість ТЛ на МВФ змінюється від кількості ТЛ, яка необхідна для освоєння прогнозованого вантажообігу ТПК до верхньої границі концентрації ТЛ на судні;

кількість ТЛ на ТВФ змінюється від кількості ТЛ, яких необхідно для освоєння прогнозованого вантажообігу ТПК до максимально можливого на даному фронті кількості ТЛ, обумовленого з урахуванням розмірів ТВФ, фронту роботи однієї ТЛ, кількості дверей і ліфтів на складі;

частота подачі вагонів на ЗВФ і їхні параметри змінюються від значень, які необхідні для освоєння прогнозованого вантажообігу ТПК до максимально можливих значень, які визначаються конкретними умовами функціонування ТПК і технологією роботи припортової станції;

можливості нарощування площі (ємності) складу визначаються конкретними умовами функціонування ТПК, який моделюють.

Значення керованих параметрів ТПК коливаються в досить великому діапазоні. Тому кількість альтернативних варіантів можливих сполучень (варіантів) значень керованих параметрів велике й дорівнює

$$N = \prod_{i=1}^m N_i,$$

де N_i – кількість розглянутих значень i -го керованого параметра, $i = \overline{1, m}$.

Хоча ці варіанти відрізняються друг від друга значеннями керованих параметрів, однак кожний передбачає необхідність освоєння прогнозованого вантажообігу. Завдання оптимізації параметрів ТПК полягають у виборі з безлічі альтернативних варіантів такого сполучення значення керованих параметрів, для якого показник ефективності процесу функціонування ТПК прийме найменше значення. Як такий показник прийнятий економічний критерій – мінімум сумарних наведених витрат по порту й рухомому складу суміжних видів транспорту за час їхнього перебування в порту.

При імітаційному моделюванні роботи ТПК, алгоритм який реалізує модель, відтворює по елементарних явищах процес функціонування реальної системи в часі, зберігаючи їхню логічну структуру й послідовність протікання.

Модель 1 складається із блоків, представлених на рис. 1, 2, 5, 6, 7, 10;

модель 2 – із блоків, представлених на рис. 1, 3, 4, 10;

модель 3 – із блоків, представлених на рис. 1, 2, 3, 5, 6, 10;

модель 4 – із блоків, представлених на рис. 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10;

модель 5 – із блоків, представлених на рис. 1, 3, 4, 8, 10;

модель 6 – із блоків, представлених на рис. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

За допомогою моделей можна одержати інформацію про різні характеристики ТПК як в окремі моменти часу, так і в сумарному розрізі. У моделях ТПК представлені основні технологічні процеси, що протікають у реальній системі:

до ТПК для обробки надходять морські судна й залізничні поїзди; інтенсивність завантажно-розвантажувальних робіт (ЗРР) по варіанту «судно-склад» і назад визначається кількістю й продуктивністю ТЛ на МВФ;

інтенсивність ЗРР по варіантах «судно-вагон», «склад-вагон» і назад визначається спроможністю по переробці ЗВФ, яка розраховується з врахуванням кількості й продуктивності ТЛ, кількості й довжини ЗВФ, частоти (розкладу) подачі вагонів на ЗВФ;

транспортні засоби, що надходять для обробки на ТПК можуть застати його зайнятим, у цьому випадку вони очікують початку обробки й фіксується час очікування;

якщо під час розвантаження судна на ТПК прибуває поїзд із порожніми вагонами, то він направляється для завантаження по прямому варіанту;

якщо під час завантаження судна прибуває поїзд із завантаженими вагонами, то по прямому варіанту обробляються тільки ті вагони, які містять партії вантажів, що відповідають портам розвантаження даного судна (його вантажному плану);

склад здійснює приймання, накопичення й відправлення вантажу. Площа (місткість) складу й окремих його частин, яка спеціалізуються на зберіганні окремих найменувань (партій) вантажів, обмежена. Тому транспортні засоби, що надходять на обробку в період згущеної подачі можуть простоювати через відсутність вільної площі (вантажів) на складі.

У алгоритмі що моделює, передбачені наступні випадки простою суден:

причал зайнятий раніше прибулим судном;

немає вільної складської площі та порожніх вагонів (при розвантаженні);

немає вантажу на складі й вагонів з вантажем для завантаження даного судна (при завантаженні);

відсутній залізничний рухомий склад (при прямому варіанті);

діють метеорологічні перешкоди.

У алгоритмі, що моделює, передбачені наступні випадки простою вагонів:

ЗВФ зайнятий обробкою раніше прибулого поїзда;
немає вільної складської площі та порожнього судна у причалі, для приймання вантажу (партії вантажу), яка перебуває на поїзді (при розвантаженні);

немає вантажу на складі й судна з вантажем у причалі (при завантаженні);

відсутні судна (прямий варіант);

діють метеорологічні перешкоди.

Для моделювання роботи ТПК використовується принцип «особливих подій» [5]. Здійснення цього принципу при програмній реалізації істотно скорочує час рішення завдання, тому що в розрахунках пропускають періоди, коли параметри системи не змінюються. У розглянутій моделі такими подіями є:

прихід транспортних засобів під обробку;

початок обробки транспортного засобу;

завершення обробки транспортного засобу;

початок обробки партії вантажу;

закінчення обробки партії вантажу;

повне заповнення складу вантажами;

повне спорожнювання складу від вантажів;

початок дії метеорологічних перешкод;

завершення періоду моделювання.

Процес функціонування ТПК має складний імовірнісний характер, який обумовлений впливом на систему як зовнішніх, так і внутрішніх випадкових факторів, досить різноманітних по своїй природі й ступеню впливу. У якості таких факторів у моделі прийняті:

інтервали часу між послідовними моментами прибуття суден під обробку;

параметри (тип) прибулого судна;

кількість вантажу на судні й структура його вантажного плану;

інтенсивність ЗРР;

інтервали часу між послідовними моментами прибуття поїздів (подач вагонів) під обробку;

кількість вагонів у поїзді та його структурний склад по видах вагонів і вантажів;

завантаження складу на початок періоду моделювання;

затримки в обробці транспортних засобів через метеорологічні перешкоди.

Як період моделювання (однієї реалізації процесу) приймається один рік роботи ТПК. Для забезпечення заданої точності розрахунків кількість реалізацій процесу який моделюють повинен бути досить великим [5]. У зв'язку з тим, що робота ТПК може характеризуватися декількома показниками, збіжність процесу моделювання оцінюється по стійкості показника, що має найбільший коефіцієнт варіації.

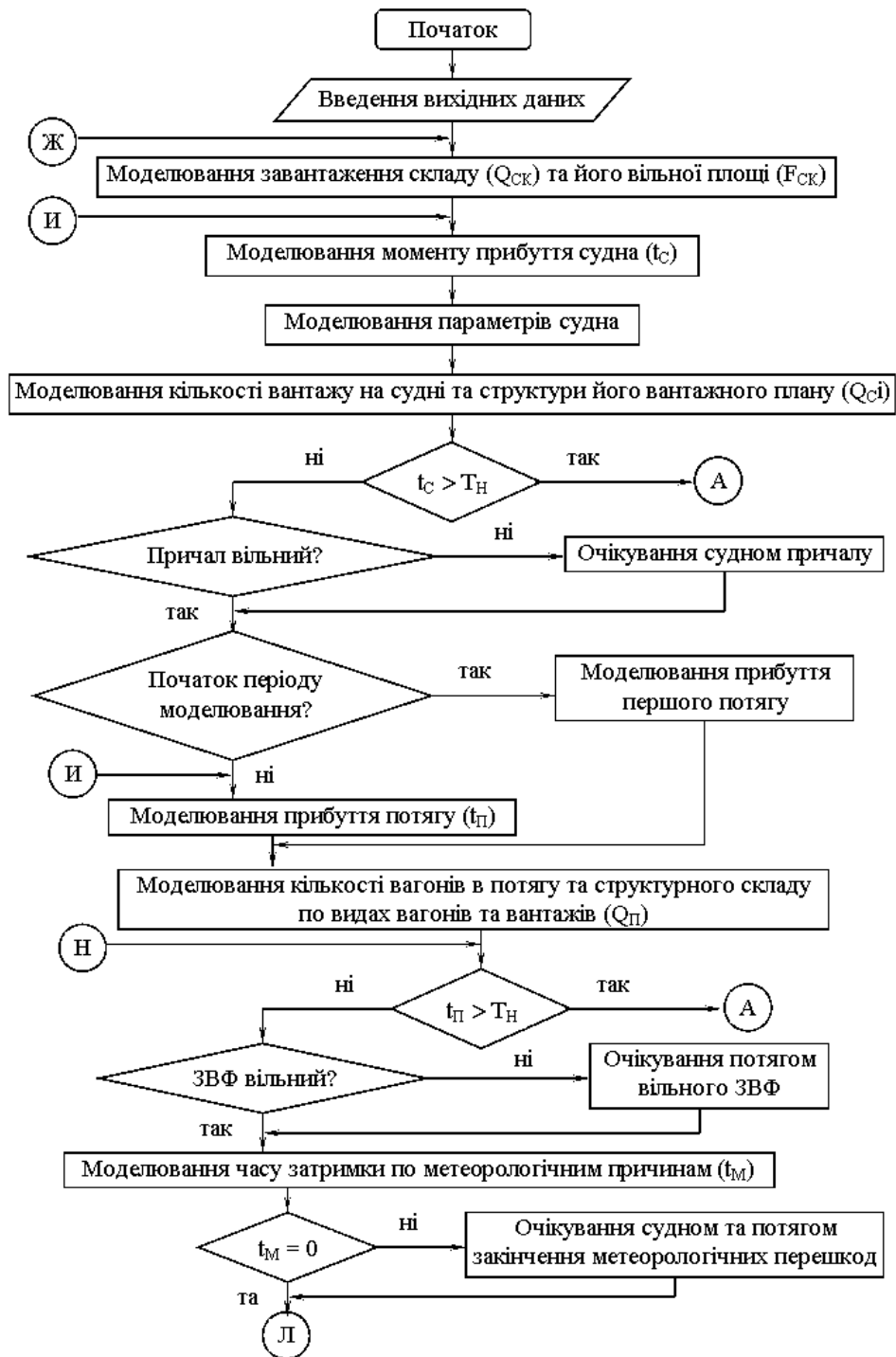


Рис. 1

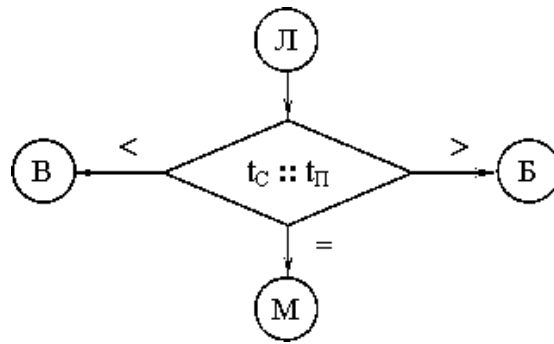


Рис. 2

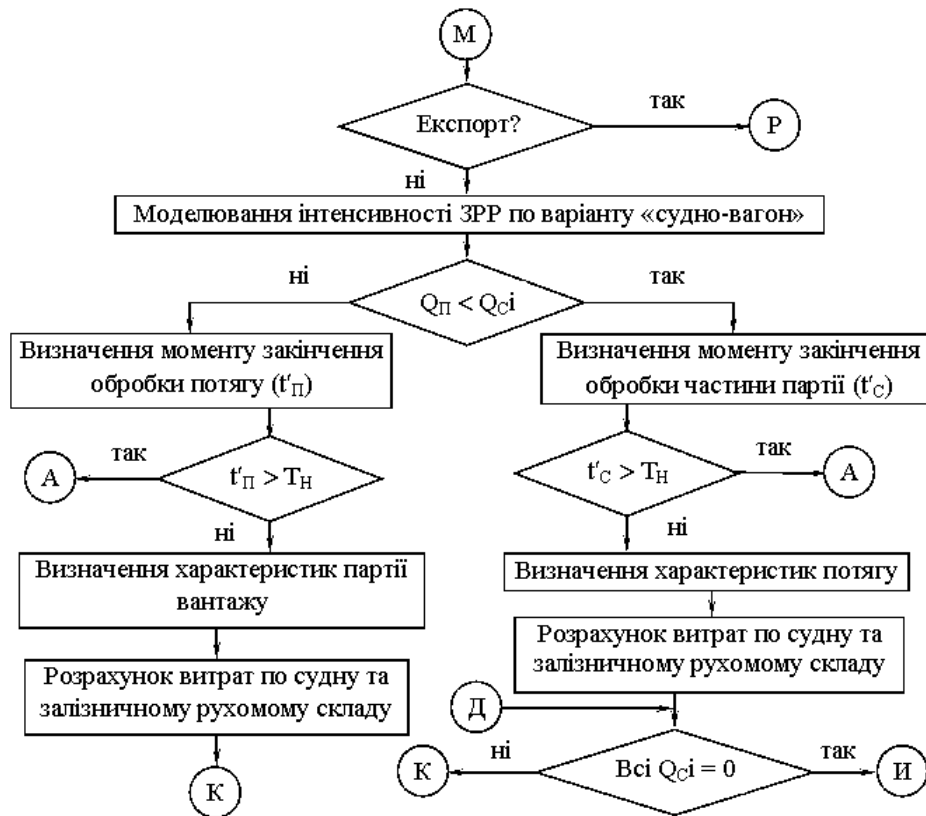


Рис. 3

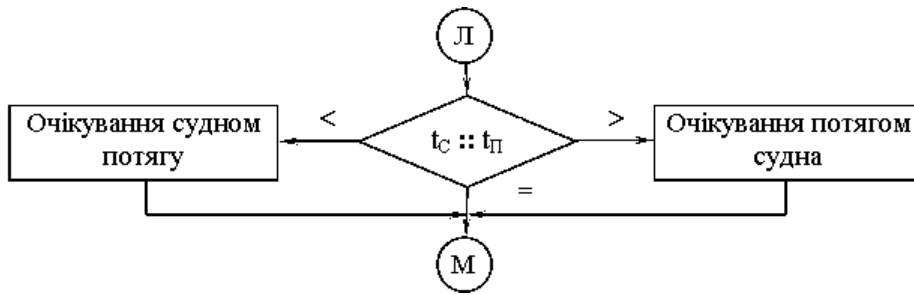


Рис. 4

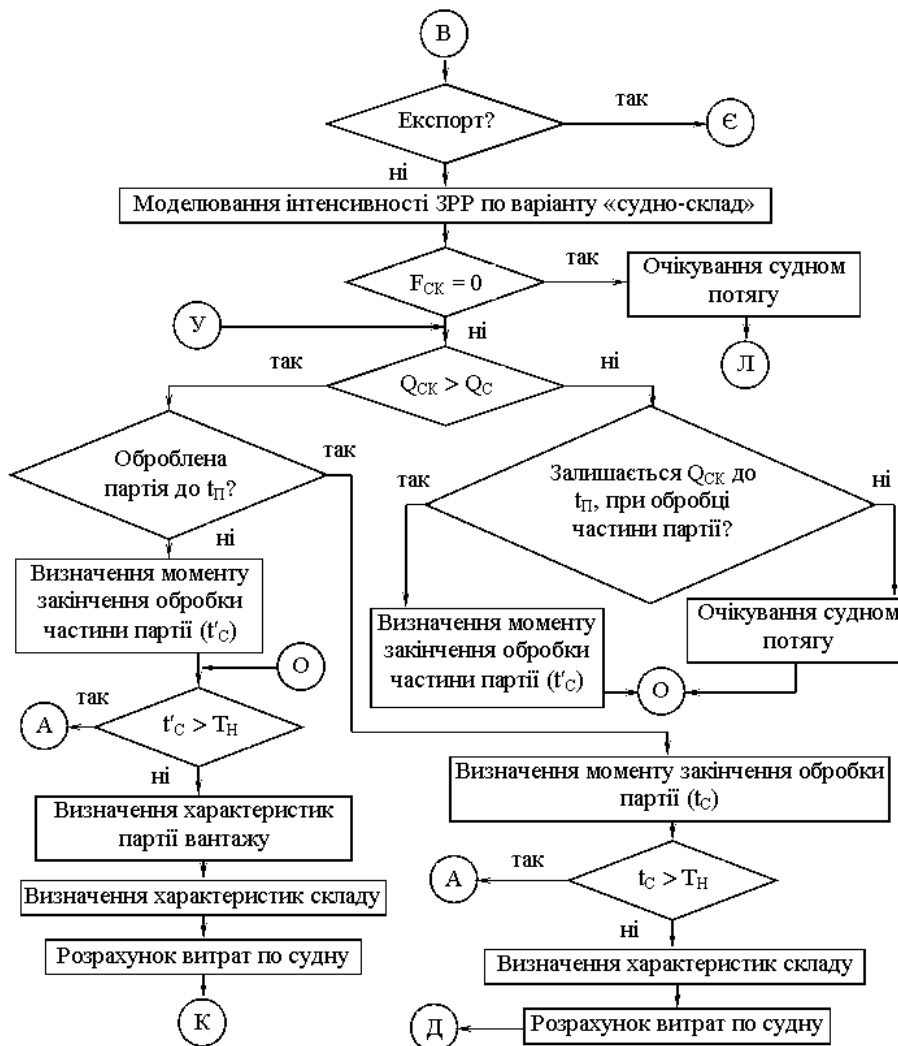


Рис. 5

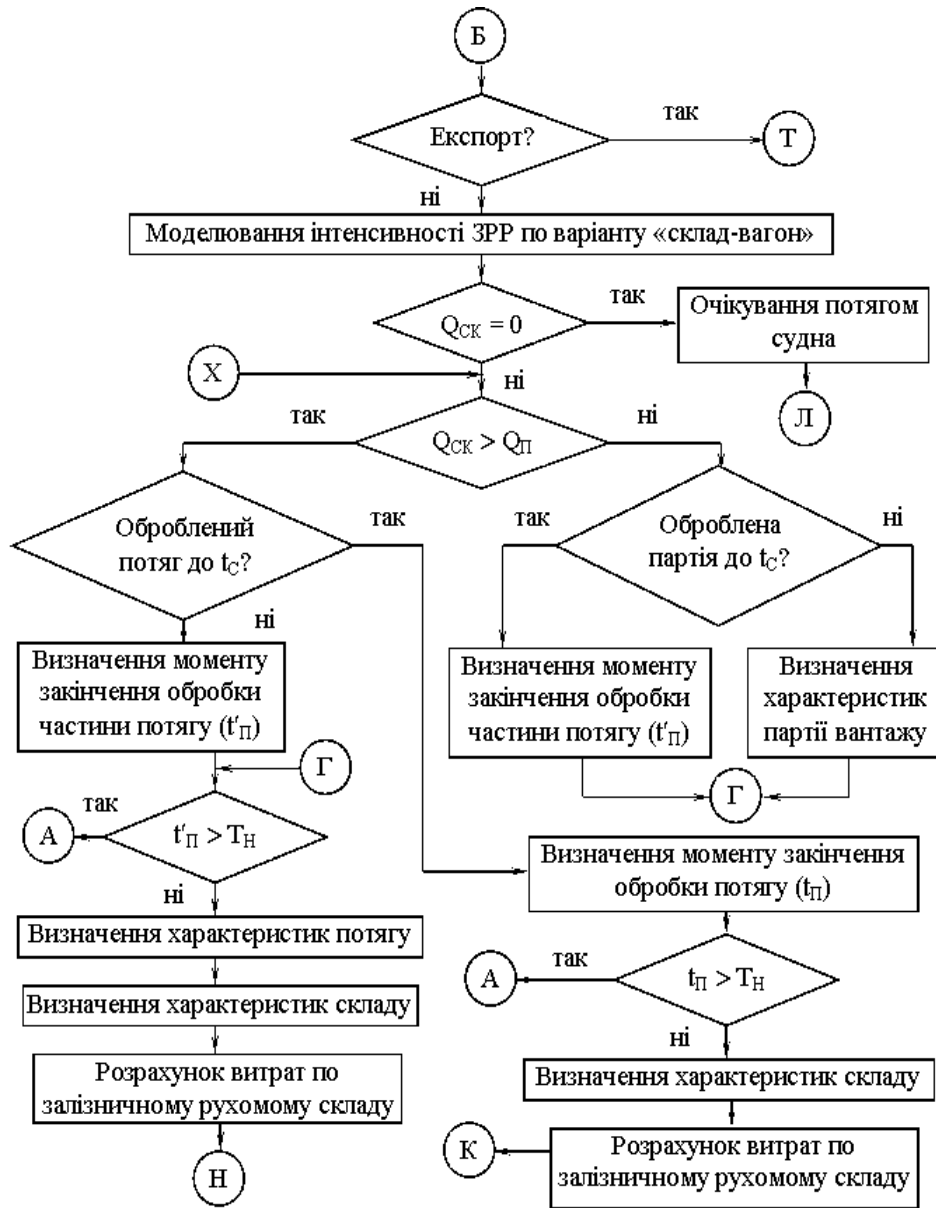


Рис. 6

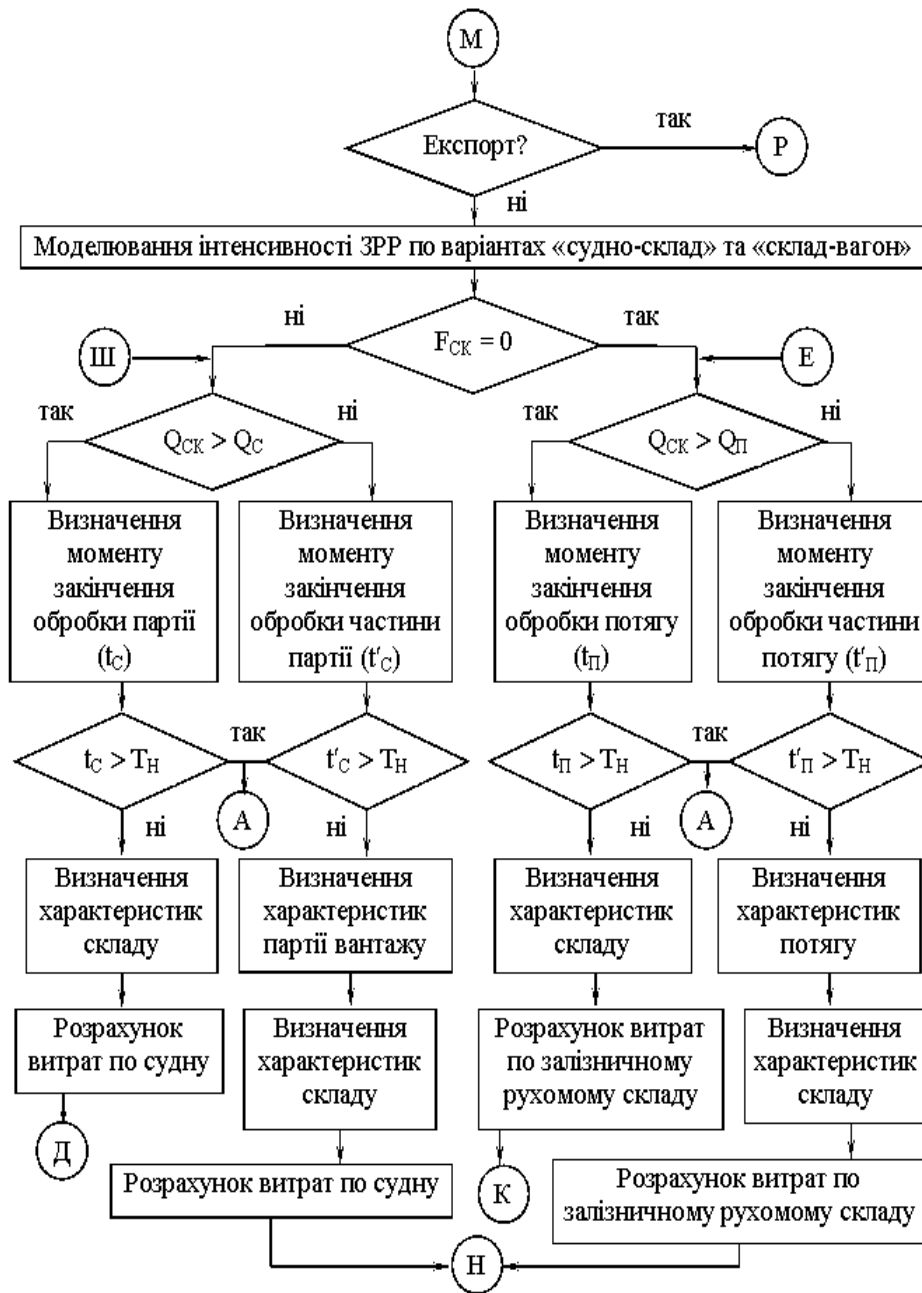


Рис. 7

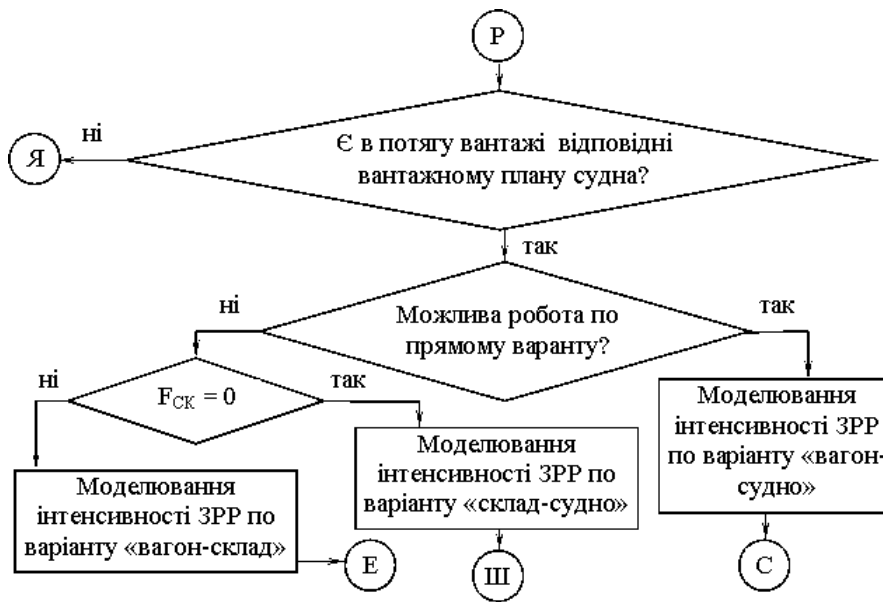


Рис. 8

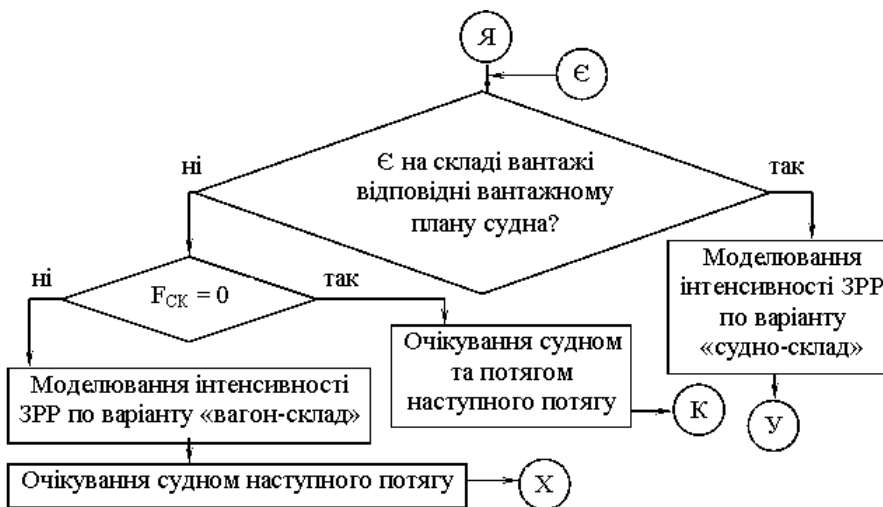


Рис. 9

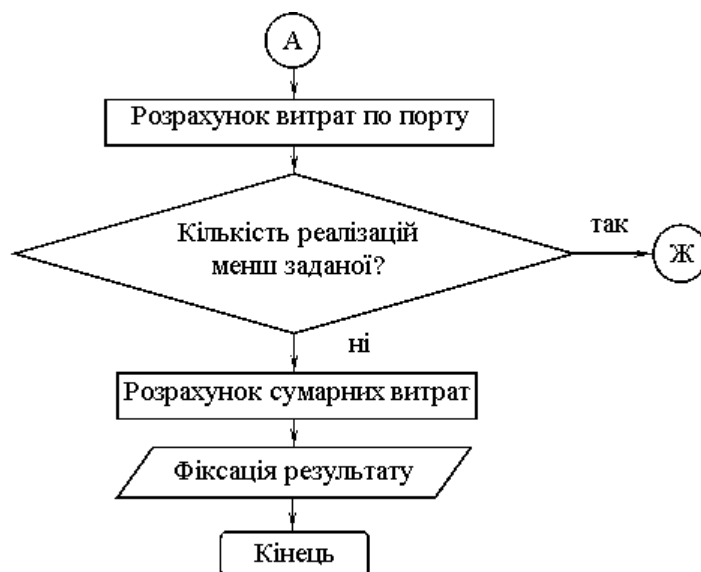


Рис. 10

Результати досліджень. Запропоновано алгоритм побудови комплексу імітаційних динамічних моделей на підставі компонування окремих складових процесу їх роботи. Наведені блок-схеми дозволяють врахувати особливості здійснення ЗРР, побудувати моделі для розрахунку оптимальних параметрів будь-яких ТПК універсального призначення та охопити повний комплекс операцій, які здійснюються на них.

Висновки. При розрахунках оптимізація параметрів ТПК може здійснюватися не тільки за економічним критерієм, але й з обліком наступних техніко-економічних показників, обумовлених для кожного варіанта: валової інтенсивності обробки суден у порту; тривалості знаходження суден, поїздів (потягів) і вагонів під ЗРР і на простої; тривалість простою суден через неподання поїздів; кількість оброблених за рік суден і поїздів. Збіжність процесу моделювання оцінювалася на підставі одного показника – сумарних наведених витрат, при цьому кількість реалізацій процесу що моделює для одного ТПК повинна складати не менш 500.

Сучасний морський торговельний порт, як правило, складається із сукупності ТПК (терміналів) різної спеціалізації. На базі запропонованих імітаційних динамічних моделей роботи ТПК, як програмних модулів, можна скомпонувати імітаційну модель будь-якого конкретного порту, на базі якої можна вирішувати завдання, пов'язані з оптимізацією параметрів не тільки окремих ТПК (терміналів), але й порту в цілому. За допомогою запропонованих моделей можна так само досліджувати вплив надійності використовуваного ПТО на значення параметрів ТПК. Однак докладне обговорення цих питань виходить за рамки цієї роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дукельский А.И., Страхов В.М. Технично-экономическое обоснование выбора портовых перегрузочных машин // *Тр. ЦНИИЭВТ.* – Вып. 128. – М.: Транспорт, 1977. – 62 с.
2. Суколенов А.Е. Методика обоснования на ЭВМ оптимальной механовооруженности причалов // *Тр. ЦНИИЭВТ.* – Вып. 85. – М.: Транспорт, 1972. – 199 с.
3. Зильдман В.Я., Поддубный Г.В. Влияние резервов складских емкостей на простой транспортных средств в порту при отсутствии оперативного регулирования потоков грузов // *Экономика и математические методы.* Т. IX. – Вып. 6. – М.: Наука, 1973. – С. 1094-1106.
4. Малаксиано А.А., Тихонин В.И. Статистическое моделирование обслуживания транспортных средств в порту // *Зб. наук. праць НУК.* – Миколаїв: НУК, 2004. – № 2 (395). – С. 142-151
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 355 с.
6. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Исследование поведения системы нефтебаза – морской порт методом статистического моделирования // *Первая Всесоюзная конференция по оптимизации и моделированию транспортных сетей: Сб. стат. Ин-т кибернетики АН УССР.* – Киев, 1967. С. 70-75.
7. Щелканов А.Г. Моделирование и оптимизация процесса перевалки на ЭВМ // *Первая Всесоюзная конференция по оптимизации и моделированию транспортных сетей: Сб. стат. Ин-т кибернетики АН УССР.* – Киев, 1967. – С. 107-109.
8. Ананьина В.З. Оптимальная организация перегрузочного процесса в морских портах: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Киев, 1979. – 46 с.
9. Дидорчук Н. П., Орловский П. Н. Структура динамической модели: морской торговый порт – железнодорожная припортовая станция // *Совершенствование экономики и управления морским транспортом.* – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. – С. 88-90.
10. Романовский Ф.Д., Бреговский А.М. Методика комплексной оптимизации параметров технологических перегрузочных комплексов универсального назначения // *Морские гидротехнические сооружения и их оборудование.* – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. – С. 115-119.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2018 р.