

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Д.В. Самойлов, А.Г. Палей (Челябинск)

В сложных системах возможность применения традиционных методов поиска оптимального решения ограничена, поскольку слабоструктурированные задачи сочетают в себе как количественные, так и качественные зависимости. Одним из путей исследования процессов в таких системах является создание «цифрового двойника» системы с использованием имитационной модели [4]. В частности, для оптимизации логистических операций на предприятиях разного назначения с учетом имеющихся ресурсов перспективно использование методов имитационного моделирования [2].

С точки зрения компьютерной реализации имитационное моделирование – это комплексный метод исследования сложных систем, который включает в себя построение концептуальных, математических и программных моделей. Иными словами, это построение цифрового аналога реального процесса, с помощью которого в виртуальном пространстве можно неоднократно провести целенаправленные имитационные эксперименты различного характера.

Общество с ограниченной ответственностью НПП Технология – российское предприятие, входящее в Группу НПП занимается литейным производством, осуществляет поставки модификаторов для стали, чугуна и оборудования, выполняет научные исследования в области разработки технологии модифицирования литейного производства. Помимо основной деятельности предприятие предоставляет услуги ответственного хранения, для чего имеется система складов, наличие собственной железнодорожной ветки, близость к автомобильным дорогам. Для проведения этой деятельности предприятие имеет набор ресурсов, в частности, фронтальные автопогрузчики, вилочные автопогрузчики, козловой кран. Необходимо было разработать модель организации логистической сети, в рамках которой минимизировать временные затраты на обслуживание заказов.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия между объектами системы в информационном плане (диаграмма потоков данных в нотации DFD). На основе схемы было проанализировано движение потоков информации в системе.

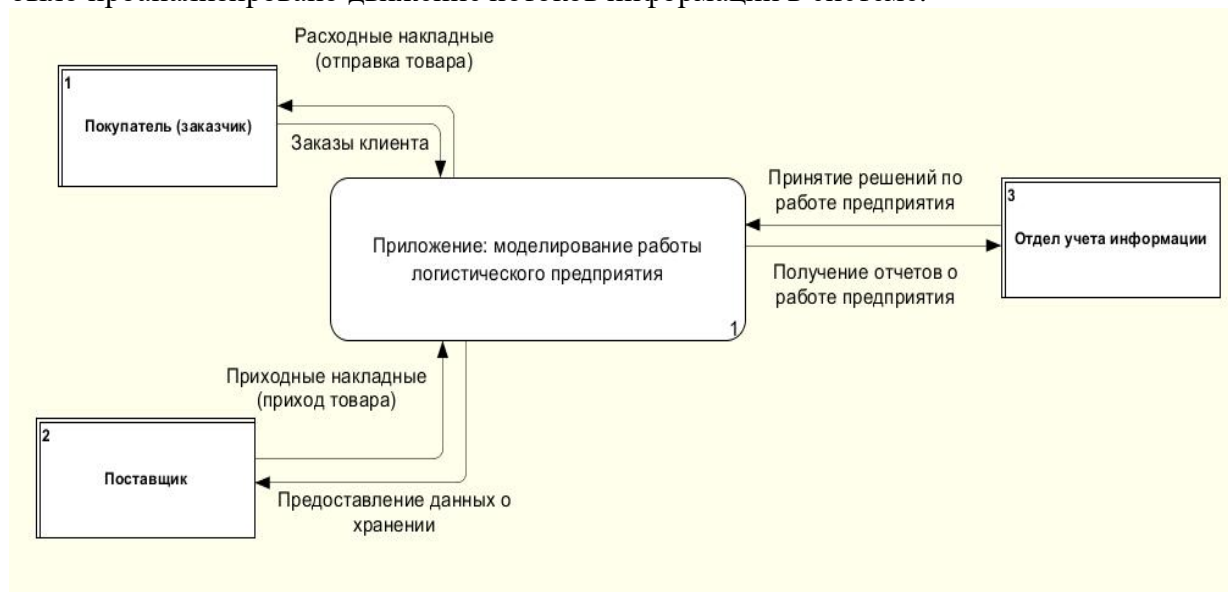


Рис. 1. Диаграмма потоков данных

Основной функциональный блок – моделирование работы логистического предприятия, который имитирует основные процессы функционирования системы, содержит информацию о покупателях и поставщиках, обрабатывает данные для получения аналитических результатов и дальнейшего принятия решения. Его декомпозиция представлена на рис. 2.

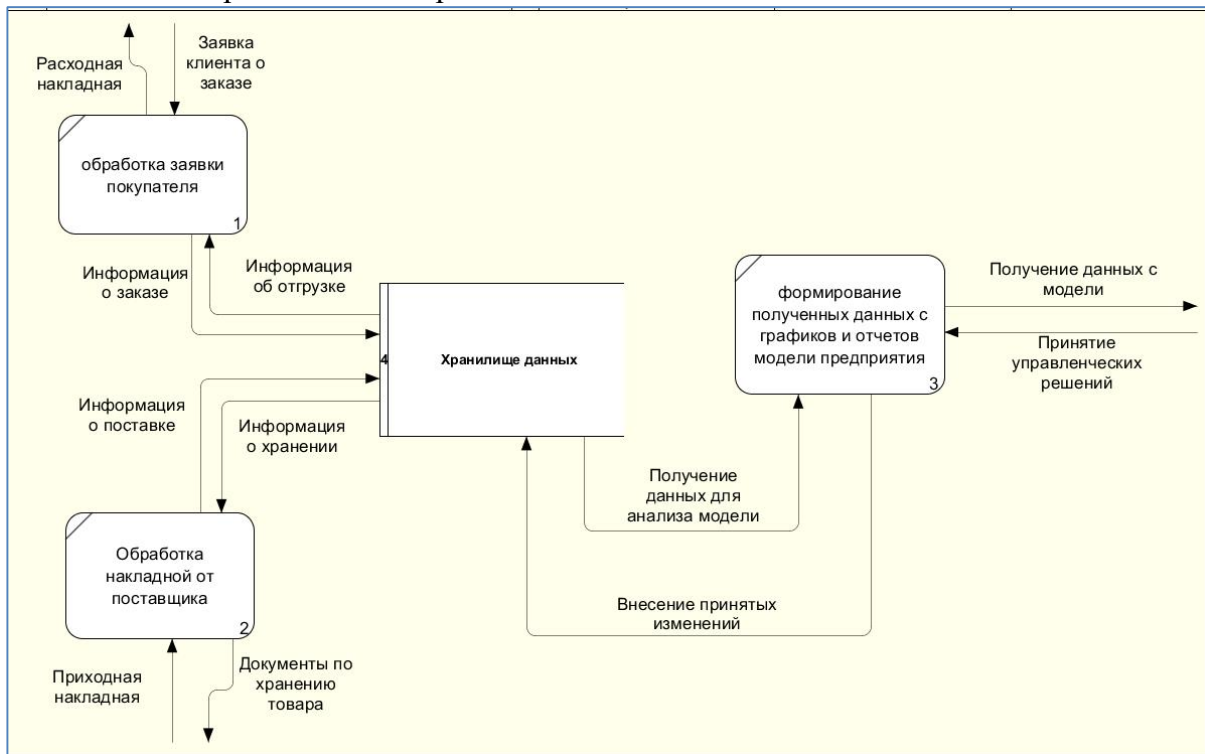


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции

Анализ диаграммы показывает, что моделируемый процесс можно представить в виде стохастической многофазной многоканальной системы массового обслуживания замкнутого типа с ограниченной входной емкостью.

Исходные данные для моделирования

- среднее количество поступления заказов на разгрузку – 42 в день;
- среднее количество поступления заказов на отгрузку – 42 в день;
- количество имеющихся погрузчиков на предприятии – 30 шт.

Модель отображает основные характеристики реального объекта в соответствии с поставленной целью. Поэтому были сделаны некоторые допущения. Например, не учитываются особенности траектория движения объектов, нахождение продукции на стеллажах разного уровня, дорожное покрытие, а также погодные условия.

Одной из программ для реализации задач имитационного моделирования различных видов является программный продукт AnyLogic – отечественный профессиональный инструмент, предназначенный для разработки имитационных моделей любого типа. Основывается на современных результатах теории моделирования и информационных технологиях. Язык Java, на котором написана программа, эффективен при работе в различных операционных системах.

Имитационная модель (рис. 3) построена с использованием инструмента моделирования AnyLogic версии 8.4. Модель в AnyLogic задается графически в виде последовательности блоков, каждый из которых представляет собой отдельную операцию. При построении модели использовалась дискретно-событийная библиотека среды, которая предполагает представление моделируемой системы в виде процесса, то есть последовательности операций, выполняемых агентами. Агенты описывают и

моделируют исследуемый объект. В данной работе агентами (классами) выступают следующие объекты:

- грузовики, приезжающие на погрузку/разгрузку;
- погрузчики – используются в системе как ресурс;
- заказы – содержат в себе информацию о заказе;
- хранилище (склад) – содержит информацию о складских стеллажах и местах погрузки/разгрузки;
- груз (продукт) – состоит из самого груза в виде одного блока с платформой для транспортировки этого груза (поддон).

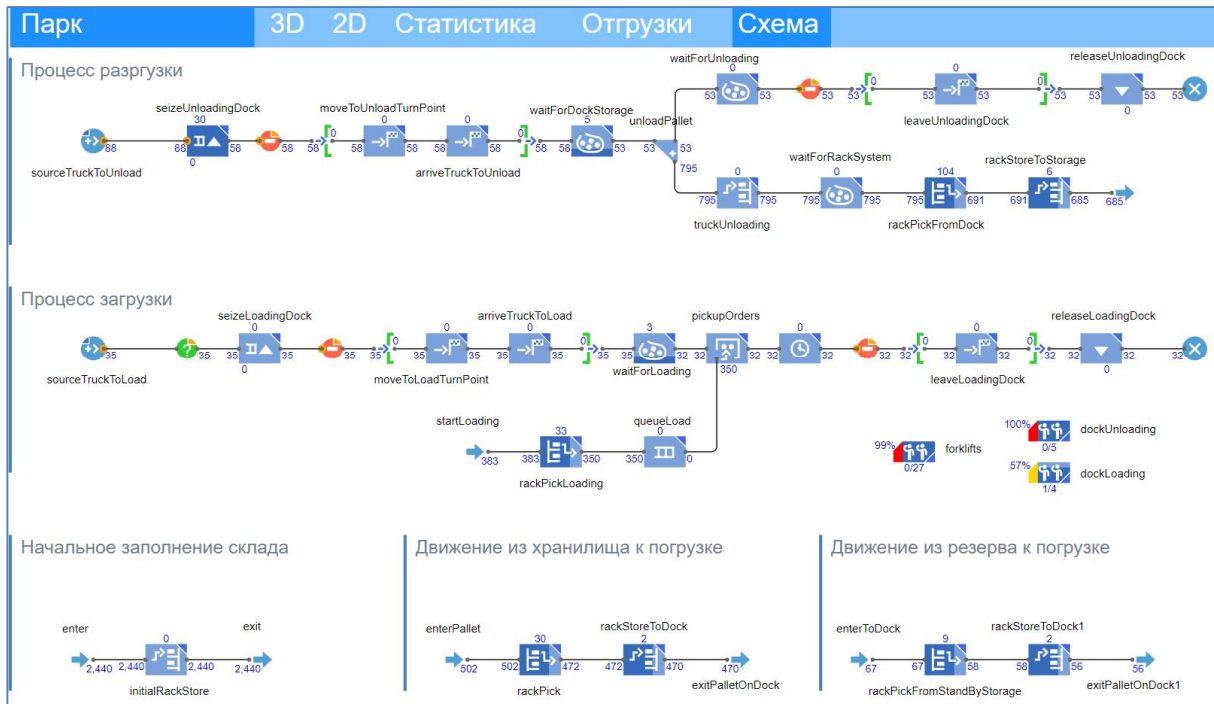


Рис. 3. Имитационная модель

В процессе моделирования проводились эксперименты с различными параметрами распределения погрузчиков (таблица 1).

Таблица 1. Эксперименты с моделью

Номер эксперимента	Заданное количество погрузчиков на этапе		Средние временные затраты (мин)
	Разгрузка грузовиков	Формирование заказов	
1	8	12	241,1
2	4	12	250,2
3	5	6	240,8
4	5	3	214,2
5	5	4	211,8

На рис. 4 показан результат эксперимента № 1 со следующими значениями распределения погрузчиков:

- всего погрузчиков в системе – 30;
- используемых на этапе разгрузки – 8;
- используемых в формировании заказов – 12.

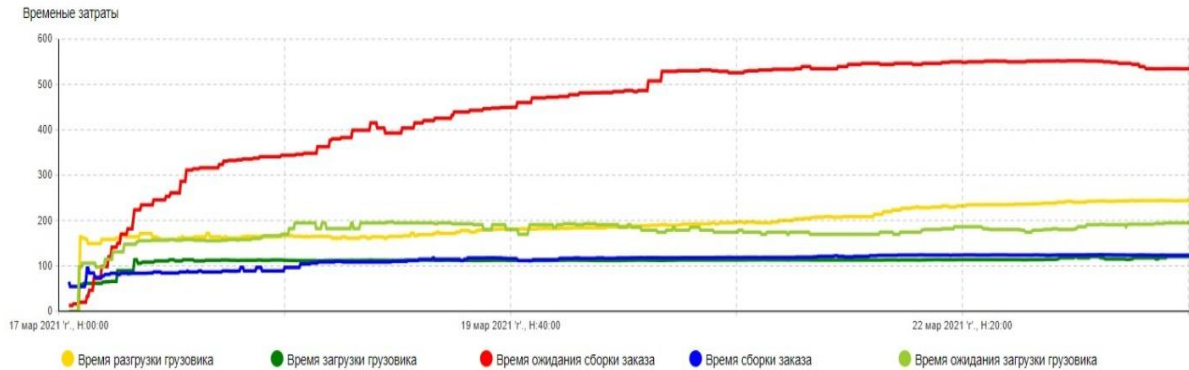


Рис. 4. Результаты эксперимента № 1

На рис. 5 показан результат эксперимента № 5 со следующими значениями распределения погрузчиков:

- всего погрузчиков в системе – 30;
- используемых на этапе разгрузки – 5;
- используемых в формировании заказов – 4.

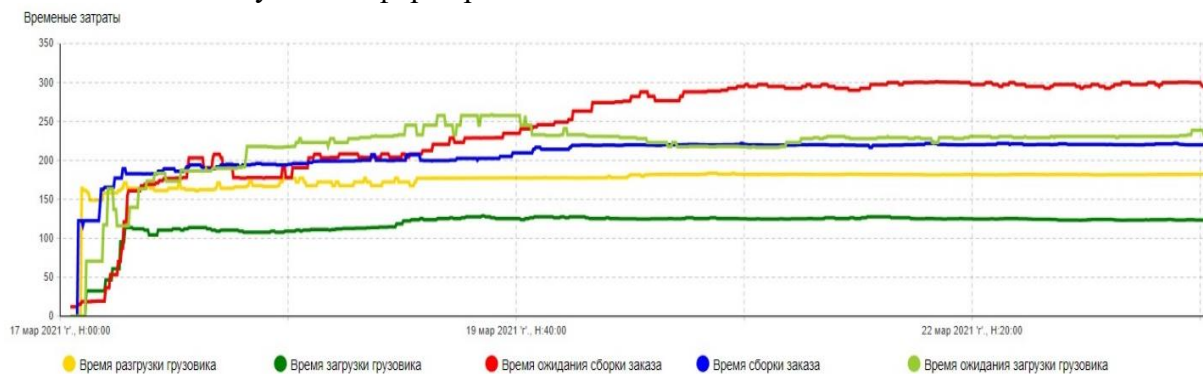
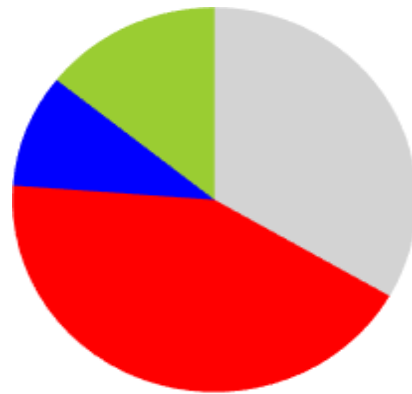


Рис. 5. Результаты эксперимента № 5

Результаты как приведенных выше, так и экспериментов с другими значениями представлены в последнем столбце таблицы 1.

Из анализа результатов проведенных экспериментов наиболее эффективным с точки зрения выбранного критерия является эксперимент № 5, так как в нем получены минимальные временные затраты. Таким образом, реализация оптимального варианта организации моделируемого процесса позволит снизить общие временные затраты логистических процессов при работе предприятия на 12,2%, увеличив тем самым количество обработанных заказов.

Также в процессе моделирования для наглядного представления затрат времени на выполнение заказа использована диаграмма заказов (рис. 6), в которой показывается процентное соотношение среднего времени на каждый этап в заказе.



- Очередь заказов 7 (33%)
- Ожидание сборки 9 (43%)
- Процесс сборки 2 (10%)
- Загрузка в грузовик 3 (14%)

Рис. 6. Диаграмма временных затрат процессов в заказе

Диаграмма временных затрат для полученных оптимальных режимов показывает, что время ожидания сборки заказа велико.



Рис. 7. Дополнительный результат моделирования

Для решения проблемы можно ввести в эксплуатацию максимальное число погрузчиков, при этом изменятся и другие временные параметры. Оптимальное их соотношение можно определить методом моделирования, фиксируя их максимальное количество и меняя, например, количество погрузчиков на этапе сборки. Один из полученных квазиоптимальных результатов представлен на рис. 7.

Таким образом, предложенный подход к моделированию и анализу слабоструктурированной системы позволяет разработать ее формальную имитационную модель, с помощью которой можно оптимизировать ее функционирование в смысле заданного критерия:

1. снизить общие временные затраты логистических процессов при работе предприятия на 12,2%, увеличив тем самым количество обработанных заказов;
2. уменьшить время ожидания процесса сборки заказа до 23% от общего времени процесса.

### Литература

1. **Акопов А.С.** Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Акопов. – М.: Издательство Юрайт, 2016. 389 с.
2. **Бялошицкая П.О.** Моделирование складских операций в среде AnyLogic // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019. 678 с. ISBN 978-5-91450-172-0. С. 375-380.
3. **Каталевский Д.Ю.** Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. М.: МГУ. 2011. 312 с.
4. **Поллак Г.А., Палей А.Г.** Оптимизация процессов в слабоструктурированной системе методом имитационного моделирования // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2019. 678 с. ISBN 978-5-91450-172-0. С. 486-491.
5. **Palei A. G.** Building Models of Economic Systems Using Cognitive Methods./ Palei A. G., Pollak G. A., Kalashnikova N. V., Konova E. A. // Innovation management and education excellence through vision 2020 : Proceedings of the 31st International Business Information Management Association Conference (IBIMA). Milan: 2018. С. 4062-4070.