

УДК 004.942, 693.54

DOI: 10.31891/2307-5740-2019-276-6-96-102

ЛЕВКОВСЬКИЙ М. О., ДРАЧ І. В.
Хмельницький національний університет

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ ПЕРЕРОБЛЮВАЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Сучасний склад – складна динамічна система, яка містить численні елементи, яка має певну структуру й виконує різні операції щодо переробки, зберігання й розподілу матеріального потоку. Сучасним інструментом дослідження матеріального потоку складських систем є метод імітаційного моделювання, який дозволяє знаходити оптимальні параметри роботи як існуючого, так і проєктованого складу. Об'єднання імітаційного моделювання з методами оптимізації є інструментом, за допомогою якого можна планувати й ухвалювати управлінські рішення на складі, ефективно підтримуючи роботу менеджерів. Оптимізаційну імітаційну модель можна означити як процес знаходження найкращого набору вхідних змінних моделі без участі користувача в оцінці кожного варіанта розв'язку. У цій статті розглянутий приклад побудови імітаційної моделі складської системи підприємства ТОВ «Летичівський комбикормовий завод», спрямованої на визначення загального часу, який необхідний для повного завантаження складу, та часу, який використовується на обслуговування складської продукції у пунктах фасування, обліку та розміщення у секціях зберігання. Наводиться опис як імітаційної моделі складу промислового підприємства з виробництва комбикорму, так і результатів, отриманих шляхом проведення експериментів з цією моделлю. Імітаційна модель реалізована у пакеті прикладних програм MatLab підсистеми Simulink.

Ключові слова: імітаційна модель, оптимізаційна модель, пакет прикладних програм MatLab підсистеми Simulink, моделювання динамічних систем, блоки моделювання, складська система підприємства.

LEVKOVSKIY M., DRACH I.
Khmelnitskyi National University

SIMULATION MODEL OF THE WAREHOUSE SYSTEM AT THE PROCESS MANUFACTURING ENTERPRISE

Simulation modelling is a generally recognized method for researching complex dynamic systems. It is widely used in various fields of science, business and manufacturing. One of the most important functions of logistics systems is managing stock, which involves finding the optimal level of stock with the minimum cost of its creation and maintenance [1]. The consequences of nonoptimal stock can be significant. For instance, an excess of goods leads to an increase in storage costs and a "freezing" of the company capital. The shortage of goods, in turn, leads to a decrease in sales, the level of service, the degree of customer satisfaction, and in the profit of the enterprise. All these factors negatively affect the performance of most operations of the enterprise warehouse system. A modern tool for studying the material flow of warehouse systems is the method of simulation modelling. This method allows to find the optimum parameters of work of both existing and projected warehouse. The main advantage of the method is the ability to perform a series of computer experiments with the simulated system, without interrupting the current technological operations at the existing warehouse, as well as to check different scenarios of the projected warehouse before its operation. This article provides an example of building an optimized model of a warehouse system intended to determine the total time required to fully load the warehouse and the time to process the operations related to the goods at the warehouse processing points for increasing the amount of products stored at the warehouse of the PLC "Letychiv Formula-Feed Plant". The article contains the description of a simulation optimization model of the commercial enterprise for formula-feed production, as well as the results obtained by conducting experiments with this model. The simulation model is implemented in the MatLab application suite of the Simulink subsystem.

Keywords: simulation model, optimization model, MatLab application suite of the Simulink subsystem, modelling of dynamic systems, modelling blocks, warehouse system at the process manufacturing enterprise.

Вступ. Сучасний склад – складна динамічна система, яка містить численні елементи, яка має певну структуру й виконує різні операції щодо переробки, зберігання й розподілу матеріального потоку. У свою чергу, склад є інтегрованою складовою частиною системи більш вищого рівня – логістичного ланцюга [1]. Основна роль складської системи полягає в плануванні й оптимізації матеріального потоку, що проходить через неї.

Поняття та сутність складської логістики та механізмів, що дозволяють ефективно керувати складською системою, розкрито у наукових працях авторів: О. М. Варченко, А. С. Даниленко [2], Є. В. Криківського [3], М. А. Окляндера [4], Д. Д. Коїла, Р. К. Найджмана, Д. Боверсокса [5], О. І. Бабіна [6]. У цих наукових дослідженнях опрацьовані наукові підходи до формування концепції логістики складування, вказані основні функції роботи складу, методи ефективного керування складом.

Мета статті – визначити сутності складування та його механізми для моделювання логістики складування на підприємстві ТОВ «Летичівський комбикормовий завод»; удосконалення складської та виробничої логістики засобами імітаційного моделювання.

Розроблювальна імітаційна модель є робочим інструментом планування й керування складським комплексом під час його експлуатації, дозволяє ефективно розподіляти наявні ресурси на всіх стадіях технологічного процесу (приймання, розміщення, комплектація, відвантаження) і ухвалювати об'єктивні рішення при порушенні запланованих процесів.

Склад – це спеціалізована будівля, приміщення з певною площею, що використовується для зберігання, обробки, розподілу певного виду продукції, для підготовки до транспортування споживачу [1].

У межах системи підприємства, склад повинен розглядатися не ізольовано, а як інтегрована складова частини всієї системи зі своїми функціями та процесами, що відбуваються в ньому. Тільки такий підхід дасть змогу забезпечити успішне виконання основних функцій складу та дозволить збільшити показники рентабельності підприємства. Слід зазначити, що у кожному окремому випадку параметри складської системи значно відрізняються так само, як її елементи та сама структура, що базується на взаємозв'язках цих елементів [7].

Логістика складування ставить основне завдання оптимальної організації внутрішньо-складських процесів, а також завдання технічної, технологічної та планово-організаційної відповідності внутрішніх процесів процесам, що відбуваються в просторі складу, а також завдання переміщення готової продукції без затримок у черзі з зони виробничого цеху до зони зберігання та переміщення з зони зберігання до зони завантаження на вивіз продукції.

Альтернативою для математичного моделювання складних систем є імітаційне моделювання (ІМ). Втіленням ідеї імітаційного моделювання слід вважати імітаційну систему (імітаційну модель) – людино-машинну систему, що забезпечує проведення імітаційного експерименту в режимі діалогу між людиною, що проводить експеримент, і «машиною», тобто комплексом програм, який містить програмно-реалізовану математичну модель системи-оригіналу і керуючі програми [8].

Під час імітаційного моделювання динамічні процеси, що відбуваються у досліджуваній системі-оригіналі, замінюються на процеси, що імітуються в блок-генераторі абстрактної моделі зі збереженням тих самих співвідношень тривалості та послідовності подій, що відбуваються в моделі оригіналу. Під час процесу імітації в моделі фіксуються певні сигнали – події та стани кожного сигналу в певний момент часу, що характеризують імітаційну модель, визначаючи її характеристики та якість функціонування системи під час експерименту [9]. Це дозволяє дізнатися про те, як реальний об'єкт, побудований на основі моделі, буде поводити себе в режимі реального часу. Також імітаційне моделювання дозволяє розглянути процеси, що відбуваються у системі, фактично на будь-якому рівні деталізації.

Концептуальна модель складу. Склад готової продукції Летичівського комбикормового заводу обробляє три види матеріальних потоків: вхідний, вихідний, внутрішній. Наявність вхідного потоку полягає в тому, що з виробничого цеху на склад транспортується готова продукція. Вихідний матеріальний потік складу полягає у процесах транспортування продукції до користувача, тобто потік продукції з зони зберігання до зони завантаження у вантажівку. Внутрішній матеріальний потік зумовлює переміщення продукції в межах складу з зони пакування до зони зберігання.

Підприємство з виробництва комбикорму виробляє набір з семи марок продукції. Номенклатурна лінійка нараховує $n = 60$ видів продукції, випуск продукції кожної марки здійснюється паралельно протягом робочої зміни, тривалістю $t = 8$ годин. Продукція кормів фасується у мішки масами $m_1 = 5$ кг, $m_2 = 10$ кг, $m_3 = 20$ кг. З виробничої лінії мішки надходять у зону, де робітники складають мішки на складські палети розмірами $d = 1200$ мм, $l = 1000$ мм, допустима висота, на яку можна складати мішки з кормом, – $h = 1500$ мм. Весь об'єм продукції виготовляється з рівномірною інтенсивністю виробництва протягом всієї робочої зміни, також можливі простой у виробництві, оскільки, форма корму може бути у вигляді гранули та стружки, розмір зерен матриці гранулятора складає відповідно 3 мм, 5 мм, 10 мм. Відповідно, потрібен час для того, щоб провести обслуговування гранулятора та заміни матриці для виготовлення корму у відповідності з заявкою від споживача.

Продукція, складена на палетах, проходить зважування; інформація про продукцію заноситься в БД підприємства для обліку; далі складський навантажувач перевозить палету з кормом від зони виробництва у зону складування. Зона складування готової продукції може розглядатися за двома схемами.

Перша схема передбачає, що склад розбито на 6 секторів зберігання продукції (рис. 1). Укладання палет з кормом на складі можливе лише в два поверхи, оскільки, висота стріли навантажувача складає $h = 3$ м.

Друга схема зберігання продукції передбачає, що склад розбивається на 4 сектори (рис. 2). На графічних моделях складу (рис. 1, 2) пунктирною лінією вказано можливий маршрут, за яким складський навантажувач розвозить готову продукцію за секторами зберігання в межах складу.

Автопарк для відвозу продукції з території заводу складається з однотипних тривісних автотягачів загальною вантажопідйомністю $g = 30$ т, довжиною напівпричепа $l = 13,6$ м та висотою $h = 3$ м.

Для завантаження кожної вантажівки з території складу необхідно t хвилин ($40 \leq t \leq 80$), маса вантажу для завантаження визначається з сформованої заздалегідь заявки, яка супроводжує кожну машину. Заявка містить інформацію про кількість корму i -го виду для відвантаження зі складу.

Технологічна схема складування готової продукції:

1. Укладання мішків з готовим кормом на складські палети.
2. Обгортка плівкою від вологи складованої продукції в палеті.
3. Внесення в БД підприємства інформації про номер партії, дату виробництва та масу продукції.
4. Переміщення палети з комбикормом із зони виробництва до зони складу.
5. Завантаження складської площі готовою продукцією для зберігання.
6. Розвантаження складу для вивезення продукції до споживача.

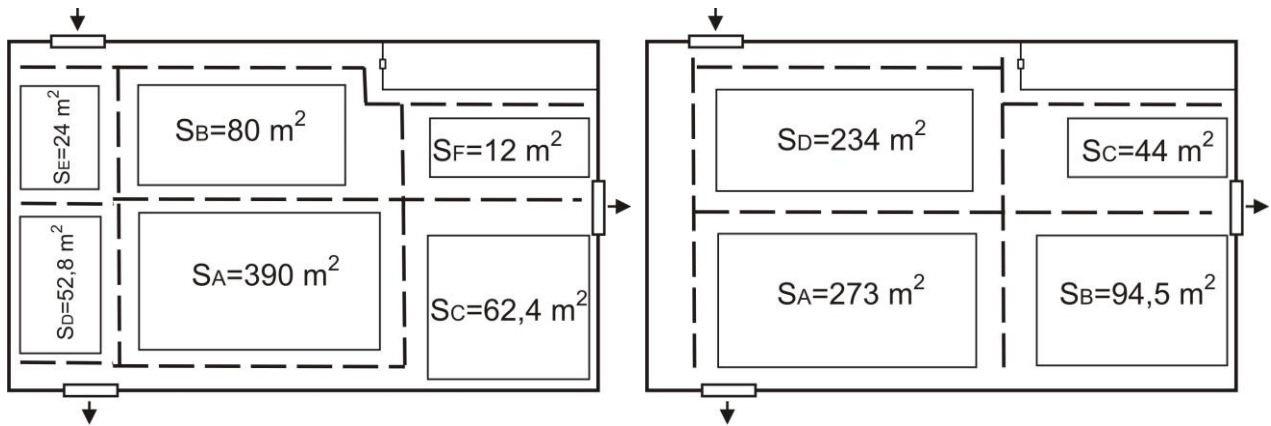


Рис. 1. Графічна модель складу для розміщення готової продукції

Рис. 2. Графічна модель складу з шістьма секціями зберігання

Імітаційна модель в програмному середовищі Simulink

Для побудови імітаційної моделі завантаження складу в якості інструмента розробки було обрано бібліотеку SimEvents підпрограми Simulink пакету Matlab.

Структура SimEvents має блокову структуру, тобто побудована модель представляється у формі блоків, що відповідають за генерацію заявок, обслуговування заявок, очікування заявок та вихід із системи. Кожен блок системи має вхідні канали, у які надходять сигнали від блоків генераторів, також блоки мають канали для виводу статистики. Наприклад, кількість заявок, що надійшли у канал обслуговування, обслуговані заявки, заявки, які не були обслуговані та вийшли з черги.

За допомогою побудованої імітаційної моделі завантаження складу можна розв'язувати такі задачі:

1. Визначення кількості людських та машинних ресурсів, що забезпечують обробку внутрішніх та зовнішніх потоків готової продукції в межах території складу при оптимальному рівні завантаженості.
2. Визначення необхідної площі зон зберігання для продукції, що проходить через канал зберігання складу.
3. Визначення часу, що необхідний для обслуговування заявок через канали збереження на складі, канал обробки складським навантажувачем та канал фасування.
4. Побудова графіків та діаграм, що дозволяють аналізувати динаміку надходження та обробки заявок на склад.

Вхідними даними для побудови імітаційної моделі є: дані про надходження з конвеєра мішків з комбікормом, тобто час між заявками, кількість заявок за проміжок часу; дані про черги, що формуються перед входом в канал обслуговування фасування на пелету; дані про час обслуговування в каналі складського навантажувача до зони зберігання складу та дані про перебування в каналі зберігання.

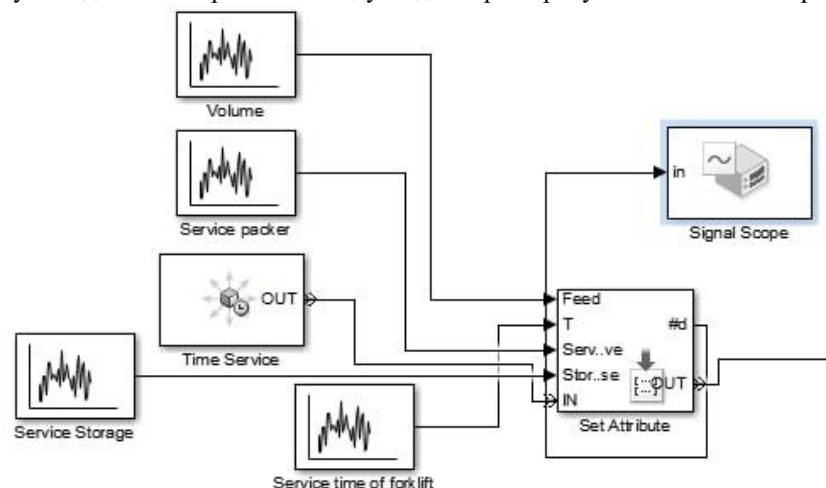


Рис. 3. Фрагмент імітаційної моделі, який відтворює зону генерації заявок

Побудовану модель можна розбити на зони обробки заявок:

- 1) зона генерації заявок, присвоєння сигналам пріоритетів у виконанні (рис. 3);
- 2) зона черги та обробки фасувальником (рис. 4);
- 3) зона черги та обробки складським навантажувачем (рис. 5);
- 4) зона обробки складом заявок (рис. 6).

Для побудованої імітаційної моделі, одиниця моделювання складає 1 хв, тривалість моделювання – робоча зміна або 480 хв, у моделі передбачено, що комбікорм розфасований у мішки по 5 кг.

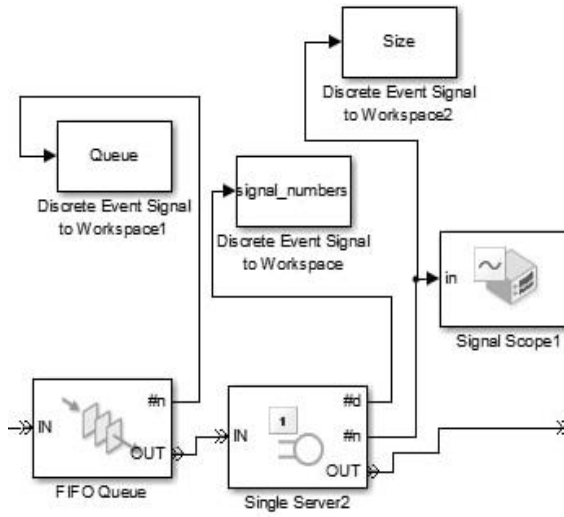


Рис. 4. Фрагмент імітаційної моделі, який відтворює зону обробки сигналів фасувальником

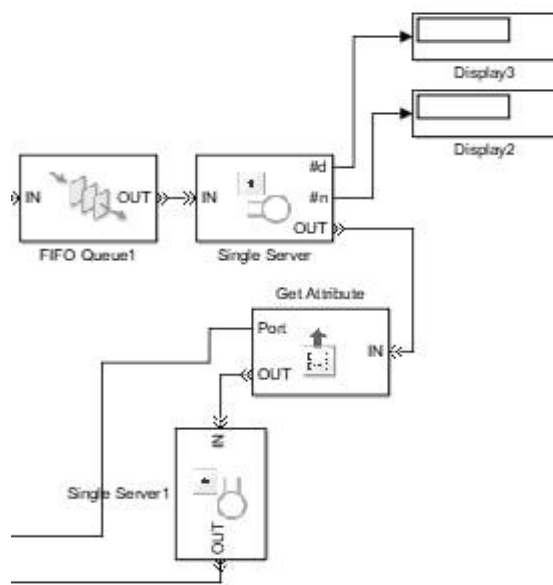


Рис. 5. Фрагмент імітаційної моделі, який відтворює зону обробки сигналів складським навантажувачем

Аналіз результатів моделювання

На основі побудованої імітаційної моделі завантаження складу було виконано декілька експериментальних прогонів моделі та знайдено оцінку показників кількості заявок складських палет, що надійшли у зону зберігання складу й перебували там протягом деякого випадкового часу, що генерувався в блоці ServiceStorage (рис. 3) з параметрами експоненціального та рівномірного розподілів. Результати експериментальних прогонів імітаційної моделі надано в таблицях 1, 2. За результатами імітаційного моделювання можна відзначити, що розподіл надходження заявок в систему та часу обслуговування заявок в системі суттєво впливає на кількість заявок, що надходять в зону зберігання складу.

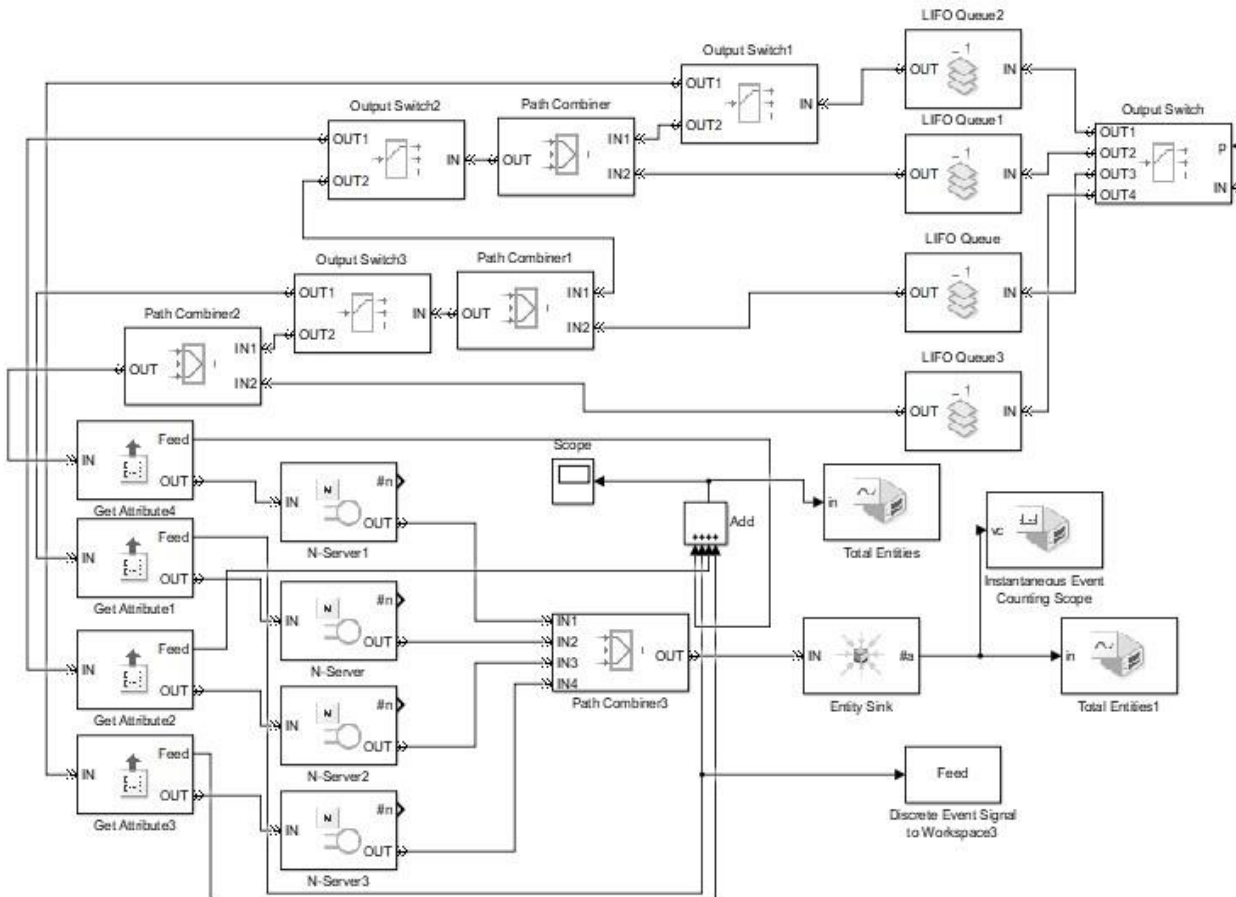


Рис. 6. Фрагмент імітаційної моделі, який відтворює зону обробки сигналів в ході розподілення зон зберігання складу за графічною моделлю 2

Таблиця 1

Результати експериментів з імітаційною моделлю завантаження складу за графічною моделлю 1

Номер експерименту	Параметри розподілу заявок та інтервал надходження заявок	Параметри розподілу та інтервал надходження на зберігання	Параметри розподілу та інтервал обслуговування навантажувачем	Кількість мішків в палеті	Кількість заявок що зберігаються на складі
1	Uniform (min=12, max=15)	Uniform (min=25, max=175)	Uniform (min=10, max=15)	124	36
2	Const (Period=15)	Uniform (min=25, max=175)	Uniform (min=10, max=15)	124	32
3	Exponential (mean=15)	Exponential (mean=26)	Exponential (mean = 10)	122	26
4	Exponential (mean=6)	Exponential (mean=26)	Exponential (mean = 5)	122	51

Таблиця 2

Результати експериментів з імітаційною моделлю завантаження складу за графічною моделлю 2

Номер експерименту	Параметри розподілу заявок та інтервал надходження заявок	Параметри розподілу та інтервал надходження на зберігання	Параметри розподілу та інтервал обслуговування пакувальником	Кількість мішків в палеті	Кількість заявок що зберігаються на складі
1	Uniform (min=12, max=15)	Uniform (min=25, max=175)	Uniform (min=10, max=15)	124	36
2	Const (Period=15)	Uniform (min=25, max=175)	Uniform (min=10, max=15)	124	32
3	Exponential (mean=15)	Exponential (mean=26)	Exponential (mean=14)	122	26
4	Exponential (mean=6)	Exponential (mean=26)	Exponential (mean=4)	122	51

З аналізу результатів, наданих у таблицях 1 і 2, можна зробити висновок, що розділення складського приміщення на шість зон зберігання продукції зменшує час обслуговування заявок складським навантажувачем. Це позитивно впливатиме на збільшення кількості складських палет, яку навантажувач зможе завести в склад з декількох ліній виробництва. Кількість заявок з однієї лінії виробництва, що надходить в склад, фактично, залишається сталою, але також зменшується час обслуговування навантажувачем.

На рис. 7 надано графік, що відображає динаміку завантаження складу впродовж робочої зміни.

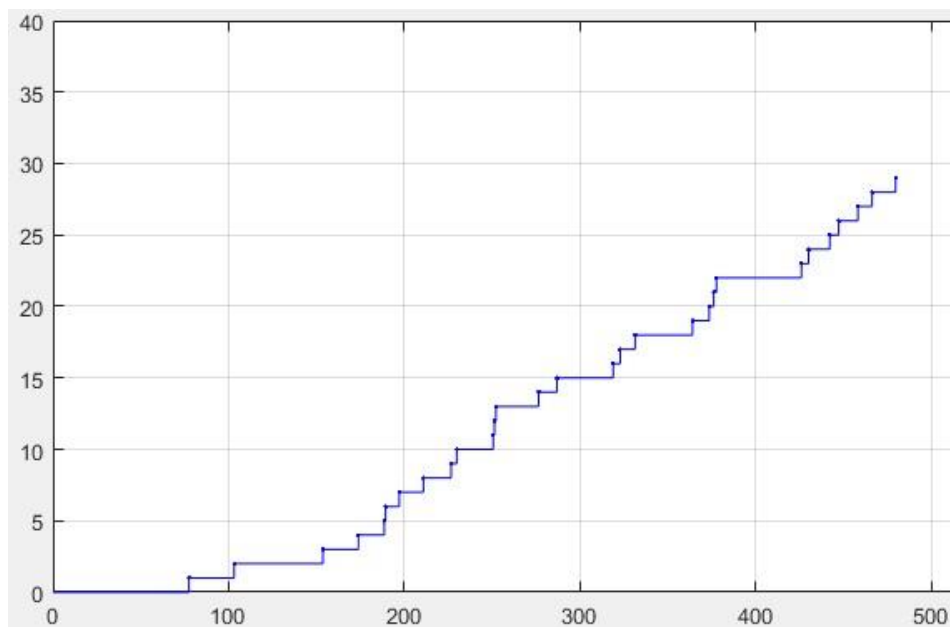


Рис. 7. Динаміка надходження заявок на зберігання

Висновки. У статті розглядається практичний приклад побудови імітаційної моделі складської системи підприємства ТОВ «Летичівський комбікормовий завод», визначено технологічну схему роботи складської системи, на основі якої побудовано імітаційну модель завантаження складу готової продукції з чотирма і шістьма секціями для зберігання палет.

Результатом моделювання є оцінка розмірів заявок, що надходять у зону зберігання складу, загальна кількість заявок, які прибули на склад впродовж робочої зміни.

Розроблена модель дозволяє розв'язувати різні задачі, які належать до аналізу поведінки об'єкту моделювання. Імітаційна модель в плануванні діяльності складу дозволяє зменшити час на обслуговування заявок або збільшити кількість серверів для обслуговування заявок, що надходять у канал обслуговування, для збільшення пропускної здатності складу готової продукції, підвищити точність обліку ресурсів і складських операцій, скоротити рівень складських запасів готової продукції, зменшити витрати на зберігання, підвищити продуктивність праці на складі, аналізувати кількісні показники роботи складу.

Слід зазначити, що за допомогою побудованої імітаційної моделі підприємство зможе збільшити свій прибуток шляхом збільшення об'єму реалізації продукції, яка ефективно зберігається на складі; оцінити роботу складської системи з наступною оптимізацією часу на обслуговування складської продукції у пунктах фасування, обліку та розміщення за секціями зберігання.

Література

1. Лукинський В.С. Модели и методы теории логистики / Лукинський В.С. – СПб : Питер, 2008. – 448 с.
2. Даниленко А.С. Логістика: теорія і практика : навч. посіб. / А.С. Даниленко, О.М. Варченко, О.В. Шубравська та ін. – К. : «Хай-Тек Прес», 2010. – 408 с.
3. Крикавський Є.В. Інтеграція маркетингу і логістики в системі менеджменту / Є.В. Крикавський // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2001. – № 416. – С. 52–61.
4. Окландер М.А. Логістична система підприємства : монографія / М.А. Окландер. – Одеса : «Астропринт», 2004. – 312 с.
5. Coyle J.J. The Management to Business Logistics : 5ed / J.J. Coyle, E.J. Bardi, C.J. Langley. – St. Paul (Minn.) : West Publishing Co., 2010. – 232 p.
6. Бабина О.И. Разработка оптимизационной имитационной модели для поддержки процессов планирования складских систем / О.И. Бабина // Компьютерные исследования и моделирование. – 2014. – Т. 6, № 2. – С. 295–307.
7. Быстрых А. Складская логистика [Електронний ресурс] / А. Быстрых. – Режим доступу : http://www.iteam.ru/publications/logistics/section_75/article_3643/
8. Моделювання та оптимізація систем : підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В. – Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. – 804 с.
9. Моделювання систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k0548&T=05&lng=1&st=0.

References

1. Lukinskij V.S. Modeli i metody teorii logistiki / Lukinskij V.S. – SPb : Piter, 2008. – 448 s.
2. Danylenko A.C. Lohistyka: teoriia i praktyka : navch. posib. / A.C. Danylenko, O.M. Varchenko, O.V. Shubravskaya ta in. – K. : «Khai-Tek Pres», 2010. – 408 s.
3. Krykavskiy Ye.V. Intehratsiia marketynhu i lohistyky v systemi menedzhmentu / Ye.V. Krykavskiy // Visnyk NU «Lvivska politekhnik». – 2001. – № 416. – S. 52–61.
4. Oklander M.A. Lohistychna systema pidpriemstva : monohrafiia / M.A. Oklander. – Odesa : «Astroprint», 2004. – 312 s.
5. Coyle J.J. The Management to Business Logistics : 5ed / J.J. Coyle, E.J. Bardi, C.J. Langley. – St. Paul (Minn.) : West Publishing Co., 2010. – 232 p.
6. Babina O.I. Razrabotka optimizacionnoj imitacionnoj modeli dlya podderzhki processov planirovaniya skladskih sistem / O.I. Babina // Kompyuternye issledovaniya i modelirovanie. – 2014. – T. 6, № 2. – S. 295–307.
7. Bystryh A. Skladskaya logistika [Elektronniy resurs] / A. Bystryh. – Rezhim dostupu : http://www.iteam.ru/publications/logistics/section_75/article_3643/
8. Modeliuvannia ta optymizatsiia system : pidruchnyk / [Dubovoi V. M., Kvietnyi R. N., Mykhalov O. I., Usov A. V. – Vinnytsia : PP «TD«Ednlveis», 2017. – 804 s.
9. Modeliuvannia system [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k0548&T=05&lng=1&st=0.

Рецензія/Peer review : 11.11.2019

Надрукована/Printed : 02.01.2020
Рецензент: д. е. н., проф. Григорук П.М.