

СОПОСТАВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ**В.В. Киндинова, Е.О. Кринецкий, Е.В. Кузнецова (Москва)**

Традиционной и наиболее развитой областью применения имитационного моделирования (ИМ) является логистика. Однако в России не наблюдается достаточной активности в этой области, в плане применения методов ИМ для решения практических задач и анализа реальных систем. В качестве одной из причин сложившейся ситуации можно назвать определенное недоверие со стороны специалистов в области математического моделирования к создаваемым имитационным моделям, что часто является обоснованным.

Ранее авторами была разработана и опубликована совокупность имитационных моделей функционирования склада авиазапчастей [1,2,3]. В данной работе осуществляется сопоставление результатов классического моделирования процесса функционирования зоны приемки склада авиазапчастей как системы массового обслуживания (СМО) и имитационного моделирования этих же процессов.

Основные характеристики моделируемого объекта:

Склад транзитный, не предназначен для длительного хранения. Основное назначение: принять оптовые партии товара от различных поставщиков, скомплектовать партии под заказ и отгрузить мелкооптовым покупателям. Функционирование склада осуществляется в 3 этапа: I этап – приемка, сортировка и отбраковка, II этап – хранение, III этап – комплектация и отгрузка. Склад имеет заданные геометрические характеристики с фиксированными зонами обработки для каждого этапа и маршрутами перемещения потоков деталей. Каждый сотрудник выполняет определенных объем работ в соответствии с принятой технологией [2]

В данной работе рассматривается только I этап функционирования, протекающий в соответствующей технологической зоне - зоне приемки. Моделирование осуществляется с целью определить количество и распределение людских ресурсов, а также с целью оценить качество функционирования процессов в зоне приемки (среднее время нахождения в системе, среднее количество деталей) для обработки потока деталей заданной интенсивности.

1. Построение и исследование аналитической модели

Построение аналитической модели осуществляется с помощью аппарата теории массового обслуживания. По регламентированным инструкциям технология в зоне приемки зависит от типоразмера деталей. По типоразмеру поток деталей можно разделить на два подпотока габаритов и негабаритов, каждый из которых обрабатывается в своей подобласти зоны приемки. Соответственно будем моделировать функционирование зоны приемки двумя независимыми СМО. Поскольку на I этапе преобладающий объем работы сотрудников приходится на непосредственно приемку-сортировку, а именно, учет единицы товара в накладной и отправление товара в соответствующую зону размещения, вспомогательными, менее значимыми операциями, такими как разгрузка, распаковывание, дополнительные перемещения и т.п., при построении аналитической модели пренебрегаем. Таким образом, каждая СМО строится как однофазная и представляет собой очередь деталей на обслуживание и каналы обслуживания. Каналом обслуживания является для первой СМО сотрудник по приемке-сортировке габаритов, для 2-ой СМО – сотрудник по приемке-сортировке

негабаритов. Все товары входного потока должны быть приняты на склад. Прием осуществляется соответственно порядку поступления. Таким образом, моделируем зону приемки двумя независимыми однофазными многоканальными СМО с неограниченной очередью без приоритетов. Далее приведено описание построения и исследование СМО габаритов.

На основании результатов наблюдений рассчитана интенсивность входного потока деталей-габаритов $\lambda = 196$ (дет/час) и интенсивность обработки одним сотрудником деталей-габаритов $\mu = 50$ (дет/ час) в подобласти габаритов зоны приемки. Выполнена идентификация вероятностных характеристик законов распределения для моделирования подобласти габаритов зоны приемки с использованием критерия согласия χ^2 Пирсона. Обосновано предположение, что входной поток габаритов является пуассоновским с интенсивностью $\lambda = 196$ (дет/час), а поток обработки габаритов является пуассоновским с интенсивностью $\mu = 50$ (дет/ час), оба с уровнем значимости 0.05. Таким образом, модель обработки габаритов в зоне приемки является СМО типа $\langle M|M|m \rangle$ (с неограниченной очередью), функционирование которой описывается уравнениями Колмогорова, и характеристики которой могут быть вычислены по соответствующим аналитическим формулам.

Вычислена интенсивность нагрузки на подобласть габаритов зоны приемки

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{196}{50} = 3.92 \quad (1),$$

где λ – интенсивность входного потока деталей, μ – интенсивность обработанного потока деталей.

Интенсивность нагрузки $\rho = 3.92$ показывает степень согласованности входного и выходного потоков заявок для канала обслуживания и определяет устойчивость системы массового обслуживания. Чтобы процесс обслуживания был стабильным, очередь не росла до бесконечности, необходимо, чтобы число каналов N было больше ρ . Таким образом, минимальное количество сотрудников подобласти габаритов зоны приемки $N_{\min} = 4$.

Чтобы определить N_{optG} – оптимальное количество сотрудников по обработке габаритов, введем относительную величину затрат F , связанную с издержками на содержание каналов обслуживания и с пребыванием деталей в очереди на обработку. Эту величину можно определить формулой

$$F = \frac{N}{\lambda} + 3 * T_{och} \rightarrow \min \quad (2),$$

где N – количество персонала, λ – интенсивность входного потока деталей, T_{och} – среднее время ожидания заявки в очереди.

При задании F как целевой функции достигается «компромисс» между показателями: прибылью, получаемой за счет предоставления услуг, и потерями прибыли, обусловленными задержками в предоставлении услуг.

В Таблице 1 представлены характеристики СМО обработки габаритов при количестве сотрудников $N=4$ и $N=5$.

Таблица 1. Характеристики функционирования СМО обработки габаритов

$N=4$	$N=5$	Кол-во операторов для обработки габаритов
$P_0 = 0.00194$	$P_0 = 0.0147$	Вероятность, что канал свободен

$N_3=3.92$	$N_3=3.92$	Среднее число занятых каналов
$N_{пр}=0.1$	$N_{пр}=1.1$	Среднее число простаивающих каналов.
$K_3=1$	$K_3=0.8$	Коэффициент занятости каналов
$P_{oh}=0.937$	$P_{oh}=0.411$	Вероятность образования очереди
$L_{oh}=46.84$ дет	$L_{oh}=1.901$ дет	Среднее число заявок, находящихся в очереди
$T_{och}=0.23$ час	$T_{och}=0.0$ час	Среднее время ожидания заявки в очереди
$L_{смо}=50.75$ дет	$L_{смо}=5.82$ дет	Среднее число заявок в системе.
$T_{смо}=0.259$ час	$T_{смо}=0.029$ час	Среднее время пребывания заявки в СМО
$F=0.71$	$F=0.02$	Значение целевой функции

При дальнейшем росте $N > 5$ значение F будет возрастать, поскольку с ростом числа N величина N/λ будет возрастать, а $3 \cdot T_{och} \rightarrow 0$. Поэтому целевая функция F достигает минимума при $N=5$, т.е. $N_{opt}G=5$.

Аналогичные исследования и расчеты выполнены для СМО негабаритов.

Построение аналитической модели осуществлялось в предположении значительных ограничений и допущений. Таким образом, предложенная модель является слишком упрощенной, отражающей только наиболее значимые элементы процесса. Можно считать предложенную модель моделью верхнего уровня абстракции. Более подробное описание процесса, отражение в модели моментов, которые при более детальном рассмотрении становятся существенными, с использованием аналитического моделирования приводит к непропорциональному росту вычислительной сложности, а с определенного момента адекватное аналитическое описание становится и вовсе невозможным.

2. Сопоставление результатов аналитического и имитационного моделирования

В работе представлена действующая версия прототипа имитационной модели операционных процессов многономенклатурного складского комплекса (МСК) авиазапчастей на этапе приемки. Прототип имитационной модели разработан авторами на основе дискретно-событийного подхода [2, 3] в среде AnyLogic с использованием возможностей встроенной библиотеки Enterprise Library, а также дополнительно разработанных объектных модулей. Построение модели функционирования зоны приемки осуществлялось с учетом не только наиболее важных и трудоемких операций. При имитационном моделировании учитывались операции, которые при аналитическом моделировании считались второстепенными: разгрузка, распаковка, перемещения от разгрузочного пандуса в соответствующую подобласть зоны приемки-сортировки и др. Разработана имитационная модель входного потока, позволяющая учесть не только входной поток деталей, но и способ доставки, вид упаковки, сопроводительную документацию и т.п. Разработанная ИМ позволяет получить с заданной доверительной вероятностью характеристики функционирования МСК, вычисленные аналитически. Соответствующие результаты представлены на рис.1, рис.2 и рис.3.

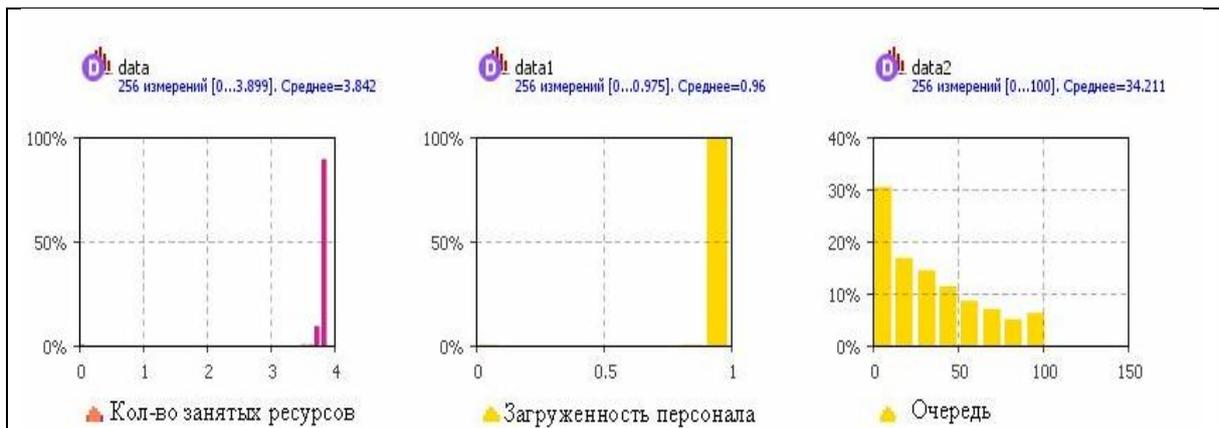


Рис.1. Характеристики функционирования зоны приемки габаритных товаров, параметры инициализации $\lambda = 196$ дет.час, $\mu = 50$ дет.час, $N = 4$.

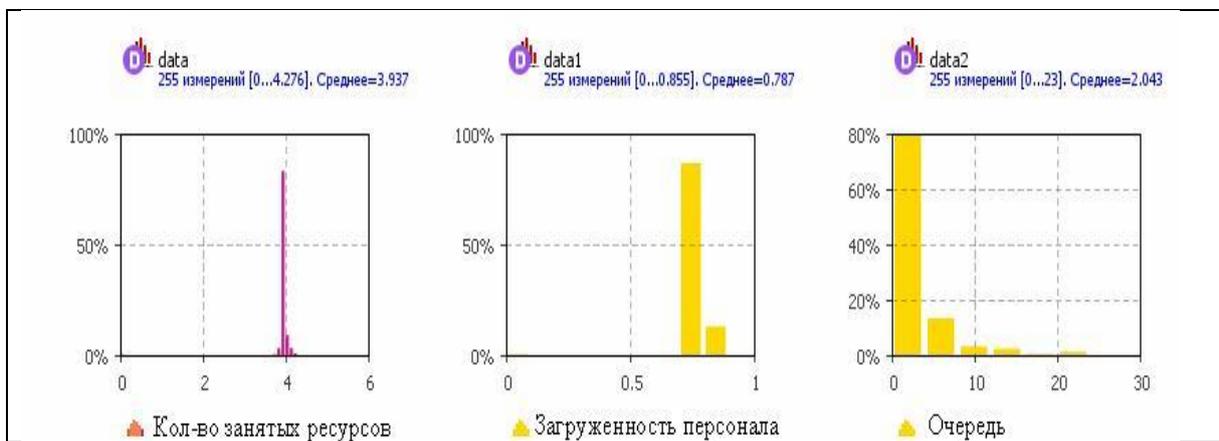


Рис.2. Характеристики функционирования зоны приемки габаритных товаров, параметры инициализации $\lambda = 196$ дет.час, $\mu = 50$ дет.час, $N = 5$.

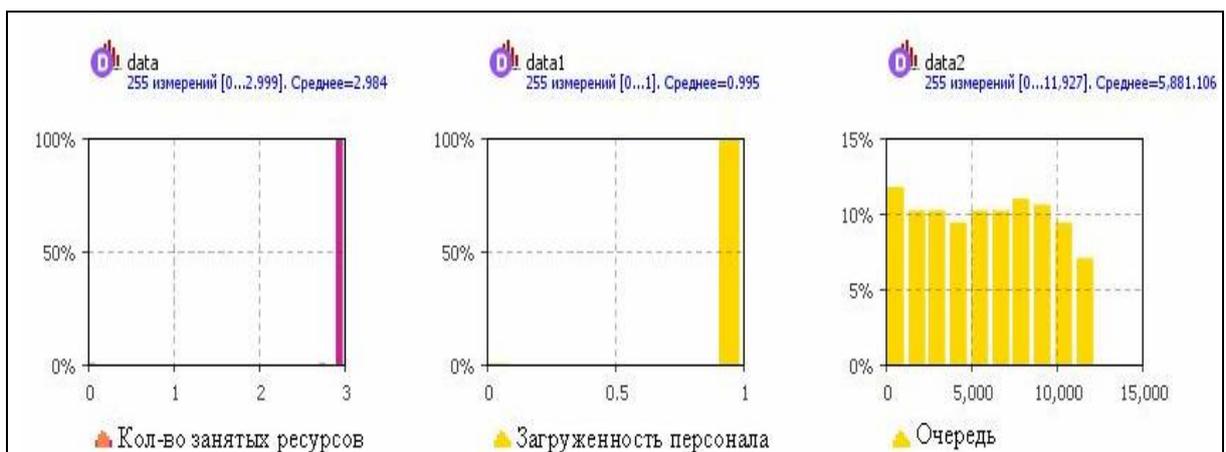


Рис.3. Характеристики функционирования зоны приемки габаритных товаров, параметры инициализации $\lambda = 196$ дет.час, $\mu = 50$ дет.час, $N = 3$.

Рисунок 3 показывает, что при назначении для обработки габаритов в зоне приемки трех сотрудников, средняя загруженность их 100% , при этом средняя длина очереди деталей на обработку с течением времени возрастает и образуется так называемый «завал», т.е. система теряет устойчивость, процесс будет нестабилен. Рисунок 1 отражает ситуацию при количестве сотрудников, равном 4. В этом случае также средняя загруженность сотрудников 100%, средняя длина очереди на обработку колеблется в допустимых пределах, процесс стабилен, хотя среднее время нахождения в очереди значительно. Рисунок 2 соответствует оптимальному варианту при $N=5$, когда при значительной загруженности сотрудников время ожидания в очереди минимально. Результаты, полученные с помощью имитационной модели, согласуются с аналогичными аналитическими. Таким образом, упрощенная аналитическая модель может быть использована для проверки адекватности имитационной модели.

Разработанная имитационная модель позволяет решать задачи, предполагающие довольно подробное отражение процесса функционирования зоны приемки. Ниже приведена одна такая задача.

Вычислительный эксперимент по определению эффективной технологии разгрузки поставок. На МСК авиазапчастей возможно применение одной из двух технологий параллельной разгрузки нескольких поставок, каждая из которых содержит по несколько паллет. В соответствии с первой технологией операторы распределяются на группы, каждая по количеству паллет в соответствующей поставке. Разбор каждой поставки осуществляется группой: один оператор — одна паллета. Разбирается параллельно столько поставок, сколько получилось групп. В соответствии со второй технологией предполагается, что каждая поставка разгружается одним оператором паллета за паллетой. Разбирается параллельно столько поставок, сколько имеется операторов в зоне приемки. В имитационной модели рассматриваются оба варианта технологий. С помощью панели управления *Интерфейса по выбору технологии разгрузки* устанавливается режим работы модели, соответствующий первой или второй технологии. Вычислительный эксперимент продемонстрировал, что при выборе второй технологии на пандусе образуются «завалы», что означает увеличение среднего времени обработки детали в зоне приемки. Таким образом, первая технология разгрузки паллет группами операторов предпочтительнее.

На основании результатов проведенных вычислительных экспериментов были выработаны рекомендации по реинжинирингу существующей технологии функционирования МСК[2].

В заключении делаются выводы о взаимном влиянии и взаимном значении аналитического и имитационного моделирования на примере рассмотренного процесса. Показано, что имитационное моделирование не противопоставляется, а естественным образом расширяет границы аналитического моделирования. Сопоставляя результаты аналитического моделирования с соответствующими результатами имитационного моделирования, примененного для того же процесса, но при более детальном рассмотрении, упрощенной аналитической моделью можно поверять имитационную модель[4]. Другими словами, при недостаточном количестве эмпирических данных для всестороннего тестирования имитационной модели можно повысить убедительность построенной имитационной модели логикой математического моделирования.

Литература

1. Киндинова В.В., Шебеко Ю.А. Имитационное моделирование бизнес-процессов управления товарными потоками многономенклатурного склада авиазапчастей.// Вестник Московского Авиационного Института 2013, т.20, №1, с.170-178
2. Киндинова В.В. Имитация, анализ и реинжиниринг операционных процессов складского комплекса авиазапчастей.// Вестник Московского Авиационного Института 2012, т. 19, № 3, с. 212-220
3. Кузнецова Е.В., Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Шебеко Ю.А., Имитация сложных систем и логистический реинжиниринг. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД -2013), Казань, 2013, т.1, с. 170-173
4. Киндинова В.В., Кузнецова Е.В. О методе построения имитационной модели на примере задачи исследования конкуренции двух фирм. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД -2011), Санкт-Петербург, 2011 , с. 162-167