

**ИМИТАЦИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И ЛОГИСТИЧЕСКИЙ
РЕИНЖИНИРИНГ****В.В. Киндинова, Е.О. Кринецкий, Е.В. Кузнецова, Ю.А. Шебеко (Москва)**

Имитационное моделирование (ИМ) является наиболее эффективным и универсальным вариантом компьютерного моделирования в области исследования и управления сложными системами. Имитационная модель способна показать целостную картину развития ситуации во времени, продемонстрировать или выявить скрытые тенденции, предоставить возможность оперативно проанализировать последствия принимаемых решений. При системном подходе процесс исследования сложной системы носит итерационный характер. Исходная модель усложняется путем детализации. Однако создание полной имитационной модели сложной системы бесполезно, т.к. она будет столь же сложна в изучении, как и сама система.

В работе предлагается методология построения имитационной модели сложной системы, предполагающая разработку комплекса имитационных моделей (КИМ), включающего модели двух типов. Модель первого типа – это модель высокого уровня абстракции. Она описывает процесс в целом, исследуя воздействие на него макропараметров и получая на выходе искомые макро-характеристики. Модель позволяет грубо и оперативно оценить работу всей системы и выработать управленческие рекомендации. Модели второго типа рассматривают процесс более детально при заданных значениях макро-характеристик, полученных с помощью модели первого типа, позволяют учесть воздействие на процесс параметров более низкого уровня абстракции и получить уточненные характеристики процесса. Модели второго типа используются в роли стенда для детальной проверки рекомендаций, полученных с помощью модели высокого уровня абстракции, и выработки управленческих решений на уровне технологии производства.

Современные складские комплексы – это масштабные технологические системы, характеризующиеся свойствами, присущими, по сути, любой сложной системе [1]:

– мерой сложности (большим числом процессов, нетривиальным характером взаимодействия между ними, воздействием на комплекс разнообразных стохастических факторов);

– **структурированностью (наличием вполне определенной организационной структуры).**

Проблематика своевременного и адекватного мониторинга и управления базовыми логистическими процессами таких складских комплексов далека от окончательного решения. Анализ и реинжиниринг деятельности многономенклатурного складского комплекса (МСК) с использованием ИМ является актуальным. Предложенная выше методология построения имитационных моделей была применена для повышения эффективности управления МСК авиазапчастей.

В работе изучается бизнес-процесс движения и переработки материального потока авиационного технического имущества (АТИ) на складе материально-технического снабжения воздушных судов (ВС) отечественного и зарубежного производства. Склад сотрудничает с ведущими компаниями-изготовителями авиационной отрасли и осуществляет поставки авиационных агрегатов, комплектующих изделий и расходных материалов для ВС отечественного и иностранного производства различным авиакомпаниям и ремонтным организациям. Склад организует поставки различных авиационных изделий, отличающихся габаритами и весом (как, например, авиационные двигатели, шасси, радио- и приборное оборудование), ценой и значимостью, способом доставки, видом упаковки, требованием к необходимому складскому оборудованию. Поставки различаются объемом (в

зависимости от видов АТИ осуществляет штучные, мелкооптовые и оптовые поставки), приоритетностью и т.п. Площадь склада – 7000 кв.м. Обработка товарного потока осуществляется круглосуточно, посменно персоналом, общее число которого не превышает 450 чел., в смене не более 50 чел. Работа персонала автоматизирована, т.е. у каждого имеется в достатке все необходимое ему оборудование, как то: карманные терминалы, стационарные компьютеры, тележки, рохли, подъемные механизмы и т.п. (склад категории «В»). Склад является транзитным, т.е. выполняет роль промежуточного звена (Party Logistics оператора) между поставщиками и клиентами без накопления и длительного хранения товара. Срок хранения товара на складе не должен превышать 5 суток. Цель работы – повышение эффективности управления таким МСК с помощью средств имитационного моделирования.

Построению модели предшествовал этап изучения предметной области и накопленных исторических данных. В результате было выполнено:

- измерение геометрических параметров МСК и построение схем геометрического расположения объектов МСК и траекторий перемещения участников рассматриваемых процессов;
- измерение временных характеристик и построение функциональных диаграмм процессов обработки на разных уровнях детализации;
- изучение товаропотока и структурированных сведений о процессах обработки по базе данных.

При построении модели первого типа [4], т.е. при моделировании процесса переработки товарного потока на МСК в целом от момента поступления до момента отгрузки был применен подход System Dynamics в среде AnyLogic [2]. Такой подход наиболее адаптирован для моделирования масштабных систем, позволяет исследовать свойства, структуру системы на высоком уровне абстракции.

В модели исследуется движение товарного потока через все три этапа складской обработки: этап приемки и отбраковки (I этап), этап сортировки и размещения (II этап), этап комплектации и отгрузки (III этап).

Исследование товаропотока показало, что он является неоднородным, состоящим из подпотоков. Входной товаропоток содержит товар, различающийся по типоразмеру (габаритный и негабаритный), по приоритету (приоритетный и неприоритетный), по направлению движения (для московских и региональных клиентов). При переходе от этапа к этапу товаропоток трансформируется, изменяется количество и смысл составляющих его подпотоков. На каждом этапе, для каждого из подпотоков применяют свой алгоритм обработки. Предполагается, что процесс обработки является сбалансированным, то есть протекает без простоев и завалов в соответствии с широко распространенной в мире логистической технологии Just-in-time (JIT-«точно в срок»). В работе показано, что JIT-технология основана на применении принципа непрерывности, в соответствии с которым при полной загруженности персонала количество вошедшего на склад товара в момент времени t_1 равно количеству ушедшего со склада товара к моменту времени t_2 . Компоненты вектора состояния системы – количество деталей в каждый момент времени для каждого подпотока на каждом этапе обработки.

Имитационная модель представляет собой десять паттернов (шаблонов), каждый из которых реализует процесс переработки одного из подпотоков на одном из этапов складской обработки. Для модели разработаны интерфейсы, позволяющие задать параметры потока (интенсивность входного потока, разбиение входного потока на подпотоки), управляющие параметры процесса переработки товаропотока (нормативы производительности по каждому участку прохождения каждого вида подпотока). Модель предполагает

задание как детерминированного товаропотока, так и случайного. На модели System Dynamics были решены задачи:

получена динамическая оценка численности требуемых людских ресурсов по заданным параметрам эксперимента;

получена динамическая оценка распределения сотрудников по этапам обработки для каждого подпотока при заданном количестве людских ресурсов МСК;

рассчитано предельное значение интенсивности подпотоков входного потока (предельная пропускная способность) по имеющимся людским ресурсам.

Модель второго типа описывает процесс обработки авиазапчастей на I этапе (этапе приемки и отбраковки) [3] и разработана с использованием дискретно-событийного подхода в среде AnyLogic с использованием библиотеки Enterprise Library, расширенной разработанными объектами. Поскольку дискретно-событийная имитация требует больших трудозатрат, на сегодняшний день реализована только одна модель второго уровня. При необходимости процесс дискретно-событийной имитации других этапов обработки и технологических зон МСК можно продолжить.

В дискретно-событийной модели исследуется воздействие на процесс обработки управляющих параметров: длительность технологических операций, геометрия расположения участков обработки и траектории перемещения деталей, время ожидания груза на разгрузочном пандусе. Количество персонала в зоне приемки задается с учетом значений, вычисляемых моделью высокого уровня абстракции.

Имитационная модель операционных процессов склада представляет собой дерево классов активных объектов. Для имитации многономенклатурного товаропотока в работе использованы принципы объектно-ориентированного программирования. Описание входного товаропотока на этапе поступления и приемки грузов осуществляется на различных уровнях абстракции. Имитационная модель грузопотока представляет собой цепочку преобразующихся друг в друга объектов: Truck()→Delivery()→Catalog()→Pallet()→Cargo()→Components(), описывающих логистические понятия Грузовик→Поставка→Каталог→Паллета→Перевозочное место→Товарная единица, реализованных посредством разработанных классов активных объектов Truck, Delivery, Catalog, Pallet, Cargo, Components.

Интерфейсные модули трехмерной и двумерной анимации моделируемого процесса позволяют задать управляющие параметры и в динамике наблюдать за технологическим процессом поступления и приемки АТИ.

На дискретно-событийной модели выполнены вычислительные эксперименты:

– по получению динамической оценки загрузки и простоев персонала в зоне приемки;

– по сравнению эффективности двух технологий разгрузки паллет;

– по получению оценки предельной пропускной способности зоны приемки.

На основании результатов проведенных вычислительных экспериментов были выработаны рекомендации по реинжинирингу существующей технологии функционирования МСК.

Выводы. На основе предложенной в работе методологии построения имитационной модели сложной системы был разработан комплекс имитационных моделей для МСК авиазапчастей, позволивший повысить эффективность управления МСК.

Научная новизна. В работе предложена перспективная методология имитационного моделирования сложных систем и на ее основе разработан комплекс имитационных моделей МСК авиазапчастей.

Практическая значимость. Разработан программный комплекс имитации функционирования МСК авиазапчастей, позволивший решить ряд практических задач и повысить эффективность управления МСК.

Литература

1. **Гаджинский А.М.** Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика: учебно-практическое пособие. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – 176 с.
2. **Карпов Ю.Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
3. **Киндинова В.В.** Имитация, анализ и реинжиниринг операционных процессов складского комплекса авиазапчастей // Вестник Московского авиационного института. – 2012. – Т. 19. – № 3. – С. 212–220.
4. **Киндинова В.В., Шебеко Ю.А.** Имитационное моделирование бизнес-процессов управления товарными потоками многономенклатурного склада авиазапчастей // Вестник Московского авиационного института. – 2013. – Т.20. – № 1 (в печати).