

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ТА ВНУТРІШНЬОЇ ЛОГІСТИКИ МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ

© Фігун Н. В., Дзелендзяк Ю. А., 2016

Розглянуто аспекти логістичної діяльності медичного закладу. Сформульовано класифікацію підходів до побудови імітаційної моделі внутрішньої та зовнішньої логістики медичного закладу. Структуризовано імітаційну модель зовнішньої та внутрішньої логістики медичного закладу. Визначено параметри формування імітаційної моделі та її обмеження. Запропоновано два принципово відмінні підходи до формування імітаційних моделей відповідно до специфіки поставлених задач. Розроблено схему отримання, перетворення і виведення даних щодо логістичних потоків для створення імітаційної моделі. Проаналізовано переваги та недоліки використання нейронних мереж та генетичних алгоритмів для структурної реалізації імітаційної моделі.

Ключові слова: медичний заклад, імітаційна модель, логістика, генетичний алгоритм, нейронна мережа.

THE SIMULATION MODELING OF EXTERNAL AND INNER LOGISTIC OF MEDICAL INSTITUTION

© Figun N., Dzelendzyak Yu., 2016

The logistics aspects of medical institution have been considered. Approach's classification of simulation model's creation of inner and external logistics has been formed. The medical institution's simulation model of inner and external logistics structuring has been realized. The parameters' of simulation model's forming have been determined. The two fundamentally different approaches to simulation model's forming according to specific character of posed tasks have been suggested. The scheme of receiving, transformation and data's output for simulation model's creation was developed. The advantages and disadvantages of neural nets and genetic algorithms using for structural realization of simulation model have been analyzed.

Key words: medical institution, simulation model, logistics, genetic algorithm, neural net.

Постановка проблеми. Медична логістика є невід'ємною складовою формування соціальної захищеності населення та якісного рівня життя. Постачання, складування, інформаційний та фінансовий потоки є невід'ємним аспектом функціонування медичного закладу. Використання логістичних підходів зменшуватиме час обробки інформації, підвищуватиме якісні критерії обслуговування пацієнта, дасть змогу знизити витрати на утримання запасів, вирішити проблеми дефіциту медикаментів та перезавантаження палат, а також знизити собівартість медичної послуги, яка визначається ланцюгом створення цінності. Створення імітаційних моделей внутрішньої та зовнішньої логістики надаватиме можливість здійснити графічне, математичне та просторове відображення функціонування системи, а також визначити критерій ефективності та доцільності впровадження змін. В Україні темпи розвитку медичної логістики є дещо нижчими порівняно із європейськими країнами та США, що відображається на якості медичних послуг та розвитку як логістичної, так і медичної галузі загалом. Проблеми технічного забезпечення медичної логістики, неадекватності стандартів медичної послуги, у координації діяльності та визначенні основних причин структурних, технічних та принципівих недоліків актуалізує дослідження щодо

створення імітаційної моделі медичного закладу, як інструменту відображення реальної, еталонної внутрішньої та зовнішньої логістики медичного закладу, а також як метод апробації розроблених логістичних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи стан медичної логістики в Україні, можна стверджувати, що логістика на макрорівні почала розвиватися після одержання батьківщиною незалежності. Є. В. Сайников, начальник Центру забезпечення медичною технікою та майном Міністерства оборони Російської Федерації, у своїй публікації чітко поділив сферу логістичної діяльності на мікро- та макрорівень. Розвиток логістики на макрорівні передбачає оптимізацію технічних та технологічних структур медичних складів і баз на основі автоматизованих робототехнічних систем; прогнозування збуту (попиту); аналіз моделей логістичних систем та дослідження стійкості їх функціонування; комплексну оптимізацію систем транспортування та розподілу медичного майна. На мікрорівні запропоновано створення оптимальних пропорцій між обсягами заготівель, складування і перевезення; зниження витрат і затримок за умови збоїв і простоїв; створення методів комунікації та забезпечення цілісності та взаємодії в системі отримання, зберігання, транспортування [8].

О. С. Каневський, В. М. Кислий, І. С. Ткачук стверджують, що принципи логістики можна застосувати в організації роботи реєстратури поліклінічних закладів (запис та скерування хворих до лікарів різного профілю та кваліфікації); у налагодженні внутрішньоскладського господарства промислових підприємств, для оптимізації внутрішніх потоків медичного персоналу та хворих, у забезпеченні та обслуговуванні медичного обладнання; у лікувально-профілактичних установах; в організації взаємодії клінік зі службою швидкої допомоги в режимі реального часу [7].

Є. В. Бодяньський у своїй роботі запропонував архітектуру вейвлет-фаззі-нейрона типу-2 та алгоритм навчання усіх його параметрів, а Ф. Восермен наводить приклад використання нейронної мережі як інструменту розв'язання багатоетапної транспортної задачі та імітації транспортних сполучень та інтенсивності сполучень між стратегічними об'єктами [2].

Ю. Толуєв описує особливості імітаційного моделювання у ланцюгах постачання та логістичні особливості побудови та застосування, наводить структуру моделі, а також зазначає основні переваги та недоліки даного методу [9].

Використання генетичних алгоритмів у оптимізаційних задачах, зокрема використання методів парних і групових перестановок, методів послідовного наближення, пошуку у глибину і ширину, направленого перебору для пошуку оптимального рішення на деякій кінцевій множині значень описано у роботі [4].

Цілі статті. Описати імітаційну модель зовнішньої та внутрішньої логістики медичного закладу, здійснити її структурування, сформулювати обмеження, основні методи та принципи її побудови.

Виклад основного матеріалу. Логістична діяльність медичного закладу безпосередньо пов'язана із ланцюгами постачань, зокрема медичної техніки, препаратів, устаткування, а також ланцюгом створення цінності, який відобразить додану вартість кожної ланки у контексті кінцевої вартості медичної послуги. Ланцюги постачання у медичній галузі – це послідовність постачальників і споживачів для реалізації взаємних постачань товарно-матеріальної продукції, зокрема медичних препаратів, медтехніки, а також послуг (навчання персоналу, реінжиніринг), під час яких відбувається нарощування доданої вартості медичної послуги, що відображає ступінь адаптивності медичної послуги до потреб споживача.

Розрізняють моделі верхнього і нижнього рівнів ланцюгів постачань [4]. Модель верхнього рівня відобразить сукупне матеріально-технічне забезпечення медичного закладу (медичне устаткування, медичні препарати), інформаційний потік, який супроводжує матеріальний (постанови, укази, нові технології щодо лікування, інформація щодо пацієнта (медична картка чи історія хвороби) та людський потік (медичний персонал та пацієнти). Модель нижнього рівня відображає

внутрішню систему складування медичних препаратів, використання медичного устаткування, а також особливості передавання інформації безпосередньо між відділами, працівниками і пацієнтами. Імітаційна модель надає можливість проаналізувати ефективність використання логістичних підходів у конкретному медичному закладі і за умови виявлення відхилень від стандартів функціонування створити оптимальну еталонну модель внутрішньої та зовнішньої логістики для кожного закладу, враховуючи специфіку функціонування [3]. Запропонуємо таку класифікацію підходів щодо побудови імітаційної моделі внутрішньої та зовнішньої логістики медичного закладу:

– імітаційна модель як апробація внутрішньої та зовнішньої логістики медичного закладу. Такий підхід передбачає створення імітаційної моделі ще на етапі проектування закладу для графічної, аналітичної та анімаційної інтерпретації логістичних потоків. Ця модель дасть змогу оцінити ефективність функціонування зовнішньої та внутрішньої логістики ще на етапі проектування, а також обґрунтувати доцільність реалізації проекту;

– імітаційна модель як інструмент відображення дійсності з метою виявлення недоліків. Таке трактування передбачає створення імітаційної моделі медичного закладу для оцінювання ефективності діяльності, у разі необхідності пошуку оптимізаційних рішень, а також контролю за діяльністю закладу;

– еталонна імітаційна модель, яка є втіленням оптимізаційних рішень, відображає їх ефективність. Така модель є своєрідним зразком найоптимальнішого вирішення проблем та усунення недоліків щодо функціонування внутрішньої та зовнішньої логістики медичного закладу, з метою досягнення встановлених стандартів функціонування.

Поєднання підходів щодо побудови імітаційної моделі відображено на рис. 1.



Рис. 1. Поєднання підходів щодо побудови імітаційної моделі

Джерело: власна розробка

Доцільно також структурувати модель зовнішньої та внутрішньої логістики медичного закладу. Отже, модель внутрішньої і зовнішньої логістики медичного закладу повинна містити такі структурні частини:

- 1) модель структури матеріального потоку (диференціація залежно від специфікації);
- 2) розрахункова модель завантаженості транспортних засобів (карет швидкої допомоги, санавіації, власних автотранспортних засобів для специфічних перевезень);
- 3) розрахункова модель просторової місткості приміщень, зокрема палат, операційних, величини автопарку карет швидкої допомоги;
- 4) модель визначення тривалості маніпуляцій (зокрема час на консультування, анамнез, лікування пацієнтів, тривалість процедур у фізіотерапевтичних кабінетах);
- 5) модель збирання та трансформації внутрішнього та зовнішнього інформаційного потоку;
- 6) модель невідкладного обслуговування пацієнтів;
- 7) модель планового обслуговування пацієнтів;
- 8) моделі стратегії управління запасами;
- 9) модель стратегії об'єднання або розподілу окремих медичних закладів або відділів з метою виконання специфічних завдань, обміну технологіями [1, 3, 4, 9].

Автопарк Львівської станції швидкої допомоги складається із 52 автомобілів. Знос автопарку становить 96 % парку. Щоденно 8–15 автомобілів із 52 не виїжджають через поломку. На підставі аналізу даних кількості ДТП за участь швидкої медичної допомоги за останні 8 періодів було здійснено прогноз кількості ДТП у лютому 2014 р.: прогнозна величина коливатиметься у межах: $32 \leq 37 \leq 42$. Досліджуючи лінійну, логарифмічну, експоненціальну, степеневу, поліноміальну залежності ліній тренду, було виявлено, що найвищою величина достовірності апроксимації є у поліноміальній залежності $y=0,6964x^2-5,1369x+29,982$ і становить 0,91 (логарифмічної: $y=2,5665\ln(x) + 21,33$ $R^2=0,15$; лінійної: $y=4,402x+1$ $R^2=0,3$; експоненціальної: $e^{0,514x}$ $R^2=0,6$; степеневій: $21,59x^{0,0892}$ $R^2=0,13$). Критерій Фішера 20,22, що є більшим від табличного значення ($20,22 > 6,04$), отже, прогноз є адекватним. Оскільки величина функціонально здатного автопарку карет швидкої допомоги становить 40 автомобілів, а кількість ДТП становить 40 випадків, то можна стверджувати, що фактична потужність автопарку карет швидкої допомоги є недостатньою і мала б становити 62 автомобіля, а саме на 22 автомобіля більше, враховуючи стандарти: 1 автомобіль на 100000 населення. Проте чи є ці стандарти адекватними? 40 ДТП у лютому 2014 р. можуть задіяти увесь функціонально здатний автопарк. Для апробації теоретичних стандартів доцільно використовувати імітаційну модель як інструмент наочного відображення комплексної логістичної інфраструктури медичного закладу. Складність формування імітаційної моделі зовнішньої та внутрішньої логістики медичного закладу полягає у диференціації послуг, специфікації діяльності медичних закладів. Для формування ефективної імітаційної моделі необхідно:

- визначити, що буде вхідним і вихідним матеріальним потоком;
- яким повинен бути інструментарій логістичної діяльності, враховуючи специфіку діяльності медичного закладу;
- географічний діапазон ланцюга постачання, зокрема медичних препаратів та медичної техніки;
- види транспорту, які можна використовувати для перевезення усіх категорій вантажів, можливі маршрути, зокрема екстрені щодо діапазону функціонування медичного закладу;
- встановити стандарти ефективності функціонування зовнішньої та внутрішньої логістики;
- встановити межі логістичної діяльності медичного закладу, для якої необхідно створити імітаційну модель.

На відміну від аналітичного моделювання, створити імітаційну модель неможливо за готовими математичними формулами для одержання результатів. Імітаційну модель створюють статистичною обробкою даних, формулюванням і розв'язанням, із врахуванням особливостей функціонування логістичних потоків, оптимізаційних задач із відображенням процесу трансформації та результативних показників у відповідному програмному середовищі.

Для створення імітаційної моделі необхідно вказати й обмеження, які характеризуватимуть діяльність медичного закладу. У медичному закладі такими обмеженнями можуть бути:

- особливості географічного розташування;
- характер функціонування;
- масштаби об'єкта;
- кількість палат, операційних, маніпуляційних, кабінетів фізіотерапії;
- кількість медичного персоналу;
- величина автопарку карет швидкої допомоги;
- кількість складських приміщень.

Кожна модель є неповторною, її особливості характеризуються специфікацією медичного закладу. Створена модель відображає персональне бачення автора щодо можливості реалізації логістичних процесів, отже, скільки авторів, стільки й імітаційних моделей. Створення імітаційних моделей ґрунтується на використанні: принципів нейронних мереж та принципів генетичних алгоритмів.

Схему отримання, перетворення і виведення даних щодо логістичних потоків для створення імітаційної моделі наведено на рис. 2.

Багато логістичних проблем можна зарахувати до класу складних завдань оптимізації, які є комбінаторними і мають не одне, а декілька рішень [3]. Для розв'язання таких задач розроблено різні алгоритми, але до останнього часу не було ефективного механізму пошуку розв'язків на множині альтернатив, що ускладнювало отримання якісних результатів за визначений час. Сьогодні потужним засобом вирішення завдань оптимізації є генетичні алгоритми, які базуються на положеннях теорії еволюції. Ґрунтуючись на методах, подібних до принципів природного відбору, генетичні алгоритми дають можливість за доволі короткий час знайти оптимальне рішення. Використання генетичної оптимізації є доцільним для виконання таких завдань, як обґрунтування чи розроблення стандартів діяльності логістики, створення еталонної оптимізованої імітаційної моделі. Генетичні алгоритми є засобом реалізації оптимізації і надають можливість одержати декілька результатів і обрати найкращий.



Рис. 2. Схема отримання, перетворення і виведення даних щодо логістичних потоків для створення імітаційної моделі

Джерело: власна розробка

Серед переваг генетичних алгоритмів, що визначають ефективність їх використання в різних прикладних задачах, такі:

- можливість використання даного підходу спільно з іншими, як традиційними, так і новими методами розрахунку (наприклад розрахунок оптимальних маршрутів для карет швидкої допомоги);
- ефективна програмна реалізація на комп'ютерах – генетичні алгоритми реалізують просту, але доволі ефективну схему обчислень;
- відсутність яких-небудь додаткових вимог, що висувуються до математичної моделі, що є важливим фактором для здійснення імітації в медицині, оскільки характер діяльності не можливо стандартизувати чіткими загальними вимогами;
- відсутність необхідності в обчисленні похідних цільової функції;
- здатність стабільного визначення глобального екстремуму цільової функції незалежно від кількості запусків програми [2].

Усі генетичні алгоритми мають загальну ітераційну схему: первинний відбір рішень, рекомбінація, мутація, відбір кращих рішень. Оскільки використовується ітераційна схема, то з'являється можливість вирішити поставлене завдання з необхідною точністю. Перевагою такого покрокового підходу є можливість використання індивідуального методу на кожному етапі для конкретного завдання. Використання генетичних алгоритмів є перспективним напрямом в оптимізації прийняття логістичних рішень як на етапі планування, так і на етапі реалізації логістичних процесів у медичних закладах [1].

Для реалізації генетичного алгоритму потрібно виконати наступні кроки:

- 1) створення початкової популяції у кількісному вимірі поставленої задачі медичного закладу;
- 2) оцінювання особини популяції за функцією цілі;
- 3) вибір батьків для процесу розмноження;
- 4) створення нащадків відібраних пар батьків;
- 5) мутація нових особин;
- 6) розширення популяції додаванням нових, щойно створених особин;
- 7) скорочення розширеної популяції до початкового розміру;
- 8) критерій зупинки роботи алгоритму;
- 9) пошук кращої особини в кінцевій популяції;
- 10) сортування отриманих особин за цільовою функцією та відбір найкращої особини.

Поряд з перевагами щодо використання генетичних алгоритмів в імітаційному моделюванні для реалізації оптимізації, існують деякі недоліки:

- критерій добору хромосом і процедур, що використовуються, є евристичним і не завжди гарантує відшукання «найкращого» рішення;
- еволюцію може «заклинити» на якій-небудь непродуктивній гілці;
- можливо, що безперспективні батьки, які будуть вилучені з еволюції, можуть породити високоефективного нащадка.

Для усунення цих проблем потрібно розробити механізм оцінювання перспективних гілок і фактичного керування швидкістю збіжності поколінь до очікуваного результату. Проте взаємозв'язок прийнятих у логістиці рішень актуалізує потребу подальших досліджень у цій сфері.

Нейронні мережі, як правило, використовують для розв'язання задач, які зводяться до апроксимації багатовимірних функцій, тобто побудови відображення $F: x \rightarrow y$.

В імітаційному моделюванні використовувати нейронні мережі доцільно у випадку, коли вже існують якісь обмеження щодо параметрів функціонування, тобто коли потрібно розв'язувати задачу «з кінця». Нейронна мережа дає змогу оптимізувати логістичні потоки у медичному закладі за умови неможливості зміни таких параметрів, як висота, ширина будівлі, кількість палат, операційних, маніпуляційних, реанімаційних палат. Також доцільно використовувати нейронну мережу для імітації існуючої моделі з метою виявлення вузьких місць у логістиці медичного закладу, а також контролю за ланцюгами постачання, діагностика проблем у яких є особливо важкою, оскільки часто вони мають глобальний характер.

Для побудови імітаційної моделі, яка ґрунтується на використанні нейронних мереж, необхідно:

- визначити, яка інформація підлягає локалізації для обробки в штучному нейроні;
- структурувати глобальну задачу як множину завдань;
- визначити методику навчання нейронної мережі для розв'язання задачі;
- визначити необхідний ступінь апроксимації результатів.

Недоліками використання нейронних мереж в імітаційному моделюванні є високий ступінь чутливості нейронів, в результаті якого можуть викривлятися результати і створюватися велика кількість схожих образів.

Висновки і перспективи подальших досліджень:

1. Імітаційне моделювання є складним процесом, проте воно дає змогу не лише математично, графічно відобразити характер трансформації логістичних потоків медичного закладу, а й показати процес у вигляді анімації, що спрощує діагностику функціонування організації, допомагає здійснити апробацію діяльності медичного закладу ще на етапі його створення.

2. Розглянуто імітаційне моделювання як інструмент ідентифікації проблеми та апробації результатів.

3. Імітація дає змогу відобразити процес з усіма необхідними параметрами і очікуваними умовами, не втілюючи його у життя. Це знижує ризик виявлення вузького місця, а також витрати на реорганізацію логістичного процесу.

4. Запропоновано структурування імітаційної моделі медичного закладу, введено параметричні обмеження.

5. З використанням принципу генетичних алгоритмів та нейронних мереж можна оптимізувати процеси, які мають принципово різний характер, а також є альтернативними методами розв'язання найпоширеніших задач у логістиці медичного закладу, зокрема транспортних задач, візуалізації ланцюгів постачання, складських потужностей.

У цьому дослідженні запропоновано загальні принципи побудови, структурування та реалізації імітаційного моделювання. Необхідно здійснити детальніший аналіз та декомпозицію імітаційних моделей у межах функціональної структурування логістичних систем, зокрема підсистеми опрацювання і реалізації замовлень у межах виробничого підприємства, яке є постачальником медичної техніки та препаратів, підсистему опрацювання інформаційного потоку у межах медичного закладу, підсистему передавання замовлень від медичних закладів до виробників, підсистему складування; пакування та транспортування медичної техніки і медикаментів, а також підсистему транспортування пацієнтів із врахуванням транспортної інфраструктури міст, підсистему управління запасами на складах дилерів, виробників медикаментів та медичних закладів. Це і є перспективою для подальших досліджень.

1. Базарова О. В. Підвищення ефективності виробництва на засадах логістики / О. В. Базарова // *Управління розвитком*. – 2012. – № 3. – С. 94–97. 2. Бодяньський Є. В. Інтелектуальна обробка даних на основі гібридної вейвлет-нейро-фаззі системи на адаптивних W-нейронах. / Є. В. Бодяньський, О. А. Винокурова // *Науково-методичний журнал*. – Миколаїв: Збірка Чорноморського державного університету ім. П. Могили, 2009. – Вип 104. – Т. 117. – С. 88–98. 3. Виленская Т. М. Логистика системы здравоохранения в условиях медицинского страхования / Т. М. Виленская // *СПб. Гос. ун-т экономики и финансов*. – 1997. – 243 с. 4. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы: учебн. пособ. / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с. 5. Голиков Е. А. Взаимодействие маркетинга и логистики: учеб. пособ. / Е. А. Голиков. – М. : Флинта, 2007. – 568 с. 6. Крикавський Є. В. Логістика. Основи теорії: підручник / Є. В. Крикавський. – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, “Інтелект-Захід”, 2004. – 416 с. 7. Каневський О. С. Передумови застосування логістичних підходів у галузі медицини / О. С. Каневський, В. М. Кислий, І. С. Ткачук // *Науково-методичний журнал*. – К. : Київський університет економіки і технологій транспорту, Головне управління медичних закладів Укрзалізниці. – 2005. – С. 22–29. 8. Сайников Е. В. Новые подходы к организации обеспечения медицинским имуществом на региональном уровне / Сайников Е. В. // *Медтехника и медизделия*. – 2002. – № 4 (10). 9. Толуев Ю. И. Применение имитационного моделирования для исследования логистических процессов // *Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. Второй Всероссийской научно-практической конференции*. – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2005. – С. 71–75. 10. Тридід О. М. Логістика: навч. посіб. / О. М. Тридід, Г. М. Азаренко, С. В. Мішина. – 2008. – 566 с. 11. Уваров С. А. Логістика:общая концепция, теория, практика / С. А. Уваров. – СПб.: Инвест-НП, 1996. – 232 с. 12. Wasserman P. D. (1989). *Neural computing theory and practice*. (Ф. Восермен Нейрокомп'ютерна техніка: Теорія і практика) режим доступу: <http://www.viktoria.lviv.ua/html/wosserman/index.htm>