

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ВУЗЛА

**Є.В. Нагорний, професор, д. т. н., ХНАДУ, В.С. Наумов, професор, д. т. н.,
Краківська Політехніка, Я.В. Літвінова, асистент, НГУ**

***Анотація.** Запропонована імітаційна модель функціонування мультимодального транспортного вузла. Розглянуті альтернативні варіанти технології обслуговування потоку заявок у транспортному вузлу. На базі транспортного вузла Дніпропетровського річкового порту проведені експериментальні дослідження, описані результати імітаційного експерименту.*

***Ключові слова:** транспортний вузол, технологічний процес, логістичне управління, імітаційна модель, критерій ефективності*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

**Е.В. Нагорный, профессор, д. т. н., ХНАДУ, В.С. Наумов, профессор, д. т. н., Кра-
ковская Политехника, Я.В. Литвинова, ассистент, НГУ**

***Аннотация.** Предложена имитационная модель функционирования мультимодального транспортного узла. Рассмотрены альтернативные варианты технологии обслуживания потока заявок в транспортном узле. На базе транспортного узла Днепропетровского речного порта проведены экспериментальные исследования, описаны результаты имитационного эксперимента.*

***Ключевые слова:** транспортный узел, технологический процесс, логистическое управление, имитационная модель, критерий эффективности*

SIMULATION MODEL OF MULTIMODAL TRANSPORT NODE FUNCTIONING

**Ye.V. Nagorny, Prof., Dr. Sc. (Eng.), KhNAHU,
V.S. Naumov, Prof., Dr. Sc. (Eng.), Cracow University of Technology,
Ya.V. Litvinova, assistant, National Mining University**

***Abstract.** A simulation model of the multi-modal transport hub functioning has been proposed. Alternative variants of technology of requests flow servicing in a transport hub have been described. In the paper the direct variant of cargo handling, reloading through the warehouse and mixed variant of servicing have been considered. On the basis of the transport hub of the Dnepropetrovsk River Port the experimental studies have been carried out. The results of the simulations have been provided.*

***Key words:** transport node, technological process, logistics management, simulation model, efficiency criterion*

Вступ

Транспортні вузли являються структурними елементами логістичних ланцюгів, а в їх складі – виступають як елементи технологічних си-

стем доставки вантажів, що являють собою сукупність технічних, технологічних, комерційних, правових рішень, які реалізуються із залученням багатьох посередників, найчастіше – декількох видів транспорту, та спря-

мовані на організацію і здійснення процесу доставки вантажів від вантажовідправника до вантажоодержувача [1]. Логістичне управління технологічними процесами функціонування транспортних вузлів передбачає використання системного підходу як основного інструменту управління логістичними системами. При цьому взаємодія підсистем транспортного вузла як логістичної системи має розглядатися на рівні потоків – матеріального і супутніх йому інформаційних і фінансових потоків.

Моделі функціонування транспортних вузлів є найчастіше основним інструментом для обґрунтування рішень щодо управління процесами обслуговування матеріальних потоків.

Аналіз публікацій

Моделі транспортного вузла як складної системи взаємодіючих елементів прийнято створювати із застосуванням методів системного аналізу [2], сутність яких полягає у виявленні зв'язків між складовими об'єкту дослідження та вплив кожного з них на ефективність функціонування системи у цілому. До найбільш значимих наукових робіт, в яких запропоновані моделі функціонування транспортних вузлів, відносяться роботи [3-5].

Процес логістичного управління транспортним вузлом в [6] пропонується розглядати на базі моделі функціонування транспортного вузла M_N як сукупності наступних складових:

$$M_N = \{ \{X\}, \{Z\}, \{E\}, \{L\}, K_e \}, \quad (1)$$

де $\{X\}$ – вхідні впливи, що можуть бути змінені в процесі прийняття управлінського рішення щодо функціонування транспортного вузла; $\{Z\}$ – впливи зовнішнього середовища, що не можуть бути змінені в процесі прийняття управлінського рішення, але мають бути при цьому враховані; $\{E\}$ – елементи процесу функціонування транспортного вузла як системи; $\{L\}$ – зв'язки між елементами процесу функціонування транспортного вузла як системи.

До керованих вхідних впливів у моделі функціонування транспортного вузла автори у [6] відносять:

– чисельні характеристики виробничих ресу-

рсів: балансова вартість виробничих ресурсів, кількість механізмів по їх типам, кількість робітників, що задіяні при обслуговуванні механізмів і машин, по категоріям, продуктивність механізмів і машин, техніко-експлуатаційні та техніко-економічні показники їх використання та інше;

– чисельні характеристики організаційних впливів: характеристики графіків роботи окремих ділянок транспортного вузла – тривалість обслуговування вантажних одиниць на окремих ділянках, ритм роботи, інтервал надходження вантажних модулів та інші характеристики, рівень завантаження механізмів, рівень та ступінь механізації процесів переробки вантажопотоку та інше.

До впливів зовнішнього середовища в моделях функціонування транспортних вузлів відносяться в першу чергу чисельні характеристики попиту на послуги транспортного вузла – параметри вхідного матеріального потоку (для деяких задач у складі вхідного матеріального потоку можуть виділятися вантажопотоки по окремим видам транспорту, видам вантажу і т.п.). До основних параметрів вхідного матеріального потоку відноситься його інтенсивність та потужність: інтенсивність є характеристикою періодичності надходження окремих партій вантажу, а потужність дозволяє охарактеризувати величину окремих партій. Більш детально вхідний матеріальний потік описується на підставі моделі потоку послідовних заявок, представленою в [7]. При цьому в якості основних чисельних характеристик розглядаються параметри випадкових величин обсягу партії відправки, відстані доставки та інтервалу надходження окремих заявок.

Зв'язки між елементами процесу функціонування транспортного вузла в моделях описуються за допомогою функціональних залежностей або алгоритмів. Наявність залежності свідчить про наявність зв'язку і навпаки. Множина зв'язків $\{L\}$ містить в собі чотири підмножини:

– зв'язки між керованими вхідними факторами і елементами системи: функціональні залежності або алгоритми, що дозволяють чисельно описати вплив керованих вхідних параметрів на чисельні характеристики підпроцесів обробки матеріального потоку в транспортному вузлу;

– зв'язки між вхідними факторами, що описують вплив зовнішнього середовища, і еле-

ментами системи: функціональні залежності або алгоритми, що дозволяють чисельно описати вплив параметрів зовнішнього середовища на характеристики технологічних процесів транспортного вузла;

– зв'язки між елементами системи: функціональні залежності або алгоритми, що дозволяють чисельно описати взаємний вплив підпроцесів у транспортному вузлу;

– зв'язки між елементами системи і показниками, що відображають ефективність її функціонування: функціональні залежності або алгоритми, що дозволяють чисельно описати вплив характеристик окремих елементів системи на загальний результат функціонування.

При вирішенні задач оптимізації структури і потужності виробничих фондів транспортних вузлів як елементів макрологістичних систем в [6] пропонується використовувати питомий показник ефективності K_e , що є відношенням сумарних витрат E_Σ на обслуговування клієнтури в транспортному вузлу до вартості виробничих ресурсів C_R , які задіяні в процесі обслуговування:

$$K_e = \frac{E_\Sigma}{C_R}. \quad (2)$$

Даний критерій містить загальноприйнятий в практиці логістичного управління показник (сумарні витрати на обслуговування), але при цьому дозволяє врахувати внутрішньосистемну характеристику (вартість виробничих ресурсів).

Мета

Метою статті є розробка інструментарію для моделювання мультимодальних транспортних вузлів.

Математична постановка задач удосконалення логістичного управління в транспортних вузлах

У відповідності із критерієм (2) ефективність функціонування транспортного вузла визначається як співвідношення сумарних витрат на обслуговування клієнтури до вартості виробничих ресурсів, які задіяні в процесі обслуговування. Запропонований критерій ефективності є безрозмірним показником, який вказує на величину витрат на обслуговування, що приходяться на грошову одиницю ва-

рості виробничих ресурсів.

Для прийнятого критерію під підвищенням ефективності функціонування транспортного вузла розуміється зменшення значення критерію ефективності для пропонованого варіанту організації обслуговування клієнтури у порівнянні із існуючим (базовим) варіантом. Тобто завдання підвищення ефективності функціонування транспортного вузла вважається реалізованим, якщо визначені такі керуючі параметри, що виконується наступна умова:

$$K_e(R''_X, M''_X, D_Z) < K_e(R'_X, M'_X, D_Z), \quad (3)$$

де R''_X і M''_X – чисельні характеристики виробничих ресурсів і організаційних впливів відповідно для удосконаленого варіанту функціонування транспортного вузла; R'_X і M'_X – чисельні характеристики виробничих ресурсів і організаційних впливів відповідно для базового варіанту функціонування транспортного вузла.

При цьому в якості робочої гіпотези можна використовувати наступне твердження: існують такі значення чисельних характеристик керуючих параметрів R_X і M_X , які для заданих параметрів попиту D_Z забезпечують мінімально можливе значення критерію ефективності. Для перевірки робочої гіпотези необхідним є визначення функціональної залежності $K_e = f(R_X, M_X, D_Z)$. Якщо робоча гіпотеза не відхиляється, то задача удосконалення логістичного управління у транспортному вузлу може бути визначена як оптимізаційна (мінімізація цільової функції):

$$K_e(R_X, M_X, D_Z) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Модель функціонування транспортного вузла у загальному вигляді, у відповідності до принципів використання системного підходу при моделюванні складних технологічних систем, що визначаються сукупністю (1), можна представити у виді кібернетичної моделі «білої скрині». Метою створення такої моделі є первинне представлення зав'язків між вхідними параметрами, елементами системи та критерієм ефективності її функціонування.

В якості основних підсистем процесу обслу-

говування клієнтури у транспортному вузлу необхідно виділити наступні підпроцеси:

E_1 – обслуговування вхідного матеріального потоку на фронті вантажних робіт із розвантаженням на склад транспортного вузла; дані операції здійснюються на фронтах вантажних робіт типу "транспорт – склад" (ТС);

E_2 – проміжне зберігання вантажів на складах транспортного вузла;

E_3 – обслуговування вихідного матеріального потоку на фронті вантажних робіт із завантаженням транспортних засобів зі складу транспортного вузла; дані операції здійснюються на фронтах вантажних робіт типу "склад – транспорт" (СТ);

E_4 – обслуговування вхідного і вихідного матеріальних потоків на фронті вантажних робіт з прямим перевантаженням з транспортного засобу одного виду транспорту на транспортний засіб іншого виду транспорту; дані операції здійснюються на фронтах вантажних робіт типу "транспорт – транспорт" (ТТ).

В залежності від прийнятого варіанту обслуговування вхідного і вихідного матеріального потоку можна виділити три варіанти організації технологічного процесу функціонування транспортних вузлів:

– варіант обслуговування з перевалкою через склад (рис. 1): завантажені транспортні засоби, що надходять до транспортного вузла, розвантажуються на склад на фронті вантажних робіт типу ТС; порожні транспортні засоби, що надходять до транспортного вузла завантажуються зі складу на фронті вантажних робіт типу СТ;

– варіант обслуговування з прямою перевал-

кою (рис. 2): завантажені транспортні засоби розвантажуються на фронті вантажних робіт типу ТТ, при цьому одночасно здійснюється завантаження транспортних засобів, що надійшли до транспортного вузла під завантаження;

– змішаний варіант обслуговування (рис. 3): частина завантажених транспортних засобів обслуговується на фронті прямої перевалки, при цьому також обслуговується частина транспортних засобів, що надійшли під завантаження; інші транспортні засоби обслуговуються через склад на фронтах вантажних робіт типу ТС і СТ.

Попит на послуги транспортного вузла описується моделлю потоку заявок на обслуговування [8]. При цьому доцільним є виділення потоку заявок, що формує вхідний матеріальний потік $D_{Z(in)}$ для логістичної системи транспортного вузла, а також потоку заявок, що формує вихідний матеріальний потік $D_{Z(out)}$. Слід зауважити, що вхідний і вихідний матеріальний потоки формуються як сукупності заявок на розвантаження або завантаження транспортних засобів різних видів транспорту. Але розповсюдженою є також спеціалізація транспортних вузлів щодо виконання операцій з завантаження транспортних засобів одного виду транспорту і розвантаження транспортних засобів іншого виду: наприклад, у транспортному вузлу може здійснюватися виключно розвантаження суден річкового транспорту і виключно завантаження залізничних вагонів.

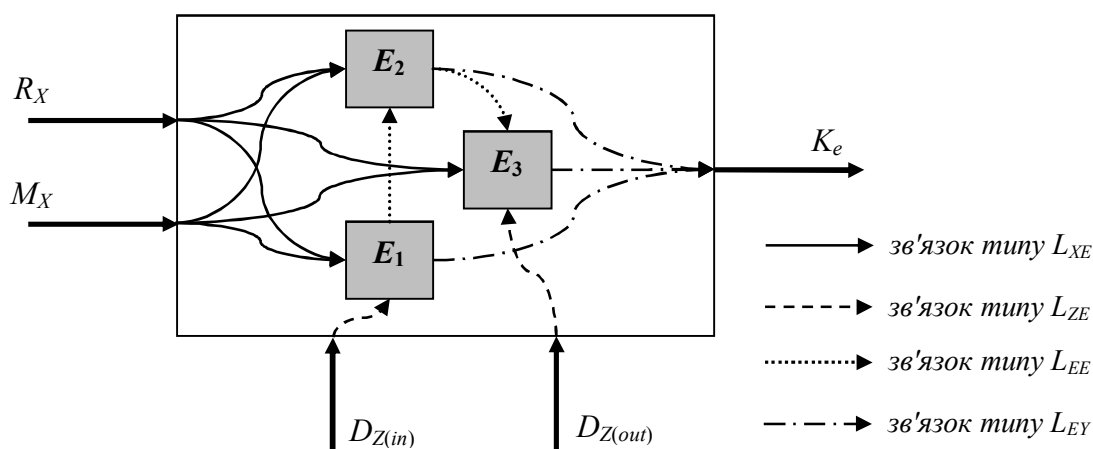


Рис. 1. Кібернетична модель «білої скрині» для процесу функціонування транспортного вузла при перевантаженні через склад

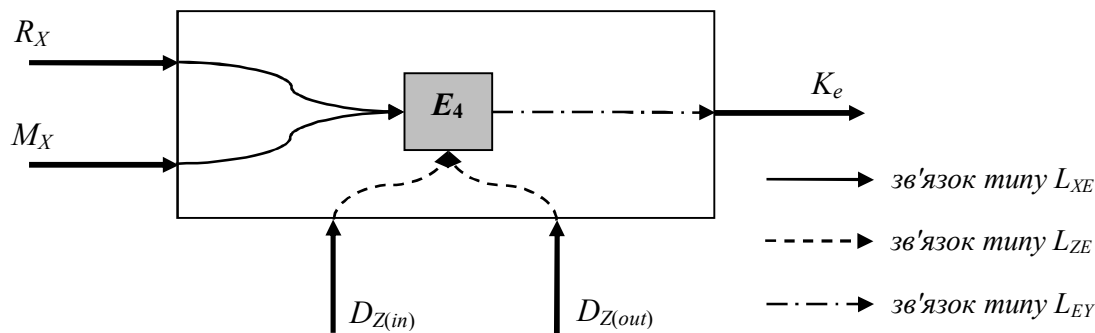


Рис. 2. Кібернетична модель «білої скрині» для процесу функціонування транспортного вузла при прямому перевантаженні

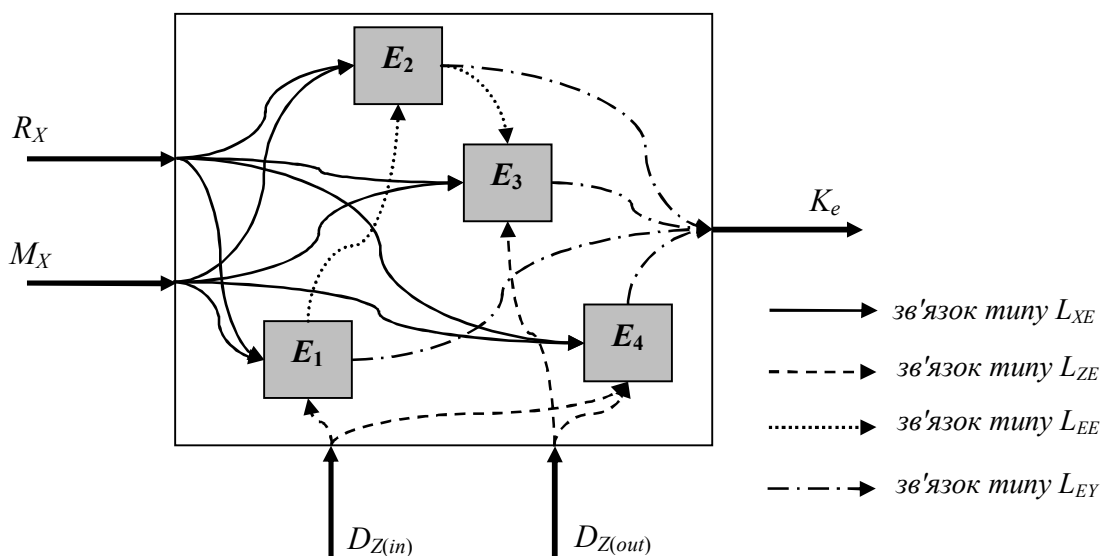


Рис. 3. Кібернетична модель "білої скрині" для процесу функціонування транспортного вузла із змішаним варіантом обробки матеріального потоку

Для оцінки попиту на послуги транспортного вузла потік заявок достатньо описати чисельними характеристиками часу надходження заявок, питомої вартості простою транспортного засобу і обсягу вантажу, що має бути розвантажений або завантажений:

$$D_Z = \{\tilde{\omega}, \tilde{v}, \tilde{\zeta}\}, \quad (5)$$

де $\tilde{\omega}$ – випадкова величина партії вантажу, що має бути розвантажена або завантажена у транспортному вузлу; \tilde{v} – випадкова величина питомої вартості простою транспортного засобу, що надійшов до транспортного вузла (залежить від типу транспортного засобу та його техніко-економічних характеристик); $\tilde{\zeta}$ – випадкова величина інтервалу надходження заявок у потоці.

Виробничі ресурси транспортного вузла, задіяні в процесі обслуговування клієнтури, можна розділити на виробничі ресурси вантажних фронтів R_X^g і виробничі ресурси складського господарства R_X^{wh} .

Виробничі ресурси вантажних фронтів достатньо описати чисельними характеристиками виробничих потужностей і питомої вартості обслуговування:

$$R_X^g = \{n_g, w_g, v_g, v'_g\}, \quad (6)$$

де n_g – кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів на фронті вантажних робіт; w_g – середня продуктивність одного навантажувально-розвантажувального механізму, т/год.; v_g і v'_g – питома вартість

функціонування навантажувально-розвантажувального механізму при обслуговуванні транспортних засобів і простої відповідно, грн/год.

Виробничі ресурси складського господарства можна охарактеризувати чисельними характеристиками складської площі та собівартості зберігання вантажів:

$$R_X^{wh} = \{s_{wh}, v_{wh}, v'_{wh}\}, \quad (7)$$

де s_{wh} – загальна корисна площа складських приміщень транспортного вузла, що використовуються для зберігання вантажів, m^2 ; v_{wh} – питома вартість зберігання вантажів, грн/(т×год.); v'_{wh} – питома вартість функціонування складу за відсутності вантажів, грн/(m^2 ×год.).

Для чисельного опису i -го елемента E_i технологічного процесу обслуговування заявок достатніми є його часова та вартісна характеристики:

$$E_i = \{\tilde{\tau}_i, \tilde{c}_i\}, \quad (8)$$

де $\tilde{\tau}_i$ – випадкова величина часу обслуговування заявки для i -го елемента (для фронтів вантажних робіт – час навантаження або розвантаження, для складу – час зберігання партії вантажу); \tilde{c}_i – випадкова величина вартості обслуговування заявки для i -го елемента технологічного процесу.

До характеристик організаційних впливів можна віднести кількісні характеристики виробничих ресурсів, а також чисельні параметри, що описують процес організації обслуговування потоків заявок:

$$M_X = \{\psi, \{n_g\}, s_{wh}, \{T_\tau\}\}, \quad (9)$$

де ψ – варіант технологічного процесу функціонування вузла (із перевантаженням через склад, обробка по прямому варіанту або змішаний варіант); $\{n_g\}$ – вектор, що відображає кількість обслуговуючих механізмів на фронтах вантажних робіт транспортного вузла; $\{T_\tau\}$ – розклад прибуття транспортних засобів у транспортний вузол під обслуговування (моменти часу прибуття транспортних

засобів).

Постановка задач з удосконалення логістичного управління різними видами транспорту, складуванням і переробкою вантажів у транспортних вузлах із використанням визначених чисельних характеристик набуває наступного виду:

– задача вибору раціонального варіанту технологічного процесу функціонування транспортного вузла: для відомих характеристик параметрів попиту $D_{Z(in)}$ і $D_{Z(out)}$ необхідно визначити такий варіант ψ , який характеризується мінімальним значенням критерію ефективності K_e ;

– задача визначення оптимальної потужності фронтів вантажних робіт у транспортному вузлу: для відомих характеристик параметрів попиту $D_{Z(in)}$ і $D_{Z(out)}$ необхідно визначити такі чисельні значення вектору $\{n_g\}$, які забезпечують мінімальне значення критерію ефективності K_e ;

– задача визначення оптимальної місткості складу транспортного вузла: для відомих параметрів попиту $D_{Z(in)}$ і $D_{Z(out)}$, а також відомих потужностей вантажних фронтів $\{n_g\}$ необхідно визначити таке значення s_{wh} , яке забезпечує мінімальне значення критерію ефективності K_e ;

– задача визначення раціонального варіанту для розкладу прибуття транспортних засобів у транспортний вузол під навантаження (розвантаження): для відомих параметрів попиту $D_{Z(in)}$ і $D_{Z(out)}$, а також відомих потужностей вантажних фронтів $\{n_g\}$ і місткості складів s_{wh} необхідно визначити такий варіант розкладу $\{T_\tau\}$, який забезпечує мінімальне значення критерію ефективності K_e .

Базові класи імітаційної моделі процесу функціонування мультимодального транспортного вузла

У відповідності із використаним підходом до формалізації об'єкту дослідження розробку імітаційної моделі функціонування транспортного вузла проведено із використанням принципів об'єктно-орієнтованого програмування. В якості основних інструментів моделювання використано бібліотеку класів TransportNode.dll, розроблену на кафедрі

транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього універ-

ситету. UML-діаграма базових класів указаної бібліотеки представлена на рис. 4.

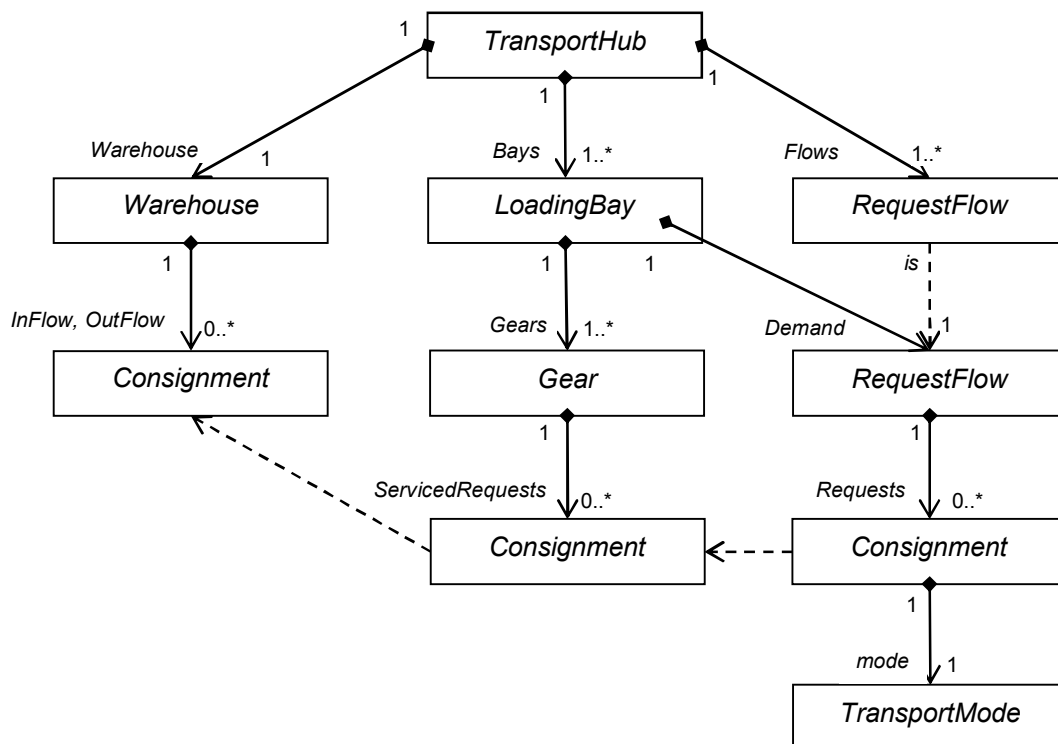


Рис. 4. UML-діаграма базових класів бібліотеки TransportNode.dll

Програмну реалізація базових класів і імітаційних моделей для процесів функціонування мультимодального транспортного вузла виконані із використанням мови програмування C# 4.0.

До базових класів, що є основою для моделювання технологічних процесів транспортного вузла, відносяться:

- клас *TransportHub* – дозволяє описати мультимодальний транспортний вузол, в якому здійснюється обслуговування потоків заявок із заданими характеристиками;
- клас *Warehouse* – використовується для опису складського господарства як елементу мультимодального транспортного вузла;
- клас *LoadingBay* – дозволяє описати фронт вантажних робіт у складі мультимодального транспортного вузла;
- клас *Gear* – розроблений для моделювання процесу функціонування навантажувально-розвантажувального механізму як елементу вантажного фронту транспортного вузла;
- клас *RequestFlow* – використовується для моделювання потоку заявок на обслуговування у транспортному вузлі на основі заданих характеристик параметрів потоку як ви-

падкових величин;

- клас *Consignment* – дозволяє описати окрему заявку на обслуговування у транспортному вузлі як елементарну одиницю потоку заявок;
- клас *TransportMode* – розроблений для опису характеристик видів транспорту, що взаємодіють у транспортному вузлі.

Основними полями класу *TransportHub* є:

- колекція *Flows* елементів *RequestFlow*: містить об'єкти, що характеризують потоки заявок на обслуговування у вузлі;
- колекція *Bays* елементів *LoadingBay*: відображає вантажні фронти у складі транспортного вузла – їх чисельні характеристики і результати функціонування;
- поле *Warehouse* типу *Warehouse*: відображає основні характеристики і результати функціонування складського господарства;
- властивість *Demand* типу *List<Consignment>*: містить сукупність заявок із потоків *Flows*, що формують сумарний попит на послуги транспортного вузла по всім видам транспорту.

Моделювання об'єктів класу *Warehouse* здій-

снюється на підставі наступних характеристик:

- поле `TransportHub` типу `Hub`: містить посилання на об'єкт транспортного вузла, складовим елементом якого є складське господарство;
- `Capacity` – чисельна характеристика місткості складу, т;
- `Load` – характеристика, що відображає поточну кількість вантажу на складі, т;
- `Square` – чисельна характеристика, що відображає площу складу, м²;
- колекції `InFlow` і `OutFlow` елементів типу `Consignment`: містять заявки вхідного та вихідного для складу потоків, що були обслужені на складі на протязі періоду моделювання.

Основними характеристиками об'єктів типу `LoadingBay` є:

- поле `TransportHub` типу `Hub`: містить посилання на об'єкт транспортного вузла, у складі якого функціонує фронт вантажних робіт;
- колекція `Gears` елементів типу `Gear`: містить посилання на об'єкти, що є моделями навантажувально-розвантажувальних механізмів, які функціонують у складі фронту вантажних робіт;
- поле `Demand` типу `RequestFlow`: містить посилання на потік заявок, що є моделлю попиту на послуги фронту вантажних робіт.

Об'єкти типу `Gear` описуються на підставі наступних полів класу:

- поле `Bay` типу `LoadingBay`: містить посилання на вантажний фронт;
- `Productivity` – чисельна характеристика, що відображає продуктивність навантажувально-розвантажувального механізму, т/год.;
- чисельні поля `CostsLoaded` і `CostsEmpty`, що відображають питомі витрат на обслуговування і простій обслуговуючих механізмів відповідно, грн/год.;
- колекція `ServicedRequests` елементів типу `Consignment`: містить список заявок, що були обслужені навантажувально-розвантажувальним механізмом на протязі періоду моделювання.

Основними характеристиками об'єктів типу `RequestFlow` є:

- поле `duration`: відображає чисельне значення періоду моделювання потоку заявок;
- об'єкти `volume` і `interval` типу `Stochastic`: є програмними реалізаціями випадкових величин обсягу партії вантажу і інтервалу надхо-

дження заявок у потоці; клас `Stochastic` міститься у бібліотеці `StochasticLib.dll`, розроблений на кафедрі транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету [9];

- поле булевого типу `isLoading`: приймає значення `true` (істина), якщо потік характеризує заявки на розвантаження у транспортному вузлі, приймає значення `false` (неправда) у протилежному випадку;
- колекція `requests` елементів типу `Consignment`: містить об'єкти, що характеризують заявки у складі потоку.

Об'єкти типу `Consignment` характеризується наступними полями:

- поле `mode` типу `TransportMode`: характеризує вид транспорту для заявки, що надійшла у транспортний вузол для обслуговування;
- поле `volume`: є чисельною характеристикою обсягу партії вантажу для заявки, т;
- булеве поле `isLoading`: приймає значення `true` (істина), якщо заявка надійшла до транспортного вузла під розвантаження, приймає значення `false` (неправда) у протилежному випадку;
- поле `cost`: є чисельною характеристикою заявки, що містить значення питомих витрат, пов'язаних із вилученням капіталу з оборту, грн/(год.×т);
- поле `arrivalTime`: містить значення модельного часу надходження заявки, год.;
- поля `beginService` і `endService`: містять значення модельного часу початку і закінчення обслуговування заявки, год.

Клас `TransportMode` дозволяє описати види транспорту, що взаємодіють у транспортному вузлі, на підставі наступних характеристик:

- поле `type`: відображає код виду транспорту; для класу прийняті наступні внутрішні константи: `ROAD` = 1 (автомобільний транспорт), `RAILWAY` = 2 (залізничний транспорт), `RIVER` = 3 (річний транспорт), `SEA` = 4 (морський транспорт), `AIR` = 5 (повітряний транспорт);
- поле `waitTimeCosts`: містить чисельне значення питомих витрат на простій транспортних засобів, грн/год.

Основною процедурою, що здійснює безпосередній процес імітаційного моделювання, є процедура `Simulate` класу `TransportHub`.

**Результати імітаційного експерименту
на прикладі вантажного району
«Амур-Гавань» Дніпропетровського
річкового порту**

В якості бази для практичної перевірки результатів використання запропонованої імітаційної моделі розглядається транспортний вузол Дніпропетровського річкового порту (ДРП), в якому здійснюються технологічні процеси взаємодії трьох видів транспорту – річкового, залізничного і автомобільного.

ДРП є структурним підрозділом транспортної компанії Укррічфлот і спеціалізується на переробці широкого спектру вантажів – зернових, металобрухту, металопрокату, піску, щебеню, польового шпату, пиломатеріалів, обладнання, а також тарно-штучних вантажів у біг-бегах і на палетах. Згідно офіційної інформації [10], пропускна здатність порту становить 5,7 млн. т/рік, при цьому загальна площа складів порту становить 69 тис. м². Територія порту включає в себе два вантажні райони, 16 причалів із загальною довжиною причальної лінії 2500 м, де є можливим обслуговування суден з осадкою до 4 м. Виробничі ресурси ДРП також включають 25 порталних кранів вантажністю від 5 до 20 т, 3 стрілових крани вантажністю від 10 до 36 т, один монтажний кран вантажністю 75 т та один великоваговий кран вантажністю 100 т, а також 7 автотранспортувачів вантажністю від 1,5 до 3 т.

У ДРП на першому причалі вантажного району «Амур-Гавань» функціонує зерновий елеватор загальною ємністю в 30 тис. т – 6 ємностей (силосів) по 5 тис. т. Зерновий елеватор надає послуги з приймання, як із залізничного, так і з автомобільного транспорту, накопичення, зберігання, сушки, очищення, а

також відвантаження зернових, олійних і технічних культур.

Проведені на базі Дніпропетровського річкового порту дослідження параметрів попиту на послуги транспортного вузла показали, що обсяг партії вантажу для заявок є нормально розподіленою величиною, а інтервал надходження заявок у потоці має експонентний розподіл не залежно від виду транспорту в потоці заявок. Отримані чисельні характеристики відповідних параметрів попиту використано в якості вихідних даних для проведення імітаційного експерименту.

В ході імітаційного експерименту розглянуто три можливі варіанти обслуговування матеріального потоку у транспортному вузлі – перевантаження через склад, а також прямий і змішаний варіанти обслуговування. З метою забезпечення статистичної значимості результатів експерименту проведено по 100 опитів для кожного з варіантів. Чисельні результати експерименту представлені в табл. 1.

В проведеному експерименті змішаний варіант обслуговування реалізовано для наступної стратегії: половина заявок, що надходять, у випадковому порядку обслуговується із перевантаженням через склад, а інші заявки – по прямому варіанту. Слід зауважити, що форма і ефективність стратегій обслуговування по змішаному варіанту є предметом додаткових наукових досліджень.

Рівень обслуговування в ході аналізу результатів експерименту оцінено як відношення кількості заявок, що були обслужені, до загальної кількості заявок, що надійшли.

Таблиця 1 – Чисельні результати імітаційного експерименту

Показник	Варіант обслуговування		
	Перевантаження через склад	Пряме перевантаження	Змішаний варіант
Собівартість обслуговування, \$/т	2,57	2,30	2,30
Рівень обслуговування	0,8172	0,8175	0,8224
Середній час обслуговування, год./заявка	3,76	8,64	6,22
Середній час очікування початку обслуговування, год./заявка	46,88	40,16	39,55
Середній час простою обслуговуючих механізмів, год./заявка	10,28	11,14	13,91
Критерій ефективності логістичного управління	0,4172	0,5753	0,3721

Первинний аналіз результатів проведеного імітаційного експерименту дозволяє стверджувати, що для вантажного району «Амур-Гавань» Дніпропетровського річкового порту найбільш доцільним з позицій ефективності логістичного управління є змішаний варіант обслуговування, оскільки він характеризується найменшим значенням критерію ефективності. Змішаний варіант також характеризується дещо вищим значенням рівня обслуговування матеріального потоку (у порівнянні із прямим варіантом і варіантом обслуговування із перевантаженням через склад рівень обслуговування вищий на 0,5%).

За критерієм ефективності логістичного управління найменш ефективним є обслуговування матеріалопотку у вантажному районі «Амур-Гавань» ДРП по прямому варіанту, а за собівартістю обслуговування однієї заявки – найменш ефективним є варіант обслуговування із перевантаженням через склад. Слід також зауважити, що обслуговування через склад характеризується найменшими значеннями часу непродуктивного постою обслуговуючих механізмів, але при цьому середній час простою транспортних засобів в очікуванні початку обслуговування є найвищим.

Висновки

Представлена імітаційна модель дозволяє дослідити вплив на прийнятий критерій ефективності функціонування транспортного вузла чисельних параметрів виробничих ресурсів і організаційних впливів і врахувати випадкову природу попиту на послуги транспортного вузла. Розробка програмних моделей із використанням запропонованих базових класів дозволяє отримати ефективний інструмент для вирішення практичних завдань логістичного управління процесами функціонування мультимодальних транспортних вузлів.

Література

1. Сток Дж.Р. Стратегическое управление логистикой [Текст] / Дж.Р. Сток, Д.М. Ламберт. – Москва: ИНФРА-М, 2005. – 797 с.

2. Muller G. System Modeling and Analysis: a Practical Approach [Text] / G. Muller. – Kongsberg: Buskerud University College, 2014. – 128 p.
3. Li F.-L Synthetic evaluation on transfer of rail transit terminal based on AHP method [Text] / F.-L. Li, Z.-Y. Ge. // Railway Transportation Economy, 2006. – Vol. 28. – P. 79–81.
4. Sun Q.-P. An Empirical Study of Fuzzy Quality Synthetic Evaluation of Comprehensive Transfer Hub Transfer Articulation [Text] / Q.-P. Sun, D.-X. Cheng // Technological Innovation Management, 2010. – Vol. 31. – P. 164–166.
5. Mahrous R.F. Multimodal Transportation Systems: Modelling Challenges: Thesis [Text] / R.F. Mahrous. – Enschede, 2012. – 85 p.
6. Нагорний Є.В. Системний підхід до оптимізації процесів логістичного управління в транспортних вузлах [Текст] / Є.В. Нагорний, В.С. Наумов, Я.В. Літвінова // Железнодорожный транспорт Украины, 2014. – № 3(106). – С. 46–51.
7. Наумов В.С. Развитие научно-технологических основ экспедиторского обслуживания на автомобильном транспорте [Текст] / Наумов Виталий Сергеевич : дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01 – транспортные системы. – Харьков, 2013. – 352 с.
8. Наумов В.С. Транспортно-экспедиционное обслуживание в логистических системах [Текст] / В.С. Наумов. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 220 с.
9. Naumov V. C# code for generation of stochastic values [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.academia.edu/11183292/C_code_for_generation_of_stochastic_values
10. Укррічфлот. Офіційна Інтернет-сторінка [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ukrrichflot.ua>.

Рецензент: О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття поступила в редакцію 5 квітня 2016 р.