

Имитационное моделирование динамики роботизированного склада

Р.Б. Адаев, П.А. Севостьянов

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва

Аннотация: Представлены преимущества имитационных моделей. Рассмотрена компьютерная имитационная модель автоматизированного склада и приведено решение модельной оптимизационной задачи управления складом. Модель реализована в системе AnyLogic с применением средств мультиагентного моделирования.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, цифровой двойник, управление запасами, AnyLogic, кластеризация.

Использование искусственного интеллекта, цифровых двойников и промышленных роботов открывает новые возможности для управления запасами [1-4]. Цифровое моделирование в этой области позволяет предсказывать поведение системы, оптимизировать процессы управления запасами, учитывая различные входные данные и сценарии, адаптацию к новым технологиям и обучение персонала. Это актуально в условиях постоянно меняющихся рыночных условий и требований потребителей. Преимущества в виде повышенной точности прогнозов, снижения издержек и улучшения общей эффективности процессов делают инвестиции в данное направление оправданными [5].

Разработка современных технологий имитационного моделирования открывает новые возможности для оптимизации процессов в различных отраслях, включая логистику и снабжение.

Цифровой двойник может служить инструментом для симуляции и тестирования различных сценариев, исследования воздействия переменных на систему или предварительного анализа последствий изменений. В этом смысле он выступает в качестве имитационной модели, позволяющей изучать объект или систему в виртуальной среде без риска для реального объекта или системы [6-7]

Имитационные модели могут использоваться для прогнозирования будущего спроса на товары или услуги [8-9].

Имитационная модель склада может быть полезна для анализа и оптимизации операций на складе. В основе имитационной модели склада лежит процесс моделирования движения товаров на складе, включая их поступление, хранение, отбор и отгрузку.

Ниже приведено описание разработанной модели роботизированного складского терминала готовой продукции. Данная модель построена с использованием библиотеки моделирования процессов AnyLogic и форм сетевой разметки [10].

Имитация основана на следующих представлениях о функционировании автоматизированного склада. Палеты доставляются на склад грузовыми автомобилями. Затем обслуживающий персонал разгружает и транспортирует поддоны в зону приема. Поддоны обрабатываются, маркируются регистраторами и затем перемещаются в зону хранения с помощью вилочных погрузчиков.

Первоначально были заданы агенты, выполняющие задачи. Под агентом в AnyLogic понимается элемент модели, который может иметь поведение, память (историю), контакты и т.д. Затем была построена модельная сеть, объединяющая действия по агентам, имеющим активные роли в модели, в централизованную систему. На следующем этапе каждый элемент складского помещения был описан, к ним были добавлены переменные, коллекции и вложенные функции. Заказы поступают на склад. Для каждого заказа вилочный погрузчик выбирает один поддон из хранилища и транспортирует его в зону отправки. В этой области контролирующий персонал сопоставляет содержимое палет с заказом. После проверки поддона розничный (меньший) грузовик въезжает на склад и забирает поддон со склада. Задаются пути перемещения автопогрузчиков,

стеллажи, генераторы появления товаров. В модель включены элементы, описывающие загруженность ресурсов и временные интервалы. При имитации эти данные можно корректировать в зависимости от проводимого эксперимента.

Крупный склад — это десятки автоматических ворот или гейтов, в которых партнеры-поставщики или внутренние службы круглосуточно привозят товар на автомобилях.

Основные этапы алгоритма «Доставка товаров до склада»:

1. Начало процесса и добавление грузовиков поставщиков в очередь для доставки товаров до склада.
2. Открытие 1-й зоны «Зона разгрузки» и прибытие грузовика на парковку у склада.
3. Выбор свободного гейта для отгрузки товаров на данном этапе процесса.
4. Ветвление процесса в зависимости от выбранного гейта.
5. Отображение времени и процесса разгрузки грузовика на данном этапе.
6. Расположение товара в зоне разгрузки.

Построенная имитационная модель представлена на рис. 1.

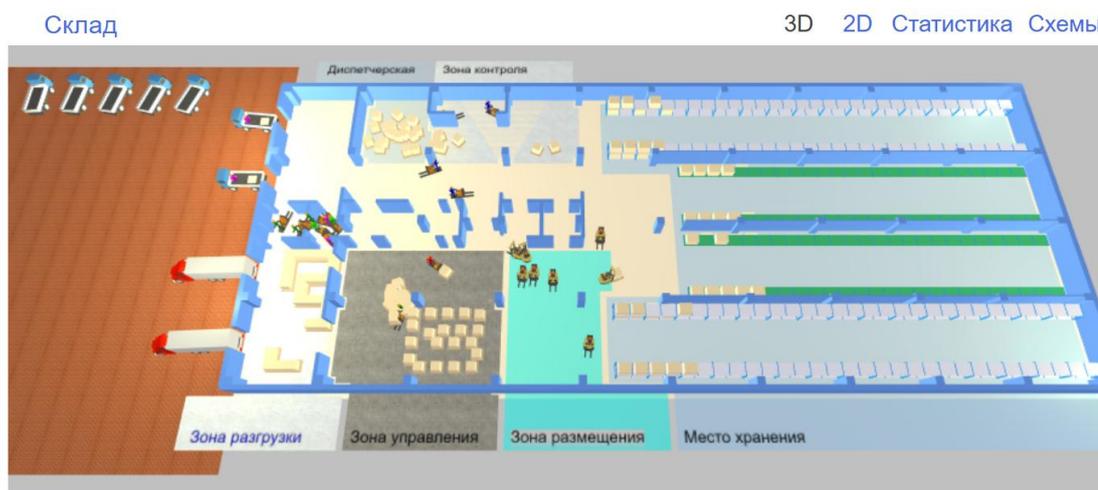


Рис. 1 – Имитационная модель роботизированного склада

С моделью был разработан и проведен эксперимент с целью оптимизации работы склада. Целевая функция эксперимента: найти наилучший процент заполненности стеллажей. Стоит задача максимизировать этот процент. Но загруженность больше 95% не будем допускать, чтобы не возникло перегрузка. Варьируемыми переменными были такие параметры, как количество погрузчиков, интервал доставок и др. (табл. 2)

Входные данные эксперимента оптимизации и результаты оптимизации представлены в таблице 1 и на рис. 3.

Таблица № 1

Параметры эксперимента оптимизации

Наименование	Тип	Мин	Макс	Шаг	Лучшее значение
Вместимость зоны разгрузки	Дискретный	5	30	5	5
Вместимость зоны приема	Дискретный	5	30	5	10
Вместимость зоны ожидания приема	Дискретный	10	30	3	22
Вместимость зоны контроля	Дискретный	5	20	4	5
Вместимость зоны отправки	Дискретный	3	21	3	3
Вместимость зоны размещения	Дискретный	1	22	1	5
Количество погрузчиков	Дискретный	1	15	1	4
Количество грузовых автомобилей розничной торговли	Дискретный	1	15	1	2
Вместимость очереди заказов	Дискретный	10	40	10	20

Время загрузки [макс.]	Фиксированный	8	-	-	8
Время загрузки [мин.]	Фиксированный	3	-	-	3
Время между поступлениями заказов [мин.]	Непрерывный	0	4	-	0,783
Время между прибытиями заказа [максимальное]	Непрерывный	4	10	-	5,19
Количество диспетчеров	Дискретный	3	10	1	7
Время между прибытиями грузового автомобиля [мин]	Фиксированный	10	-	-	10

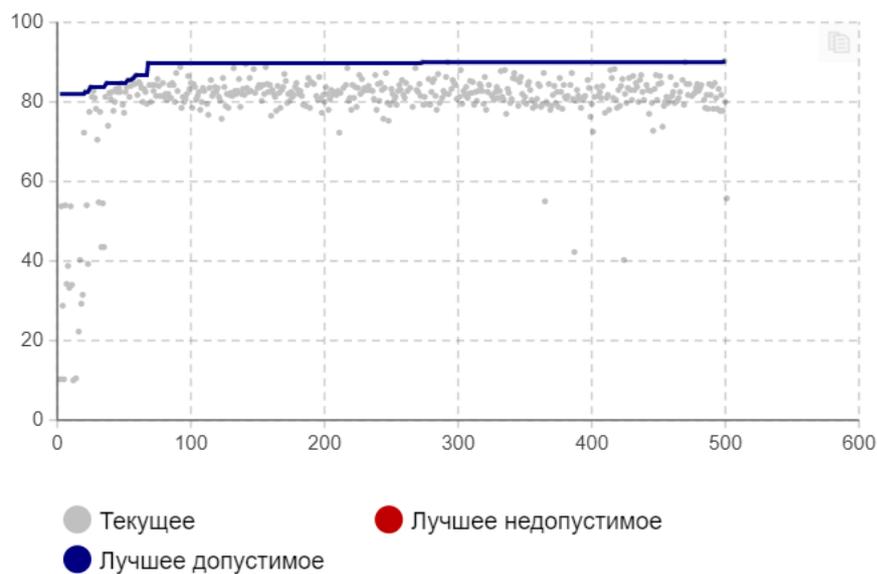


Рис. 3 – Результаты оптимизационного эксперимента

Итог: заполненность около 90%.

Полученную модель можно использовать для оптимизации других параметров, например количества погрузчиков.

Полученные данные можно кластеризовать. Например, создать программу, которая выполняет кластеризацию расположения товаров на стеллаже (рис. 4).

Можно исследовать зависимость общего результата от какого-то конкретного параметра, например, среднего времени м/ду поступлением заказов. Используются библиотеки Python sklearn, matplotlib. Данные считываются из файла.



Рис. 4. – Кластеризация расположения товаров

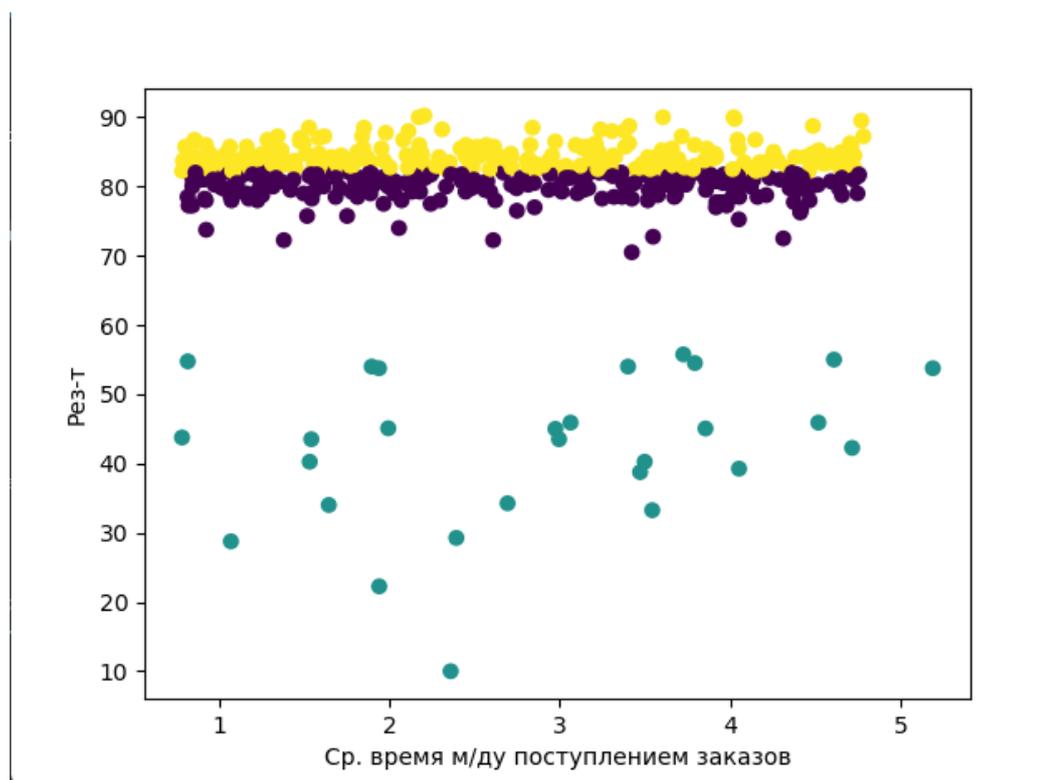


Рис. 5. – Кластеризация параметра 1

На основе результатов кластеризации нельзя сделать вывод об устойчивом влиянии какого-либо параметра на общий результат.

Литература

1. Оптимизация системы управления запасами с помощью машинного обучения: [сайт]. URL: evogeeek.ru/articles/57555/
2. Minaev V., Mazin, A., Zdiruk, K., Kulikov, L. (2019). Digital twins of objects in the solution of control problems. Radio industry (Russia). 29. pp.68-78. 10.21778/2413-9599-2019-29-3-68-78.
3. Орешина М.Н. Применение искусственного интеллекта в инновационной деятельности промышленных предприятий// E-Management. 2021. Т. 4, № 1. С. 29–37.

4. Черепанов Н.В., Буслаев С.П. Проблемы и задачи развития искусственного интеллекта на машиностроительном предприятии // Инновации и инвестиции. 2021. №7. URL: cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-zadachi-razvitiya-iskusstvennogo-intellekta-na-mashinostroitelnom-predpriyatii (дата обращения: 27.09.2023).
 5. Севостьянов П.А., Монахов В.В., Самойлова Т.А., Ордов К.В. Имитационная модель износа и старения одномерного материала в нестационарных условиях внешних воздействий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1(367). С. 223-226. EDN YRGJCB.
 6. Anand Prakash How Leveraging Digital Twins and AI in Supply Chain Benefit Businesses? [Сайт]. URL: appventurez.com/blog/how-ai-and-digital-twins-reduce-supply-chain-problems
 7. Гуркова В.М., Карпенко О.С. Использование библиотек языка Python при решении практических задач, связанных с моделированием сетей массового обслуживания // Образование. Технологии. Качество. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Саратов. Издательство «Перо». 2022. С. 47-51.
 8. Яловой И.О. Имитационное моделирование взаимодействия пешеходов на основе модели социальных сил // Инженерный вестник Дона. 2010. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/137
 9. Isomura A., Iida Ya., Naito I., Nakamura T. // Axispot: A Distributed Spatiotemporal Data Management System for Digital Twins of Moving Objects IEEE Software. 2022. Vol. 39, No. 2. P. 33-38. DOI 10.1109/ms.2021.3132899. EDN TYXGLJ.
 10. Адаев Р.Б., Ветрова О.А. Применение средств визуализации для задач оптимизации транспортной модели // Научная визуализация 15.2: С. 22-37, DOI: 10.26583/sv.15.2.03
-

11. Монахов В.И., Севостьянов П.А. Прикладные методы и задачи моделирования: Монография. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет дизайна и технологии", 2015. 227 с. ISBN 978-5-87055-295-8. EDN VMPVGT.
12. Тимохин М.Ю., Шаранин В.Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции // Инженерный вестник Дона. 2023. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8746

References

1. Optimizacija sistemy upravlenija zapasami s pomoshh'ju mashinnogo obuchenija [Optimization of the inventory management system using machine learning]: [website]. URL: evogeek.ru/articles/57555/
 2. Minaev V., Mazin A., Zdiruk K., Kulikov, L. Radio industry (Russia). 2019. №29. pp. 68-78. 10.21778/2413-9599-2019-29-3-68-78.
 3. Oreshina M.N. E-Management. 2021. Т. 4, № 1. pp. 29–37.
 4. Cherepanov N.V., Buslaev S.P. Innovacii i investicii. 2021. №7. URL: cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-zadachi-razvitiya-iskusstvennogo-intellekta-na-mashinostroitelnom-predpriyatii (accessed 27/09/23)
 5. Sevost'janov P.A., Monahov V. V., Samojlova T.A., Ordov K.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. 2017. № 1(367). pp. 223-226.
 6. Anand Prakash How Leveraging Digital Twins and AI in Supply Chain Benefit Businesses?: [website]. URL: appventurez.com/blog/how-ai-and-digital-twins-reduce-supply-chain-problems
 7. Gurkova V.M., Karpenko O.S. Obrazovanie. Tehnologii. Kachestvo. Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Saratov. Izdatel'stvo «Pero». 2022. pp. 47-51.
-



8. Jalovoj I. O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2010. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/137
9. Isomura A., Iida Ya., Naito I., Nakamura T. IEEE Software. 2022. Vol. 39, No. 2. pp. 33-38. DOI 10.1109/ms.2021.3132899. EDN TYXGLJ.
10. Adaev R.B., Vetrova O.A. Scientific visualization 15.2: pp. 22-37, DOI: 10.26583/sv.15.2.03
11. Monahov V.I., Sevost'janov P.A. Prikladnye metody i zadachi modelirovanija: Monografija [Applied methods and modeling tasks: Monograph]. Moskva: MGUDT, 2015. 227 p. ISBN 978-5-87055-295-8.
12. Timohin M. Ju., Sharanin V. Ju. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8746

Дата поступления: 17.04.2024

Дата публикации: 30.05.2024