

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ПРИКОРДОННОГО ЛОГІСТИЧНОГО ТЕРМІНАЛУ НА БАЗІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В статті розглянуто прикордонний логістичний термінал як складна динамічна система, проаналізовано моделі і методи моделювання таких систем, запропоновано комплекс імітаційних моделей СМО на базі агентного імітаційного моделювання. Представлено структура моделі підсистеми контейнерного терміналу.

Ключові слова: прикордонний логістичний термінал, моделі систем масового обслуговування, імітаційні моделі, транспортні засоби, вантажі, складські майданчики, контейнерний термінал.

Постановка проблеми. Проблема дослідження процесів функціонування систем, які миттєво змінюють свій стан під впливом зовнішніх і внутрішніх подій, є досить актуальною. До таких систем відносяться транспортно-складські системи, зокрема логістичний прикордонний термінал. Процес дослідження таких систем починається зі створення математичної моделі. Якщо метою дослідження є часові характеристики роботи системи, то в якості математичної моделі часто вибирається модель у вигляді системи масового обслуговування (СМО) [1]. Робота прикордонного логістичного терміналу ускладнюється невизначеністю вхідного потоку вантажів, нестабільністю вхідного потоку в проміжках часу, неоднорідністю вантажопотоку, що ускладнює обробку транспортного потоку. Крім цього логістичний термінал передбачає надання множини послуг, що ускладнює його організаційну структуру, взаємодію підсистем, а отже і управління всією системою. В таких умовах виникає потреба в пошуку методів управління логістичним терміналом з використанням моделювання процесів в реальному часі на базі формалізації потоків і операцій їх обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі моделювання поведінки складних динамічних транспортних систем присвячено багато наукових праць. Серед вітчизняних науковців цією проблемою продуктивно займалися Слободян А. В., Шибаєв О. Г., Лямзін А. О., Сударев В. О., Нефьодова Я. І., Постан М. Я. та інші. Більшість запропонованих моделей в цих роботах присвячено оптимізації роботи портів [2], взаємодії видів транспорту в них, проблемі непродуктивних простоїв транспортних та вантажних пристроїв. Оптимізації роботи складів присвячені роботи таких науковців: Смехов А. А., Нечаєва Г. І., Лукінський, Курганов В. М. та інші. Але більшість розробок базується або на моделях управління запасами, які визначають оптимальний розмір замовлення чи точку замовлення, або на моделях прогнозування руху матеріалів на складах, або автоматизації вантажних робіт на складі. В умовах прикордонного логістичного терміналу постає комплексна задача управління системою в цілому з урахування взаємодії не тільки окремих транспортних та вантажних пристроїв, але й підсистем різного функціонального призначення. Отже необхідне дослідження системи на різних рівнях функціонування та управління з визначенням параметрів системи і підсистем у взаємодії і вибором апарату моделювання, що відповідає поставленим цілям та висвітлює процеси в реальному часі.

Ціль статті. Запропонувати дієвий апарат моделювання прикордонного логістичного терміналу, з урахуванням особливостей взаємодії функціональних підрозділів. Визначити тип моделі, структуру, інформаційне забезпечення. Обґрунтувати вибір методів моделювання прикордонного логістичного терміналу як складної динамічної моделі.

Матеріали та результати дослідження.

Ускладнення виробничих і інших суспільних процесів суттєво підвищило значення математичного моделювання в процесі дослідження й проектування різних систем. Істотну роль у моделюванні широкого класу систем відіграють моделі систем масового обслуговування. Сучасні методи формалізації завдань дозволяють будувати так

звані універсальні імітаційні моделі, здатні налаштовуватися на будь-який об'єкт із заданого класу. Цей підхід використовує універсальну імітаційну програму, складену заздалегідь для деякої стандартної форми складної системи, що охоплює широкий клас реальних об'єктів.

Прикордонний логістичний термінал є складною динамічною системою, з декількома вхідними потоками, з різними підсистемами обслуговування. Як вже було сказано вище такі системи достатньо добре описуються апаратом теорії систем масового обслуговування (СМО). Основним завданням теорії СМО є вивчення режиму функціонування обслуговуючої системи й дослідження явищ, що виникають у процесі обслуговування. У теорії СМО виникають завдання оптимізації: яким чином досягти певного рівня обслуговування (максимального скорочення черги або втрат вимог) при мінімальних витратах, пов'язаних із простим обслуговуючим пристроєм

Універсальним методом дослідження СМО є імітаційне моделювання. Імітаційне моделювання являє собою чисельний метод проведення на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів і систем у часі протягом заданого періоду [3, 4]. При цьому функціонування складних динамічних систем розбивається на елементарні явища, підсистеми й модулі. Функціонування цих елементарних явищ, підсистем і модулів описується набором алгоритмів, які імітують елементарні явища зі збереженням їх логічної структури й послідовності протікання в часі. Існує досить багато різних технологій, прийомів і методів імітаційного моделювання.

В імітаційному моделюванні існує кілька парадигм – постановок проблем і підходів до їхнього розв'язку, використовуваних у якості “каркаса” при побудові й аналізі моделей. Можна виділити чотири досить різні системи поглядів: динамічні системи, системна динаміка, дискретно-подійне моделювання, мультиагентні моделі [5].

Ці парадигми різняться не стільки областями застосування, скільки концепціями й поглядами на проблему й підходами до розв'язку проблеми. Дуже часто прихильники однієї парадигми вважають, що “правильні” постановка й вирішення проблем імітаційного моделювання можливі тільки в рамках концепцій і методик саме цієї парадигми. Наприклад, апологети моделювання й аналізу динамічних систем вважають, що інші підходи “не зовсім” наукові, або вони є частковим випадком представлення й аналізу систем у вигляді систем алгебро-диференціальних рівнянь. У дійсності, кожна з парадигм має право на життя, їх використання визначається тільки метою моделювання й пов'язаним із цією метою обраним рівнем абстракції при вирішенні проблем [6, 7].

Дискретно-подійне моделювання — підхід до моделювання, що пропонує абстрагуватися від безперервної природи подій і розглядати тільки основні події моделюючої системи, такі як: «очікування», «обробка замовлення», «рух з вантажем», «розвантаження» і інші. Дискретно-подійне моделювання найбільш розвинене й має величезну сферу додатків — від логістики й систем масового обслуговування до транспортних і виробничих систем. Цей вид моделювання найбільше підходить для моделювання виробничих процесів.

Системна динаміка — парадигма моделювання, де для досліджуваної системи будуються графічні діаграми причинних зв'язків і глобальних впливів одних параметрів на інші в часі, а потім створена на основі цих діаграм модель імітується на комп'ютері. По суті, такий вид моделювання більш усіх інших парадигм допомагає зрозуміти суть явищ, що відбуваються, причинно-наслідкових зв'язків між об'єктами і явищами. За допомогою системної динаміки будують моделі бізнес-процесів, розвитку міста, моделі виробництва, динаміки популяції, екології й розвитку епідемії.

Новий недавно виниклий напрямок в імітаційному моделюванні – так зване агентне (мультиагентне) моделювання (“agent-based modeling”), має свої особливості. Агентна модель представляє реальне середовище у вигляді багатьох окремо специфікуємих активних підсистем, які називають агентами. Кожний з агентів взаємодіє з іншими агентами, які утворюють для нього зовнішнє середовище, і в процесі функціонування може змінитися як зовнішнє середовище, так і власна поведінка агента. Звичайно в таких сис-

темах не існує глобального централізованого керування, агенти функціонують за своїми законами асинхронно. Існує безліч визначень поняття агента. Загальним у всіх цих визначеннях є те, що агент — це деяка сутність, яка має активність, автономну поведінку, може ухвалювати рішення відповідно до деякого набору правил, може взаємодіяти з оточенням і іншими агентами, а також може змінюватися (еволюціонувати). Ціль агентних моделей — одержати уявлення про ці глобальні правила, загальну поведінку системи, виходячи із припущень про індивідуальний характер поведінки її окремих активних об'єктів і взаємодії цих об'єктів у системі. Ріст продуктивності комп'ютерів і досягнення в інформаційних технологіях, використання спеціалізованих програмних макетів, зокрема Anylogic, уможливили реалізацію агентних моделей, що містять десятки й навіть сотні тисяч активних агентів [8].

Багатоагентні (або просто агентні) моделі використовуються для дослідження децентралізованих систем, динаміка функціонування яких визначається не глобальними правилами й законами, а навпаки, ці глобальні правила й закони є результатом індивідуальної активності елементів системи.

У моделі взаємодії підсистем у прикордонному логістичному терміналі бере участь велика кількість елементів. Це й кількість вантажних пощадок, їх спеціалізація, тип транспортних засобів, вантажопідйомність, вантажопотоки прибуття різних вантажів, спосіб перевантаження, кількість складів, їх призначення, площа, кількість вантажних пристроїв для обслуговування складу, ємність складів, кількість функціональних підрозділів, що виконують інші логістичні операції (митне оформлення, доопрацювання вантажів, митні процедури, зворотне завантаження транспортних засобів) і т. інш. Для створення моделі необхідно чітко описати кожний з цих елементів. А щоб дізнатися, як буде система себе вести необхідно дослідити зв'язок між елементами, їх взаємодію. Аналізуючи ситуацію, що склалася, видно, що в нашому випадку найбільш відповідним є агентне моделювання, тому що за допомогою тільки цього методу можна описати докладно кожний елемент системи й описати взаємодію цих елементів для досягнення результатів.

Для створення імітаційних моделей особливу роль має створення відповідної інформаційної забезпеченості. Основною формою надання інформації для побудови моделі виступає база даних. База даних — спільно використовуваний набір логічно зв'язаних даних (і опис цих даних), призначений для задоволення інформаційних потреб.

Технічно є два способи організації бази даних для імітаційної моделі. Можна використовувати інтерфейс JDBC, який заснований на специфікаціях SAG CLI (SQL Access Group Call Level Interface, інтерфейс рівня виклику групи доступу SQL). Другий спосіб організації взаємодії моделей і баз даних — використання вбудованого в Anylogic Engine класу [9]. У даній роботі було використане представлення схеми бази даних мовою SQL Access.

Для імітаційної моделі прикордонного логістичного терміналу запропоновано базу даних, яка складається з дванадцяти основних елементів між якими існує зв'язок.

Основними елементами бази даних для імітаційної моделі виступають:

- сипкі вантажі;
- вантажі в паллетах;
- контейнери;
- автотранспортні засоби;
- автоконтейнеровози;
- залізничні вагони (за видами);
- залізничні платформи;
- навантажувачі складські;
- вантажні комплекси;
- перевантажувальні крани;
- склади й складські майданчики;
- функціональні підрозділи.

Для цієї бази даних характерним є зв'язок типу «багато к багатьом» та «один к багатьом». Тип зв'язку «багато к багатьом» є поширеним для імітаційної моделі, тому що робота прикордонного логістичного терміналу має стохастичний характер.

Зв'язок «один к багатьом» існує між транспортними засобами та відповідними функціональними підрозділами (наприклад, представниками митної служби), складськими місцями та укрупненими вантажними одиницями, вантажем та контейнером, платформами та контейнерами, навантажувачем та контейнером, кранами та контейнерами, складськими майданчиками та контейнерами, навантажувачами та складськими майданчиками. Це обумовлено тим, що всі ці елементи взаємодіють між собою по різному в залежності від ситуації. Наприклад, незалежно від того який транспортний засіб прийде будь-який вільний митник виконає відповідні операції.

Зв'язок «один к багатьом» у нашій системі характерний для стаціонарних елементів. Для нашої імітаційної моделі цей зв'язок спостерігається між елементами перевантажувальні крани – складські майданчики та автоконтейнеровози – контейнер, тому що перевантажувальні крани, як правило, закріплені за певними майданчиками, а контейнеровози можуть перевозити контейнери певної місткості.

В свою чергу імітаційна модель прикордонного логістичного терміналу складається з формалізації декілька взаємопов'язаних підсистем. Наприклад підсистеми контейнерного терміналу, підсистеми складського комплексу, підсистеми функціональних підрозділів тощо.

Контейнерний термінал являє собою систему масового обслуговування, яка в свою чергу складається з певної кількості підсистем. Таку систему можна представити у вигляді агрегатів, взаємозалежних спільною обробкою матеріалів. У загальному виді структура системи можна представити вісьма агрегатами. Агрегати $M_{вх}^{(1)}$, $M_{вх}^{(4)}$ і $M_{вх}^{(7)}$ є вхідними полюсами, а $M_{вих}^{(2)}$, $M_{вих}^{(6)}$ й $M_{вих}^{(8)}$ – вихідними полюсами системи. Структуру зв'язку можна охарактеризувати таблицею переходів, зв'язок двох агрегатів у якій показана ознаками:

$$\gamma = \begin{cases} 1, & \text{якщо зв'язок елементів існує;} \\ 0 & \text{в протилежному стані.} \end{cases}$$

Структуру системи можна представити й у вигляді модифікованої операторної записи:

$$M_{вх}^{(1)} \Gamma M_{вх}^{(2)}; M_{вх}^{(1)} \Gamma M_{вх}^{(2)} \Gamma M_{вх}^{(3)} \Gamma M_{вх}^{(5)} \Gamma M_{вх}^{(6)} \Gamma M_{вх}^{(6)}; M_{вх}^{(4)} \Gamma M_{вх}^{(5)} \Gamma M_{вх}^{(6)} \Gamma M_{вх}^{(6)}; M_{вх}^{(7)} \Gamma M_{вх}^{(8)} \Gamma M_{вх}^{(8)} \quad (1)$$

У загальному випадку за одним s-м агрегатом можуть впливати декілька n^* агрегатів. Зв'язок агрегатів типу «розбіжність» можна виразити символічно:

$$\Phi_{\Gamma_j}^{(s)} = \begin{cases} \Phi_{\Gamma_j}^{(s,s+n_1)} = I_j^{(s,s+n_1)}, \\ \Phi_{\Gamma_j}^{(s,s+n_2)} = I_j^{(s,s+n_2)}, \\ \dots\dots\dots \\ \Phi_{\Gamma_j}^{(s,s+n^*)} = I_j^{(s,s+n^*)}. \end{cases} \quad (2)$$

Аналогічно, у розглянутій системі одному агрегату може в загальному випадку передувати декілька n^* агрегатів. Це зв'язок типу «сходження»:

система складається з декілька підсистем. В нашому випадку ми розглядається прикордонний логістичний термінал із взаємодією залізничного і автомобільного видів транспорту, службами митного контролю та оформлення вантажів та транспортних засобів, складськими приміщеннями та майданчиками (зокрема контейнерними), пунктами перевантаження тощо. Запропоновано для імітаційної моделі прикордонного логістичного терміналу в якості відповідної інформаційної забезпеченості структуру бази даних. Зроблена математична формалізація моделі контейнерного терміналу, як однієї з підсистем досліджуваної системи. Була визначена структура підсистеми контейнерного терміналу і зв'язки агрегатів, які формалізовані математично. Використання запропонованої моделі дозволить в реальному часі при змінних умовах регулювати потік вантажів, що надходять у систему, взаємодію видів транспорту при їх перевантаженні і час виконання інших логістичних операцій.

Література

1. <http://www.gpss.ru/immod'03/027.html> – Технология имитационного моделирования систем массового обслуживания.
2. Постан М. Я. Економіко-математичні моделі змішаних перевезень: Монографія. – Одеса: Астропринт, 2006. – 376 с.
3. Хемди А. Таха Глава 18. Имитационное моделирование // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. — 7-е изд. — М.: «Вильямс», 2007.
4. Лоу А. М., Кельтон В. Д. Имитационное моделирование. 3-е издание // СПб.: Питер, Киев: BHV, 2004. – 847 с.
5. www.xjtek.ru/ – Имитационное моделирование с AnyLogic.
6. Строгалева В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. — МГТУ им. Баумана, 2008.
7. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технология // СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 384 с.
8. Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro, N 3-4, 2004.
9. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование на AnyLogic 5. // БХВ_Петербург, С.Петербург, 2005.

Кичкина Е. И. Усовершенствование работы приграничного логистического терминала на базе имитационного моделирования.

В статье рассмотрен пограничный логистический терминал как сложная динамическая система, проанализированы модели и методы моделирования таких систем, предложен комплекс имитационных моделей СМО на базе агентного имитационного моделирования. Представлена структура модели подсистемы контейнерного терминала.

Ключевые слова: приграничный логистический терминал, модели систем массового обслуживания, имитационные модели, транспортные средства, грузы, складские площадки, контейнерный терминал.

Kichkina Ye. I. Improvement of work of border-line logistic terminal on base of simulation modeling.

A frontier logistic terminal as difficult dynamic system is considered in the article. Models and methods of design of such systems are analysed in the article The complex of models of Queuing systems is offered on agents base of simulation modeling. The structure of model of subsystem of container terminal is presented.

Keywords: border-line logistic terminal, models of the queuing systems, simulation models, transport vehicles, loads, ware-house grounds, container terminal.

Кічка О. І.

к.т.н., доцент кафедри «Транспортні системи»,
СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, Україна

Рецензент: д.т.н., проф. Нечас Г. І.

Стаття подана 24.09.2012 р.