

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и
автоматического управления

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПОСТАВКАМ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 481 группы
направления 27.03.03 — Системный анализ и управление
факультета КНиИТ
Шипова Глеба Евгеньевича

Научный руководитель
доцент, к. т. н.

Д. Ю. Петров

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2022

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Для исследования и оптимизации систем используется моделирование, методы которого можно разделить на две большие группы – аналитическое и имитационное [1]. При аналитическом подходе описание системы может быть выполнено, например, посредством дифференциальных или разностных уравнений, графовых методов и т.д., которые не всегда позволяют найти аналитическое решение существующими методами.

Имитационное моделирование позволяет описывать модели систем через процессы или события, которые в них происходят. При таком подходе модель системы реализуется в виде компьютерной программы. При имитационном моделировании намного легче описывать сложные системы и находить для них численные характеристики.

За последнее время имитационное моделирование стало одним из основных и наиболее распространённых инструментов исследования сложных систем. Роль имитационного моделирования в промышленном и информационном мире велика. Благодаря возможности построения имитационной модели реальной системы исследователи могут проводить большое количество экспериментов, анализировать поведение системы, собирать статистические данные и делать соответствующие выводы. Эксперименты над имитационной моделью, в отличие от экспериментов над реальной системой, позволяют сэкономить временные и денежные ресурсы [2]. Таким образом, имитационное моделирование является важным инструментом исследования и анализа поведения реальных систем, который в последнее время активно развивается.

Цель бакалаврской работы — провести системный анализ и разработать имитационную модель предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники, с применением дискретно-событийного подхода, для проведения экспериментов, которые позволят повысить эффективность функционирования моделируемой системы.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. провести системный анализ функционирования предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники и разработать для него модели бизнес-процессов;
2. реализовать имитационную модель предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники;

3. провести оценку адекватности разработанной модели;
4. провести эксперименты с имитационной моделью с целью повышения эффективности функционирования моделируемой системы.

Методологические основы имитационного моделирования и, в частности, дискретно-событийного имитационного моделирования представлены в работах В. В. Репина, Д. В. Александрова, С. В. Черемыха, В. А. Мухачева, А. В. Варзунова.

Практическая значимость бакалаврской работы. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана имитационная модель предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники, с которой были проведены эксперименты с целью повышения эффективности функционирования системы.

Структура и объем работы. Бакалаврская работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и 2 приложений. Общий объем работы — 80 страниц, из них 58 страниц — основное содержание, включая 33 рисунка и 6 таблиц, список использованных источников информации — 24 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Анализ объекта управления» посвящен описанию основных понятий системного анализа и имитационного моделирования, рассмотрению методов и средств имитационного моделирования.

В подразделе 1.1 приведены описание основных методов анализа, понятия бизнес-процессов и имитационного моделирования, а также рассматриваются подходы, наиболее часто применяющиеся в имитационном моделировании.

Подраздел 1.2 посвящен методам и средствам имитационного моделирования и повышения эффективности функционирования моделируемой системы.

В подразделе 1.3 проводится постановка задач исследования, определяются цель и область моделирования.

Второй раздел «Моделирование функционирования системы» посвящен описанию высокоуровневых процессов функционирования предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники и построению его имита-

ционной модели с использованием дискретно-событийного подхода к моделированию [3]. Также приводятся описание основных структурных единиц разрабатываемой модели и пример работы программы имитационной модели.

В подразделе 2.1 описывается структура предприятия по поставке сельскохозяйственной техники, в IDEF0 методологии [4], представленная на рисунке 1.

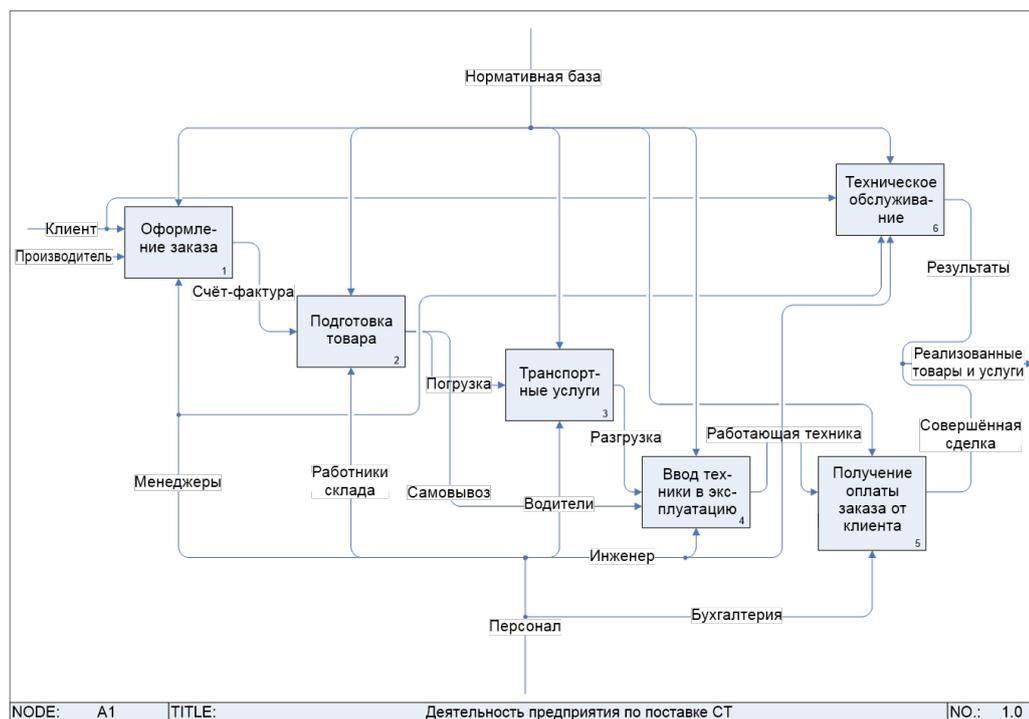


Рисунок 1 – Модули системы имитационного моделирования

Подраздел 2.2 посвящен созданию имитационной модели в системе имитационного моделирования AnyLogic, рассмотрению основных структурных единиц и стартовых параметров модели.

В подразделе также рассматриваются стартовые параметры некоторых, типичных для данной модели, структурных единиц.

Для рассмотрения взят процесс оформления заказа, представленный на рисунке 2.

Для объекта source указано, как и с какой частотой он должен генерировать заявки (рис. 3)

В данном случае, заявки поступают с интенсивностью 3 заявки в неделю.

Объект проверка заявки (Service) в данной модели имеет установлен-

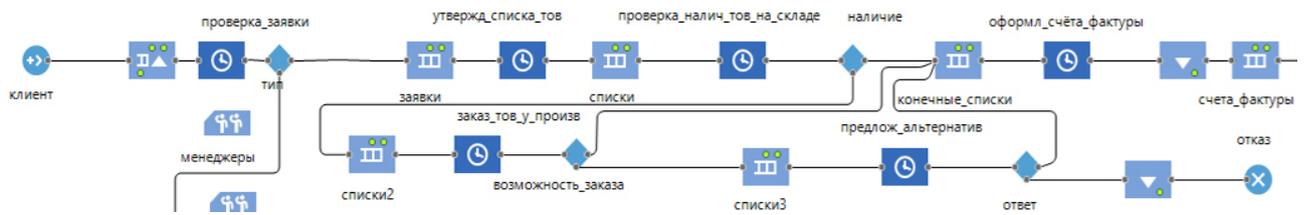


Рисунок 2 – Процесс оформления заказа

+ **клиент - Source**

Имя: Отображать имя

Исключить

Прибывают согласно: ▾

Интенсивность прибытия: ▾

Считать параметры агентов из БД:

За 1 раз создается несколько агентов:

Ограниченное кол-во прибытий:

Местоположение прибытия: ▾

Рисунок 3 – Свойства объекта Source

ные значения для параметров, характеризующих длительность выполнения операции и захватываемые для этой операции ресурсы (в данном случае ресурсами являются менеджеры) (рис. 4)

+ **проверка_заявки - Service**

Имя: Отображать имя

Исключить

Захватить: (альтернативный) набор ресурсов
 ресурсы одного типа

Набор(ы) ресурсов:

Вместимость очереди:

Максимальная вместимость:

Время задержки: ▾

Рисунок 4 – Свойства объекта Service

Длительность выполнения операции проверки заявки определяется выбранными единицами времени и треугольной функцией (triangular) с тремя

числовыми аргументами: минимальным средним значением 5, средним – 10 и максимальным – 15 минут. Подобным образом заданы свойства остальных объектов Service.

Объект менеджеры (ResourcePool) задаёт количество менеджеров. Объекты данного типа должны иметь связь с объектами, моделирующими занятие и освобождение ресурсов (Service). В данном случае установлено количество ресурсов – 5 единиц (рис. 5)

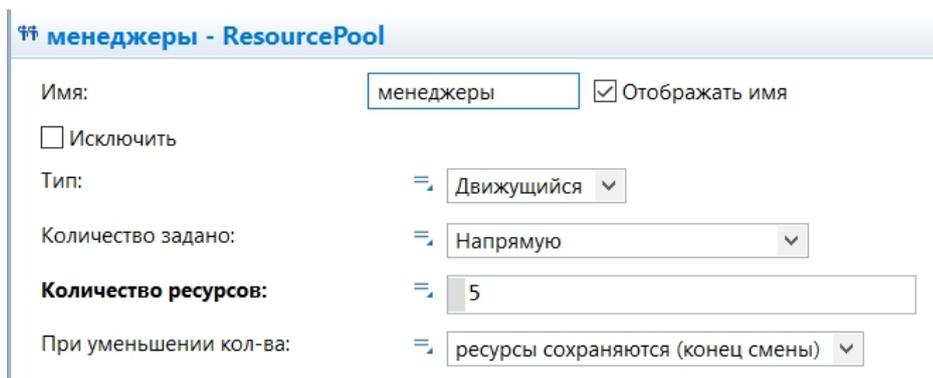


Рисунок 5 – Свойства объекта ResourcePool

Объект тип (SelectOutput) является блоком принятия решения. В зависимости от заданного условия, заявка, поступившая в этот объект, будет поступать на один из двух выходов объекта (рис. 6)

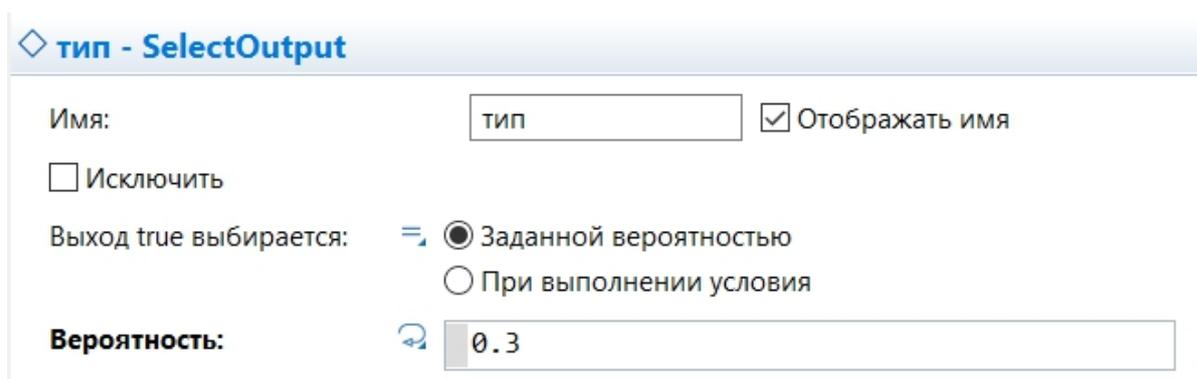


Рисунок 6 – Свойства объекта SelectOutput

С вероятностью 0.3 поступившая заявка – заявка на покупку техники, с вероятностью 0.7 – запрос на техническое обслуживание.

Объект заявки (Queue) моделирует очередь заявок, ожидающих приема объектами, следующими за данным объектом в диаграмме процесса (рис. 7).

Третий раздел «Проверка имитационной модели на адекватность» посвящен оценке адекватности результатов моделирования и оцен-

заявки - Queue

Имя: заявки Отображать имя

Исключить

Вместимость: 100

Максимальная вместимость:

Место агентов:

Рисунок 7 – Свойства объекта Queue

ке качества разработанной модели, сравнению значений результатов работы программы имитационного моделирования в программном комплексе AnyLogic и результатов работы реального объекта, анализу критериев адекватности [5].

В подразделе 3.1 описывается алгоритм проверки имитационной модели на адекватность.

Алгоритм описывается в 6 шагов:

1. Проверяется нормальность распределения выборок критерием Шапиро-Уилка. Если гипотеза о нормальности выборок подтверждается, выполнение алгоритма продолжается с шага 2, иначе – с шага 5.
2. Проверяется равенство дисперсий критерием Фишера. Если гипотеза о том, что дисперсии равны принимается, то выполнение алгоритма продолжается с шага 3, иначе – с шага 4.
3. Проверяется однородность выборок критерием Стьюдента при неизвестных, но равных дисперсиях. Гипотеза об однородности выборок либо подтверждается, либо отклоняется, а выполнение алгоритма продолжается с шага 6.
4. Проверяется однородность выборок критерием Сатервайта при неизвестных и неравных дисперсиях. Гипотеза об однородности выборок либо подтверждается, либо отклоняется, а выполнение алгоритма продолжается с шага 6.
5. Проверяется однородность выборок критерием Манна-Уитни. Гипотеза об однородности выборок либо подтверждается, либо отклоняется, а выполнение алгоритма продолжается с шага 6.
6. Если по одному из критериев проверки на однородность, была принята гипотеза об однородности выборок, то адекватность модели подтвер-

ждается, иначе – модель не считается адекватной и требует доработки.

В подразделе 3.2 описывается программа для проверки имитационной модели на адекватность. Описание программы включает в себя описание используемых в программе функций и идентификаторов.

В подраздел 3.3 приводятся результаты проверки имитационной модели на адекватность.

В подразделе также сравниваются результаты, полученные при ручном расчёте, с использованием соответствующих таблиц статистических критериев, с результатами выполнения разработанной программы оценки адекватности имитационной модели. Эти результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результат ручной проверки выборок на однородность

Выборка	W	p	F	$F_{кр}$	t	$t_{кр}$
X	0,948	0,618	1.387	3.18	0.075	1.734
Y	0,959	0,747				

Таблица 2 – Результат работы программы оценки адекватности имитационной модели

Выборка	W	p	F	$F_{кр}$	t	$t_{кр}$
X	0.948	0.691	1.387	3.187	0.075	1.735
Y	0.959	0.828				

Результаты работы разработанной программы соответствуют результатам ручного расчёта соответствующих статистических критериев.

Сравнение производится с целью подтвердить пригодность разработанной программы, что позволит пользоваться программой оценки адекватности имитационной модели для остальных параметров модели и не проводить множество расчётов вручную.

Четвертый раздел «Функционально-стоимостной анализ и оптимизация бизнес-процессов» посвящен проведению экспериментов с имитационной моделью при различных начальных состояниях и нахождению оптимальных значений входных параметров системы для повышения эффективности функционирования моделируемой системы [6].

Подраздел 4.1 описывает построение диаграмм бизнес-процессов в BPMN-методологии.

Диаграммы бизнес-процессов в методологии BPMN строятся для проведения функционально-стоимостного анализа, необходимого для успешного поиска целей оптимизации процессов функционирования моделируемой системы [7].

В подразделе 4.2 приводятся результаты функционально-стоимостного анализа и их пояснение.

Полученные результаты функционально-стоимостного анализа являются основанием для проведения экспериментов над имитационной моделью с целью повышения эффективности функционирования моделируемой системы.

В подразделе 4.3 проводится эксперимент оптимизации для сокращения времени ожидания.

Целью эксперимента является нахождение оптимального, со статистической точки зрения, значения выбираемого целевого параметра путём проведения большого количества прогонов модели. На основании полученных при этом данных, специальный алгоритм определяет оптимальное для этой модели решение.

Для проведения эксперимента необходимо указать целевую функцию, которую требуется минимизировать или максимизировать. В данном случае это будет минимизация количества ресурсов, необходимых для выполнения процесса "плановые технические работы". Суть эксперимента заключается в том, что необходимо найти то минимально допустимое количество работников, при котором средняя длительность ожидания, при моделировании, будет равна нулю.

Из результатов оптимизационного эксперимента, представленного на рисунке 8, видно, что с увеличением количества итераций, значение оптимизируемого параметра стремится к 4. Следовательно, для заданных нами начальных условий наименьшее возможное количество инженеров будет равным 4.

	Текущее	Лучшее
Итерация:	10 недопуст.	7
Репликации:	2	2
Функционал↓	5	4
Параметры	Copy best	
бухг	2	2
грузч	2	2
водит	2	2
менедж	1	1
инженер	5	4
комплект	1	1
интенсивность	3	3

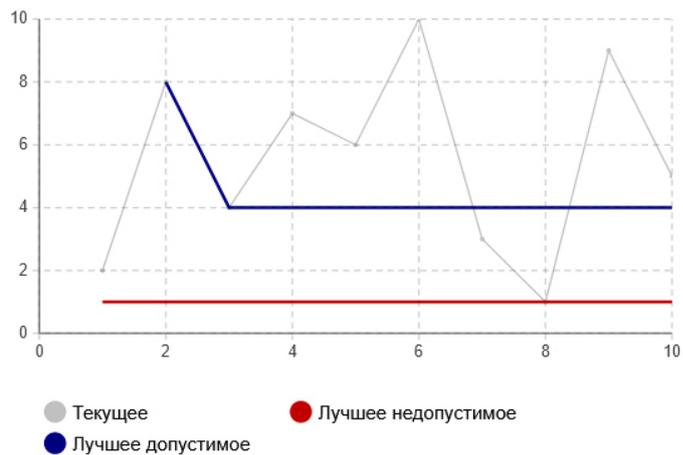


Рисунок 8 – Результаты эксперимента

В подразделе 4.4 проводится эксперимент оптимизации для уменьшения доли отказов при оформлении заказов.

Из результатов оптимизационного эксперимента, представленного на рисунке 9, видно, что для сокращения числа отказов требуется принять меры для того, чтобы востребованный товар был в наличии с вероятностью 30 процентов. При этом вероятность возможности заказа должна составлять 50 процентов.

	Текущее	Лучшее
Итерация:	36 недопуст.	30
Репликации:	100	2
Функционал↓	4.4	0
Параметры	Copy best	
бухг	2	2
грузч	2	2
водит	2	2
менедж	1	1
инженер	4	4
комплект	1	1
интенсивность	3	3
п_наличие	0.3	0.3
п_возм_заказа	0.5	0.5

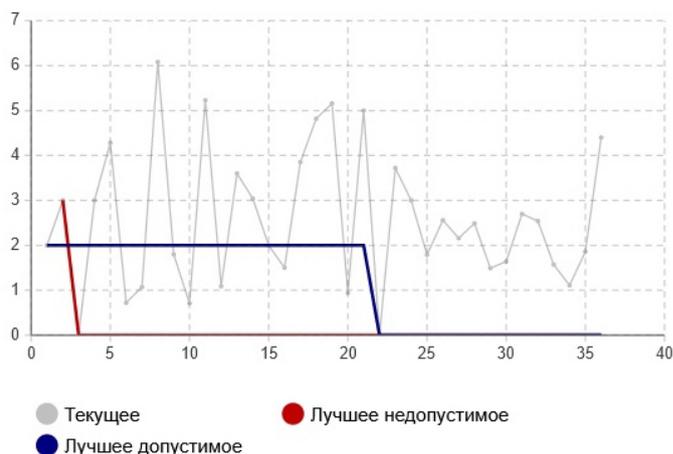


Рисунок 9 – Результаты эксперимента

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель данной работы состояла в проведении системного анализа и разработке имитационной модели предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники, с применением дискретно-событийного подхода, для проведения экспериментов, которые позволили повысить эффективность функционирования моделируемой системы.

В ходе данной работы был проведен системный анализ функционирования предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники. Для предприятия были разработаны модели бизнес-процессов с использованием дискретно-событийного подхода к моделированию, построены комплексная иерархическая модель деятельности компании при помощи нотации IDEF0 и модель процессов при помощи нотации BPMN 2.0.

Реализована имитационная модель предприятия по поставкам сельскохозяйственной техники в программном комплексе AnyLogic, разработан графический интерфейс предназначенный для работы с имитационной моделью и приведен пример работы с последующим подсчетом и выводом основных характеристик системы таких как распределение и среднее значение для времени пациентов в очереди, и для загруженности приборов.

Для оценки адекватности модели был разработан алгоритм, по которому впоследствии была написана программа, результаты работы которой подтвердили, что модель пригодна к использованию, и что она позволяет определить проблемы в функционировании предприятия и возможные пути решения этих проблем. Метод функционально-стоимостного анализа помог определить существующие проблемы, а проведенные, в последствии, эксперименты с моделью, адекватность которой была подтверждена, – решить эти проблемы.

Основные источники информации:

- 1 Репин В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Ефремов — М.: Стандарты и качество, 2004. — 408 с.
- 2 Репин, В. В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В. В. Репин — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. — 470 с.

- 3 Александров, Д. В., Моделирование и анализ бизнес-процессов / Д. В. Александров, — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2017. — 227 с.
- 4 Черемых С. В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С. В. Черемых — М.: Финансы и статистика, 2006. — 192 с.
- 5 Мухачев, В. А. Планирование и обработка результатов эксперимента : учеб. пособие / В. А. Мухачев — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. — 118 с.
- 6 Варзунов, А. В. Анализ и управление бизнес-процессами: учебное пособие / А. В. Варзунов, Е. К. Торосян, Л. П. Сажнева — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. — 112 с.
- 7 Черемых С. В. Структурный анализ систем: IDEF-технологии / С. В. Черемых, И. О. Семёнов — М.: Финансы и статистика, 2003. — 208 с.