

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Кибернетики  
Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика  
Кафедра Программной инженерии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Мониторинг бизнес-процессов предприятия на основе методов имитационного моделирования</b>

УДК 005.511-047.36:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8KM51	Садковская Светлана Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры программной инженерии	Марухина Ольга Владимировна	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Баннова Кристина Алексеевна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Пустовойтова Марина Игоревна	Кандидат химических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Программной инженерии	Иванов Максим Анатольевич	Кандидат технических наук		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики  
 Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика  
 Кафедра Программной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ОСУ  
 \_\_\_\_\_ М.А.Иванов \_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
8KM51	С. Ю. Садковская

Тема работы:

Мониторинг бизнес-процессов предприятия на основе методов имитационного моделирования.
Утверждена приказом директора (дата, номер)
1484/с от 01.03.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Значения основных параметров производственного процесса малого предприятия.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор предметной области.</li> <li>2. Изучение структуры предприятия; состояния и функционирования процессов исследуемого предприятия.</li> <li>3. Обзор и сравнение существующих инструментов имитационного моделирования.</li> <li>4. Разработка имитационной модели бизнес-процесса.</li> <li>5. Описание полученных результатов.</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>7. Социальная ответственность.</li> </ol>

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Социальная ответственность</b>	М.И. Пустовойтова
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	К.А. Баннова
<b>Приложение А. A review of the application of simulation modeling methods in the field of manufacturing processes</b>	Т.В. Сидоренко Е.С. Чердынцев
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Использование методов имитационного моделирования для мониторинга производственных процессов.	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры программной инженерии	Марухина Ольга Владимировна	Кандидат технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8KM51	Садковская Светлана Юрьевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 130 с., 25 рис., 23 табл., 35 источников, 4 прил.

Ключевые слова: имитационное моделирование, бизнес-процесс, производственный процесс, моделирование производственного процесса, мониторинг бизнес-процесса.

Объектом исследования является производственный процесс малого предприятия.

Цель работы – выявление возможности мониторинга производственных процессов малого предприятия с использованием методов имитационного моделирования. А также построение имитационной модели и мониторинг на ее основе производственных процессов на примере одного из малых предприятий.

В результате исследования разработана имитационная модель для конкретного предприятия, на основе которой можно произвести мониторинг производственного процесса этого предприятия. Проведена серия экспериментов с целью определения значения ключевых параметров производственного процесса.

Степень внедрения: акт о внедрении на одном из предприятий.

В будущем планируется:

- Актуализировать модель в пользовательском формате.

## **Определения, обозначения, сокращения**

ИМ – имитационное моделирование

СМО – система массового обслуживания

ПО – программное обеспечение

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

## Оглавление

Определения, обозначения, сокращения .....	5
Введение .....	6
Глава 1. Основные понятия теории моделирования .....	8
1.1 Модель, моделирование и его применение .....	8
1.2 Основы имитационного моделирования .....	10
1.2.1 Имитационная модель и имитационное моделирование .....	10
1.3 Развитие имитационного моделирования. Программные средства для имитационного моделирования .....	16
1.4 Сравнительный анализ сред имитационного моделирования, выбор среды моделирования .....	20
1.5 Дискретно-событийное моделирование и системы массового обслуживания .....	23
Глава 2. Анализ предметной области .....	26
2.1 Важность развития и эффективной работы малых предприятий.....	26
2.2 Методы мониторинга бизнес процессов предприятия.....	29
2.3 Использование методов имитационного моделирования для мониторинга производственных процессов .....	35
Глава 3. Моделирование процесса.....	39
3.1 Сбор и анализ исходной информации об объекте моделирования.....	39
3.1.1 Описание предприятия .....	39
3.2 Моделирование производственного процесса .....	44
3.2.1 Моделирование существующего процесса по методологии IDEF0.....	44
3.2.2 Моделирование в среде AnyLogic .....	49
3.3 Анализ модели .....	58
3.3.1 Варьирование параметров модели и сбор статистики.....	58
3.3.2 Анализ результатов моделирования.....	62
3.3.3 Подведение итогов моделирования согласно поставленной цели и задачи моделирования.....	63
3.4 Описание разработанной технологии мониторинга производственных процессов малого предприятия.....	63
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
4. 1. Предпроектный анализ.....	67
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	29

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	67
4.1.3 SWOT-анализ.....	69
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	71
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	34
4.2.1 Контрольные события проекта .....	73
4.2.2 План проекта.....	35
4.2.3 Определение трудоемкости выполнения ВКР .....	75
4.2.4 Разработка календарного плана работ .....	76
4.3 Бюджет научного исследования.....	78
4.4 Определение эффективности исследования.....	84
Глава 5. Социальная ответственность .....	87
5.1 Производственная безопасность .....	87
5.2 Экологическая безопасность .....	94
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность.....	95
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	98
5.4.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	98
5.4.2 Особенности законодательного регулирования проектных решений .....	101
Список использованной литературы .....	104
Заключение.....	106
Список публикаций .....	107
Список использованных источников.....	108
Приложение А. A review of the application of simulation modeling methods in the field of manufacturing processes.....	112
Приложение Б .....	122
Приложение В. Специальные термины и определения .....	127
Приложение Г. SWOT-анализ.....	130

## Введение

Функционирование любого предприятия можно представить, как набор бизнес-процессов, протекающих внутри организации, от эффективности построения которых зависит дальнейшее развитие предприятия. Малые предприятия занимают особый (свой) сектор экономики, и эффективная работа этих предприятий не менее важна для экономики страны, чем работа крупных предприятий, поэтому актуальной становится задача мониторинга бизнес-процессов малого предприятия и выработка рекомендаций и советов по улучшению этих процессов, с использованием различных методов.

Таким образом, исследование магистерской диссертации направлено на выявление возможности мониторинга производственных процессов малого предприятия с использованием методов имитационного моделирования. А также построение имитационной модели и мониторинг на ее основе производственных процессов на примере одного из малых предприятий г.Томска.

Задачами, связанными с достижением цели являются:

1. Изучить предметную область, структуры предприятия; изучить особенности построения, состояния и функционирования процессов исследуемого предприятия.
2. Создать IDEF0 функциональную диаграмму бизнес-процесса предприятия.
3. Выбрать программный продукт для имитационного моделирования процессов, на основе сравнения ключевых характеристик.
4. Разработать имитационную модель бизнес-процесса в выбранной среде моделирования, провести тестирование и оценку точности модели.
5. Провести необходимый ряд экспериментов и анализ полученных результатов.



Объектом исследования является производственный процесс малого предприятия.

Предметом исследования являются методы имитационного моделирования.

В качестве научной новизны исследования предложена технология мониторинга производственных процессов малого предприятия на основе имитационного моделирования, которая успешно апробирована на базе малого предприятия.

Практическая значимость исследования:

- Предложенная технология является универсальной для любого производственного процесса любого малого предприятия;
- Пользователем разработанной имитационной модели может быть человек, не имеющий специального образования в области статистики.

## **Глава 1. Основные понятия теории моделирования**

### **1.2 Основы имитационного моделирования**

#### **1.2.1 Имитационная модель и имитационное моделирование**

Модель считается имитационной, если она предназначена для испытания или изучения возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров модели.

Имитационное моделирование - это метод исследования, заключающийся в имитации на ЭВМ (с помощью комплекса программ) процесса функционирования системы или отдельных ее частей и элементов. Сущность метода имитационного моделирования заключается в разработке таких алгоритмов и программ, которые имитируют поведение системы, ее свойства и характеристики в необходимом для исследования системы составе, объеме и области изменения ее параметров. При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы. Имитационное моделирование позволяет осуществлять многократные испытания модели с нужными входными данными, чтобы определить их влияние на выходные критерии оценки работы системы [2].

Применение имитационных моделей дает ряд преимуществ по сравнению с выполнением экспериментов над реальной системой и использованием других методов:

- **Время.** В реальности оценить эффективность, процесса с временной точки зрения, можно лишь через месяцы или даже годы. Имитационная модель

позволяет определить оптимальность таких изменений за считанные минуты, необходимые для проведения эксперимента.

- **Стоимость.** Экспериментирование с реальной системой, прерывание ежедневных операций для тестирования новых идей, вероятно, будет дорогостоящим. При моделировании, изменения могут быть сделаны за счет времени, которое требуется, чтобы изменить модель и без каких-либо перерывов в работе реальной системы.
- **Повторяемость.** С помощью имитационной модели можно провести неограниченное количество экспериментов с разными параметрами, чтобы определить наилучший вариант.
- **Точность.** Традиционные расчетные математические методы требуют применения высокой степени абстракции и не учитывают важные детали. Имитационное моделирование позволяет описать структуру системы и её процессы в естественном виде, не прибегая к использованию формул и строгих математических зависимостей.
- **Наглядность.** Имитационная модель обладает возможностями визуализации процесса работы системы во времени, схематичного задания её структуры и выдачи результатов в графическом виде. Это позволяет наглядно представить полученное решение и донести заложенные в него идеи до любого пользователя.
- **Универсальность.** Имитационное моделирование позволяет решать задачи из любых областей: производства, логистики, финансов, здравоохранения и многих других. В каждом случае модель имитирует, воспроизводит, реальную жизнь и позволяет проводить широкий набор экспериментов без влияния на реальные объекты [3].

Таким образом, имитационное моделирование позволяет: определять параметры процессов и систем при невозможности их расчета аналитическими методами; количественно оценить изменение параметров при изменении условий; проверить теоретические предположения или гипотезу об изменениях в процессе.

Аналитические модели представляют собой уравнения или системы уравнений, записанные в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных, конечно-разностных и иных соотношений и логических условий. Они записаны и решены в буквенном виде. Отсюда и происходит их название. Аналитическая модель, как правило, статическая. Аналитическое представление подходит лишь для очень простых и сильно идеализированных задач и объектов, которые, как правило, имеют мало общего с реальной (сложной) действительностью, но обладают высокой общностью. Данный тип моделей обычно применяют для описания фундаментальных свойств объектов, так как фундамент прост по своей сути. Сложные объекты редко удаётся описать аналитически.

Имитационная модель в отличие от аналитической представляет собой не законченную систему уравнений, а развернутую схему с детально описанной структурой и поведением изучаемого объекта. Для имитационного моделирования характерно воспроизведение явлений, описываемых моделью, с сохранением их логической структуры, последовательности чередования во времени, взаимосвязей между параметрами и переменными исследуемой системы [4].

Область применения методов имитационного моделирования столь обширна, что заслуживает отдельного изложения, так же как и вопросы применимости различных подходов и средств в разных задачах и бизнес-

решениях. На рис. 1. демонстрируются основные области применения имитационного моделирования.



Рисунок 1 - Области применения имитационного моделирования

Распределение областей применения имитационного моделирования соответствует трем уровням абстракции. Низкий уровень абстракции предполагает, что объекты реального мира моделируются максимально подробно. На этом уровне учитываются физическое взаимодействие, размеры, скорости, расстояния. Модели с высоким уровнем чаще всего оперируют обобщенными понятиями, такими как совокупность потребителей или статистика уровня занятости, а не отдельными объектами. Другие модели имеют средний уровень абстракции.

В современном имитационном моделировании используются три подхода (методологии): дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование и системная динамика. Метод предполагает определенный язык, "положения и условия" для разработки модели.

Каждый метод применяется в некотором диапазоне уровней абстракции. Системная динамика предполагает очень высокий уровень абстракции и, как

правило, используется для стратегического моделирования. Дискретно-событийное моделирование поддерживает средний и низкий уровни абстракции. Между ними находятся агентные модели, которые могут быть как очень детализированными, когда агенты представляют физические объекты, так и предельно абстрактными, когда с помощью агентов моделируются конкурирующие компании или правительства государств. Рисунок 2 иллюстрирует соотношение методов имитационного моделирования уровням абстракции [5].

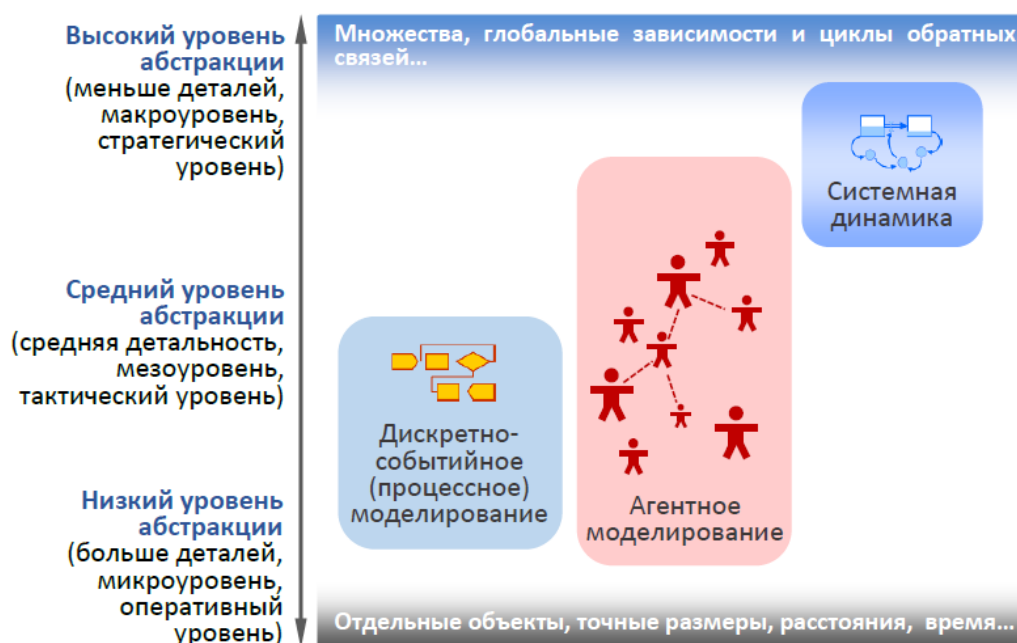


Рисунок 2 - Соотношение методов имитационного моделирования уровням абстракции.

Обмен международным опытом в области имитационного моделирования осуществляется в основном на Зимней конференции по имитационному моделированию - Winter Simulation Conference (сюда, съезжаются компании-разработчики систем моделирования, в основном дискретных), и конференции по Системной динамике, организуемых Международным обществом системной динамики ([systemdynamics.org](http://systemdynamics.org), [sdrus.org.ru](http://sdrus.org.ru)), распространяющим системную динамику во всех серьезных

бизнес-школах всего мира. Встречи Российских симуляционистов сегодня организуются по такому же сценарию. Проводится Всероссийская научно-практическая конференция по вопросам применения имитационного моделирования в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» - ИММОД. Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2015 состоялась 21-23 октября 2015 года в Москве, в ФГБУН Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН).

#### **1.4 Сравнительный анализ сред имитационного моделирования, выбор среды моделирования**

Выбор среды моделирования должен исходить из целей и задач моделируемого объекта.

В рамках ВКР был проведен сравнительный анализ инструментов ИМ для проектирования технологических процессов, например, производства или услуг промышленности.

По данным обзора [11], в рамках ежегодной конференции Winter Simulation Conference, сегодня на рынке информационных технологий фигурирует порядка 200 программных продуктов аналитического типа, ориентированных на имитационное моделирование, в том числе некоммерческого типа.

Был использован метод оценки, который основан на интенсивности или степени упоминания среды моделирования в следующих источниках: научные публикации ежегодной зимней конференции; сайты с базами данных документов; присутствие в других обзорах, исследованиях, сравнениях; социальные сети; Интернет.

По итогам сравнений, лидирующее место занимает среда моделирования Arena, за ней следует группа систем: ProModel, FlexSim, Simul8, WITNESS, далее системы: ExtendSim, Simio, Plant Simulation, AnyLogic, затем менее популярные в данном обзоре: SIMPROCESS, AutoMod, Micro Saint, QUEST (Delmia), Enterprise Dynamics, ProcessModel, SimCAD Pro, GPSS World, SLX+Proof 3D, ShowFlow [11].



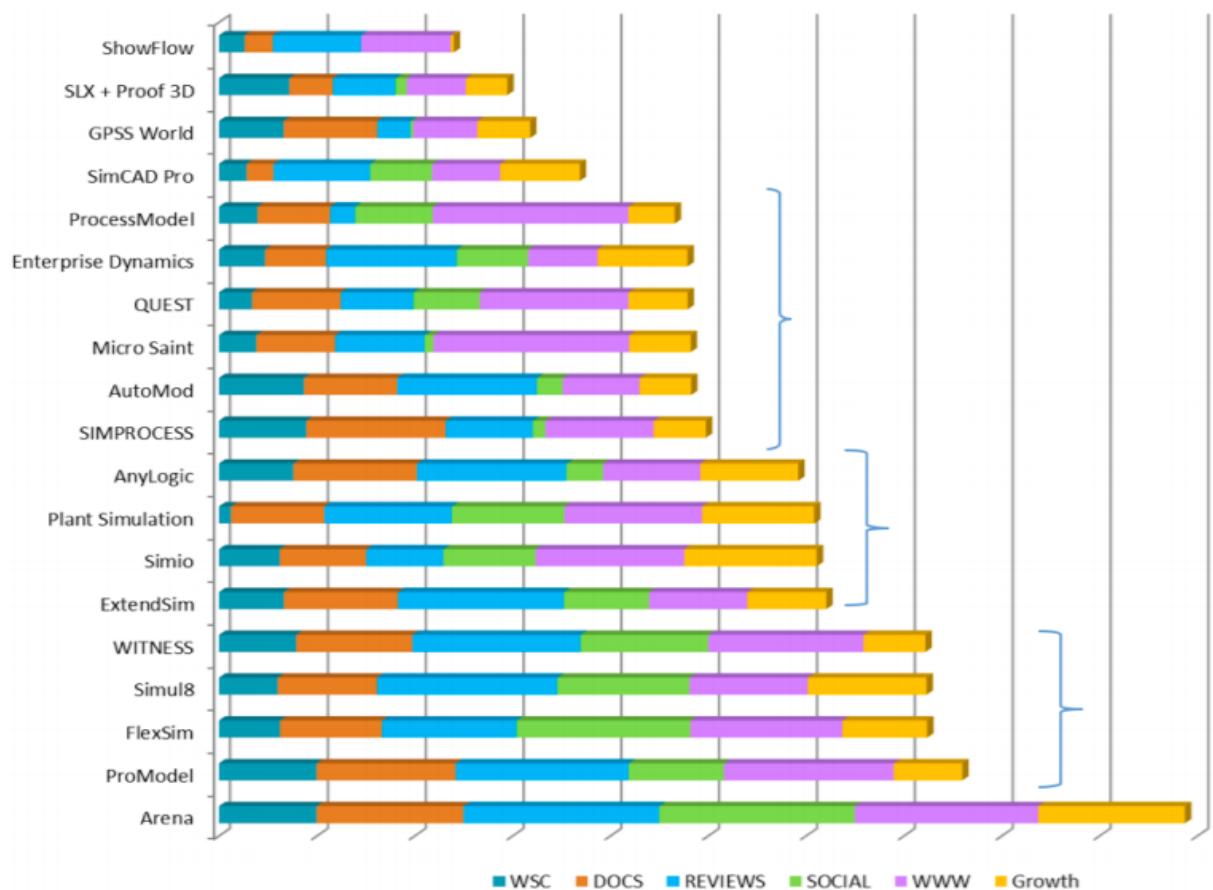


Рисунок 3 – Популярность систем имитационного моделирования по итогам исследования [11]

Тем не менее, данный способ сравнения не является единственным, «слепым» методом сравнения, а скорее дополнением к стандартному сравнению характеристик и экспериментов. Например, для академических целей важнейшим критерием является наличие бесплатной студенческой версии, предпочтительными средами выполняющими его остаются: Arena, AnyLogic, Enterprise Dynamics, Plant Simulation, AutoMod.

Обзоры же [12,13] показали также наличие таких сред, имеющих студенческую версию, как: GoldSim, JaamSim, SLX. Из всех бесплатных версий ограничены по времени использования только Enterprise Dynamics и GoldSim. Интересно, что GoldSim используется для самых больших проектов, например,

космических полетов NASA, а среда JaamSim является инструментом с открытым кодом.

Другими важными критериями при выборе среды моделирования являлись: область применения; ограничения студенческой версии; наличие учебной литературы, руководства пользователя, тренингов на сайте, тех.поддержки; построение графической модели и анимации; генерация отчетов и возможность оптимизации; наличие возможности расчета стоимости и затрат, независимость от операционной системы. Область применения у всех содержит такие стандартные сферы как: производство, логистика, здравоохранение. GoldSim выделяется возможностью моделирования управления водными ресурсами, отходами, экологического инжиниринга, добычи полезных ископаемых, ядерной энергетики. А Plant Simulation моделированием автомобилестроения, аэрокосмической деятельности.

Полное сравнение программных продуктов представлено в Приложении Б.

Всем необходимым критериям соответствуют системы моделирования AnyLogic, Arena, Plant Simulation. Среда AnyLogic и Plant Simulation также поддерживают русский интерфейс. Также среда AnyLogic выделяется возможностью многоподходного моделирования и комбинирования концепций ИМ, и наличием большого количества учебной литературы на официальном сайте компании разработчика.

В результате проведенного исследования для моделирования производственных процессов была выбрана среда AnyLogic, т.к. она удовлетворяет всем критериям.

## **Глава 2. Анализ предметной области**

### **2.2 Методы мониторинга процессов предприятия**

Функционирование любого предприятия можно представить, как набор бизнес-процессов, протекающих внутри организации, от эффективности построения которых зависит дальнейшее развитие предприятия. Любой процесс можно определить как некую очередность потоков работы объекта, приводящих к достижению определенного результата.

Понятие бизнес-процесса получило распространение в связи с переходом к процессно-ориентированной организации и процессно-ориентированному менеджменту предприятия. На сегодняшний день не существует единой общепринятой типологии бизнес-процесса. Поэтому одновременно используется множество различных понятий и обозначений, как например, основной процесс, главный процесс, процесс создания стоимости, производственный процесс и т.д. Характерными для компаний процессами являются, например, выполнение заказа, разработка продукта, управление компанией, доставка продукции. На практике в каждой компании существуют типичные для их сферы, взаимосвязанные друг с другом бизнес-процессы, имеющие своей целью создание и реализация стоимости, продуктов и услуг.

Анализ бизнес-процессов лежит в основе любой деятельности, нацеленной на их улучшение. Как правило, анализ бизнес-процессов начинается с определения измеримых параметров, которые необходимо контролировать.

Мониторинг (от лат. monitor - предостерегающий) – метод исследования объекта, предполагающий его отслеживание и контролирование его деятельности (функционирования) с целью прогнозирования последней.

Мониторинг бизнес-процессов – основной инструмент руководителя и всего предприятия и структурного подразделения, источник оперативной

информации о состоянии бизнес-процессов протекающих на предприятии и результатах работы подчиненных сотрудников. Мониторинг текущего состояния предприятия осуществляется для оперативной диагностики, которая должна своевременно сигнализировать о негативных тенденциях изменения в деятельности предприятия.

Для предприятий всех видов экономической деятельности можно выделить множество основных, вспомогательных и обеспечивающих бизнес-процессов. Основные бизнес-процессы направлены на выпуск товаров и оказание услуг. Обеспечивающие и вспомогательные бизнес-процессы позволяют выполнять основные процессы и могут реализовываться как подразделениями предприятия, так и сторонними организациями. Выделяются также процессы управления, которые предназначены для контроля над функционированием всех процессов предприятия [16].

В настоящее время разработано несколько различных методик и концепций для управления и оценки эффективности бизнес-процессов. К наиболее известным можно отнести сбалансированную систему показателей BSC (Balanced Scorecard), методологию Tableau de bord, управление на основе EVA (EVA-based management), методы стоимостного анализа процессов (ABC - activity-based costing), концепция бережливого производства (lean manufacturing), гибкое производство (Agile manufacturing), концепция Just in Time (Точно в срок) или JIT – концепция, система менеджмента качества (СМК) и динамические методы имитационного моделирования.

Современные информационные технологии, применяемые для решения управленческих задач на предприятиях и в организациях, все больше ориентированы на использование автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП). Наряду с решением уже традиционных задач АСУ ТП, ныне все чаще ставятся и решаются задачи оперативного

мониторинга всех ключевых направлений деятельности предприятия (организации), оценки эффективности функционирования его подразделений и работников. Успешное решение этих задач значительно расширяет руководству «область оперативного наблюдения» за деятельностью предприятия (организации), его структурных подразделений и позволяет создавать автоматизированные информационные системы для контроля и управления всей совокупностью бизнес-процессов, в том числе осуществлять:

- 1) оценку эффективности бизнес-процессов и использования ресурсов;
- 2) контроль и прогнозирование тенденций изменения ключевых показателей деятельности предприятия (организации);
- 3) оптимизацию бизнес-процессов;
- 4) своевременное увеличение мотивации работников.

BPM (Business Process Management, управление бизнес-процессами) – новый подход к автоматизации и управлению процессами – значительно сокращает время на внесение изменений, поскольку направлен на уменьшение или полное исключение необходимости программирования. Это технология, направленная на управление бизнес-процессами, под которой обычно понимаются:

- Моделирование – представление бизнес-процесса в одной из стандартных нотаций (BPMN – Business Process Model and Notation; IDEF0 и т.д.);
- Симуляция – проведение анализа «что если». Она позволяет определять возможные состояния и показатели процесса при различных условиях;
- Выполнение бизнес-процесса в рамках специального ПО – BPM Engine. Оно позволяет управлять взаимодействием автоматизированных систем

и персонала, назначать задачи для сотрудников, отслеживать выполнение отдельных шагов;

- Мониторинг – отслеживание выполнения бизнес-процессов в целом. При этом можно посмотреть состояние каждого выполняемого процесса. В целом по системе собираются различные метрики и статистика;
- Оптимизация – меры, направленные на повышение эффективности выполнения бизнес-процессов на основании данных, полученных при мониторинге [17].

Примерами программных продуктов, основанные на концепции BPM являются: ELMA BPM Suite, Bizagi BPM Suite и Bonita Open Solution, Oracle Business Activity Monitoring. Все они являются популярными и востребованными.

Существенным недостатком таких систем является высокая стоимость и довольно высокие требования к профессиональной подготовке пользователей. Вот почему для автоматизации мониторинга показателей деятельности предприятия или организации многие предпочитают использовать недорогие информационные системы типа Dashboard от таких известных поставщиков как KPI Soft (QPR), группы компаний Инталев (ИНТАЛЕВ: Корпоративный контроллинг), ПрофИТпроект (KPI MONITOR), Swift Reporting (Dashboards), Profit Metrics (Profit Metrics) и некоторых других. Эти системы просты для установки на порталы решения компании и позволяют оперативно оценивать показатели деятельности с использованием как логических, так и математических выражений [18].

Перечисленные методы мониторинга в своем большинстве основаны на использовании подходов управления бизнес-процессами. А внедрение любой из упомянутых систем АСУ ТП требует значительного времени, сил и средств, предварительный подбор и анализ программного продукта. Также, не все

бизнес или производственные процессы возможно контролировать с применением АСУ ТП, а некоторые факторы не поддаются описанию, в таких случаях на помощь приходит модели «что, если.. », основанные на методах имитационного моделирования.

Оценка конкурентоспособности метода имитационного моделирования приведена в Главе 4.

## **2.3 Использование методов имитационного моделирования для мониторинга производственных процессов**

Использование имитационного моделирования в процессе управления производством позволяет спрогнозировать поведение и будущее состояние производственной системы, что существенно повышает точность разрабатываемых планов производства. С другой стороны модель дает возможность оценить альтернативные варианты управленческих воздействий, тем самым, повышая качественный уровень принимаемых управленческих решений [19].

Принцип имитационного моделирования бизнес-процессов получил достаточно большое распространение и приобрёл большую популярность сначала на Западе, а в последнее время активно применяется и в России. В отличие от традиционных CASE-средств, дающих статические «снимки» бизнес-ситуаций по статистическим показателям, имитационная модель способна показать целостную картину развития ситуации во времени, продемонстрировать или выявить скрытые тенденции, предоставить возможность оперативно проанализировать последствия принимаемых решений, оценить влияние различных факторов случайного характера и цену риска, выполнить расширенный ABC-анализ. Сегодня перспективный топ-менеджмент начинает проявлять все больший интерес к нетрадиционным методологиям и подходам, ситуационному анализу принятия решений, возможностям прогнозирования нетривиального поведения бизнес-процессов на самых начальных, преинвестиционных фазах развития проектов.

Рост масштабов управления, внедрение ERP, MRP, сложность оргструктур, приводит к пониманию, что любой бизнес-процесс – не просто набор функций и структур, а процесс, обладающий поведенческой сложностью, - отсюда проблематика BPR, предполагающая фундаментальное переосмысление и радикальную перестройку бизнес-процессов компании.



Программные продукты, поддерживающие имитационное моделирование, интегрируют достоинства структурных и объектно-ориентированных технологий в рамках CASE-средств, позволяют проанализировать проблемные ситуации с самых обобщенных концептуальных позиций, современные технологии обеспечивают легко-интегрируемый идеографический интерфейс, возможность быстрого прототипирования структурных и функциональных схем бизнес-процессов

Концепция имитационного моделирования становится все более популярной для решения тактических задач анализа поведения бизнес-процессов, так и при стратегическом планировании самых разнообразных управленческих ситуаций. На российском рынке получили хождение несколько решений, основанные на интеграции CASE-технологий и имитационного моделирования: BPWin - Arena; ARIS и раскрашенные сети Петри; iThink, вписывающийся в нотации по методологии Гейна-Сарсона.

Имитационные модели всегда динамические – это позволяет исследовать поведение моделируемого бизнес-процесса как развивающегося процесса по определенной траектории в течении некоторого периода модельного времени, что позволяет предсказывать будущие состояния, тенденции развития с учетом их взаимодействия и влияния факторов внешней среды, в условиях неопределенности. Бизнес-процессы, подобно сложным организационным структурам, характеризуются скорее не отдельными элементами, но отношениями между ними, не статическим бытием, но постоянным развитием [20].

Как известно, ИМ применяются при решении следующих задач:

- 1) активного прогноза и основанного на нем мониторинга процессов;
- 2) проверки предположений о зависимости одних параметров процессов от других;

- 3) выявления зависимости между параметрами процессов;
- 4) анализа внутренних проблем процессов (например, узких мест);
- 5) выбора варианта структуры процесса и его параметров [21].

Любой оперативный план представляет собой некоторый компромисс в достижении следующих целей:

- выполнить все заказы вовремя;
- минимизировать затраты;
- обеспечить непрерывность производства;
- добиться равномерной загрузки оборудования.

Имитационное моделирование применяется в соответствии с алгоритмом, приведенном на рисунке 4.



Рисунок 4 - Структура использования имитационной модели производственного процесса в управлении

Многие предприятия уже испробовали данный метод для мониторинга и последующего улучшения своих бизнес-процессов.

ИМ принимаемых решений, проектов развития и технологий постоянно применяется компаниями ARCO, Boeing, Compaq, Kaiser Aluminium, Kimberly-Clark, Mars, SAIC, Sandia National Labs, Tropicana, Xerox, CSX, GE, GM, IBM, Intel, Lockheed, MCI, Motorola, Nortel, 3M, UPS, General Motors, Ford, Standart Oil, Crey Research, Apple Computer, Volvo, General Dynamics и многих других, а также Агентством национальной безопасности США, НАСА, Военно-воздушными силами США, Вооруженными силами США, Военноморскими силами США и другими национальными ведомствами [22].

Обзор англоязычных источников по данной теме приведен в Приложении А.

## **Глава 3. Моделирование процесса**

### **3.1 Сбор и анализ исходной информации об объекте моделирования**

Сбор данных об объекте моделирования осуществлялся посредством интервьюирования сотрудников предприятия. Для анализа также была использована специальная литература по роду деятельности предприятия [19-25]. Специальные термины и определения [26] представлены Приложении В.

#### **3.1.1 Краткое описание предприятия**

В качестве объекта исследования было выбрано малое предприятие.

Компания осуществляет несколько видов деятельности, таких как: предоставление услуг в области лесозаготовок; производство пиломатериалов; производство технологической щепы и стружки, а также восстановительные работы и уход за лесом. Основным видом деятельности компании являются лесозаготовки. Основным видом продукции является заготовленная древесина из хвойных пород: сосна, ель, кедр, пихта; и из лиственных пород: береза, осина. Компания имеет несколько постоянных клиентов, сотрудничает со странами ближнего и дальнего зарубежья.

Вырубка и вывоз леса осуществляется только в зимнее время, в период с августа по конец марта. Основными источниками доходов предприятия являются денежные средства, полученные от заказчика за реализованную продукцию. Основными источниками расходов являются: затраты на аренду и ремонт оборудования; затраты на электроэнергию, отопление; затраты на заработную плату рабочих; арендная плата за лес; налоги; приобретение горюче-смазочных материалов.

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4. 1. Предпроектный анализ**

#### **4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Осуществим анализ рынка потенциальных потребителей. Так как работа направлена на решение задачи мониторинга бизнес-процессов предприятия на примере предприятия, занимающегося процессом лесозаготовок, то разработанная имитационная модель предназначена для использования руководством данного предприятия, специалистами в данной области, а также лицами, занимающимися научно-исследовательской деятельностью.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для сравнения выбраны 3 программных продукта, как наиболее популярные решения, позволяющие производить мониторинг бизнес-процесса малого предприятия, такие как:

- ERP-система SAP Business One 9.0 (в таблице присвоен номер 1).
- KPI MONITOR «Панель мониторов» (в таблице присвоен номер 2).
- 1С:Предприятие: Встроенные средства мониторинга бизнес-процессов (в таблице присвоен номер 3).

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты. Результаты приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений									
Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентноспособность			
		Бф	Бк1	Бк2	Бк3	Кф	Кк1	Кк2	Кк3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатели оценки качества разработки									
1.Наглядность - Представление процесса, (понятность)	0,15	4	4	4	3	0,6	0,6	0,6	0,45
2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	5	4	0,5	0,4	0,5	0,4
3. Время на внедрение	0,07	5	2	4	3	0,35	0,14	0,28	0,21
4. Надежность	0,1	4	4	4	4	0,4	0,4	0,4	0,4
5. Потребность в ресурсах памяти	0,1	3	2	2	2	0,3	0,2	0,2	0,2
6.Функциональная мощность (представляемые возможности)	0,1	4	5	4	4	0,4	0,5	0,4	0,4
7. Универсальность	0,05	5	4	3	3	0,5	0,4	0,3	0,3
8.Качество интеллектуального интерфейса	0,07	4	5	5	3	0,28	0,35	0,35	0,21
9.Возможность оценить альтернативные решения	0,05	5	4	5	3	0,25	0,2	0,25	0,15
10.Возможность оптимизации	0,05	5	4	4	3	0,25	0,2	0,2	0,15

Показатели оценки коммерческого потенциала разработки									
1. Конкурентноспособность продукта	0,05	4	3	4	4	0,2	0,1 5	0,2	0,2
2.Цена	0,03	4	2	5	3	0,12	0,0 6	0,1 5	0,0 9
3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	5	5	4	4	0,2	0,2	0,1 6	0,1 6
4.Послепродажное обслуживание	0,04	5	3	5	3	0,2	0,1 2	0,2	0,1 2
Итого	1					4,3	3,7 2	4,0 4	3,2 9

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 4.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum B_i B_i \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл i-го показателя.

Таким образом, итоговая оценка конкурентоспособности решения равна 4.3, что является наивысшим баллом из представленных оценок, а

конкурентными преимуществами технического решения являются «Время на внедрение» и «Универсальность».

### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Результаты представлены в Приложении Г.

Итак, исходя из вышеописанного, проект необходимо развивать в направлении улучшения модели посредством добавления новых решений в графическом виде, не останавливаясь на достигнутых показателях.

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научнотехнический задел	4	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научнотехнического задела	3	2
3	Определены отрасли и технологии	3	3



	(товары, услуги) для предложения на рынке		
4	Определена товарная форма науднотехнического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	<b>Итого баллов</b>	<b>43</b>	<b>39</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации показала, что перспективность коммерциализации на данный момент средняя. Необходима большая проработка каждого из вопросов.

## 4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

### 4.2.1 Контрольные события проекта

Информация о контрольных событиях сведена в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Встреча с научным руководителем, согласование темы магистерской диссертации, получение индивидуального задания	30.01.2017	Заявление студента
2	Анализ предметной области: Обзор литературы. Изучение предметной области, структуры предприятия, особенностей строения, состояния и функционирования процессов исследуемого предприятия	24.02.2017	Отчет
3	Сравнительный анализ программных продуктов для моделирования процессов и систем, выбор среды моделирования	10.03.2017	Отчет
4	Разработка функциональной модели исследуемого процесса	20.03.2017	Отчет
5	Разработка модели	14.04.2017	Имитационная модель, отчет.
6	Тестирование прототипа. Оценка адекватности модели. Доработка.	28.04.2017	Отчет
7	Анализ модели и сбор статистики.	12.05.2017	Отчет

	Представление результатов.		
8	Технико-экономическое обоснование проекта. Оформление расчетно-пояснительной записки	29.05.2017	Отчет

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, определены их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

#### 4.2.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта. Для разработки проекта были задействованы следующие исполнители:

- научный руководитель на кафедре (НР);
- студент-магистрант (инженер-И).

Линейный график представляется в виде таблицы 4.5.

Таблица 4.5 – Календарный план проекта

Код работ ы (из ИСП)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Согласование темы магистерской диссертации	1	30.01.2017	30.01.2017	НР, И
2	Анализ предметной области: Обзор литературы. Изучение предметной области, структуры	19	31.01.2017	24.02.2017	И, НР

	предприятия, особенностей строения, состояния и функционирования процессов исследуемого предприятия				
3	Сравнительный анализ программных продуктов для моделирования процессов и систем, выбор среды моделирования	10	27.02.2017	10.03.2017	И
4	Разработка функциональной модели исследуемого процесса	6	13.03.2017	20.03.2017	И
5	Разработка модели	19	21.03.2017	14.04.2017	И
6	Тестирование прототипа. Оценка адекватности модели. Доработка.	10	17.04.2017	28.04.2017	И, НР
7	Анализ модели и сбор статистики. Представление результатов.	8	02.05.2017	12.05.2017	И
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	11	15.05.2017	29.05.2017	И
Итого:		84	30.01.2016	29.05.2016	

Как видно из календарного графика проекта наибольший промежуток времени приходится на этапы 2 и 5.

#### 4.2.3 Определение трудоемкости выполнения ВКР

Трудоемкость выполнения работ оценивается в человеко-днях экспертным путем, из-за зависимости от большого количества трудно учитываемых факторов имеет вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ  $t_{ож_i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3 * t_{min_i} + 2 * t_{max_i}}{5}, \text{ чел. - дн.} \quad (2)$$

где  $t_{ож_i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{min_i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max_i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож_i}}{q_i}, \text{ раб. дн.} \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож_i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.2.4 Разработка календарного плана работ

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} * k, \text{ кал. дн.} \quad (4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы в рабочих днях;

$k$  – коэффициент календарности. Используется для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности можно рассчитать по формуле:

$$k = \frac{T_{к2}}{T_{к2} - T_{вд} - T_{нд}} \quad (5)$$

где  $T_{к2}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$  – количество выходных дней в году;

$T_{нд}$  – количество праздничных дней в году.

$$k = \frac{365}{365 - 118} = 1,477 \approx 1,48 \text{ кал. дн} \quad (6)$$

Результаты расчетов трудоемкости работ представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Перечень работ и оценка трудоемкости

Наименование работ	$t_{\min}$ , чел- дни	$t_{\max}$ , чел- дни	$t_{\text{ож}}$ , чел- дни	$Ч_i$ , чел	$T_{pi}$ , раб. дни	$T_{ki}$ , дни
--------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------------	----------------	---------------------------	-------------------

Согласование темы магистерской диссертации	1	3	1,8	2	0,9	1,332
Анализ предметной области: Обзор литературы. Изучение предметной области, структуры предприятия, особенностей строения, состояния и функционирования процессов исследуемого предприятия	19	25	21,4	1	21,4	31,67 2
Сравнительный анализ программных продуктов для моделирования процессов и систем, выбор среды моделирования	10	12	10,8	1	10,8	15,98 4
Разработка функциональной модели исследуемого процесса	6	9	7,2	1	7,2	10,65 6
Разработка модели	19	24	21	1	21	31,08
Тестирование прототипа. Оценка адекватности модели. Доработка.	10	13	11,2	2	5,6	8,288
Анализ модели и сбор статистики. Представление результатов.	8	12	9,6	1	9,6	14,20 8
Оформление расчетно-пояснительной записки	11	12	11,4	1	11,4	16,87 2
Итого	84	110	94,4		87,9	130,1

Построим диаграмму Ганта для наглядного отображения выполняемых работ на основе таблицы 4.5, для максимального по длительности исполнения работ.

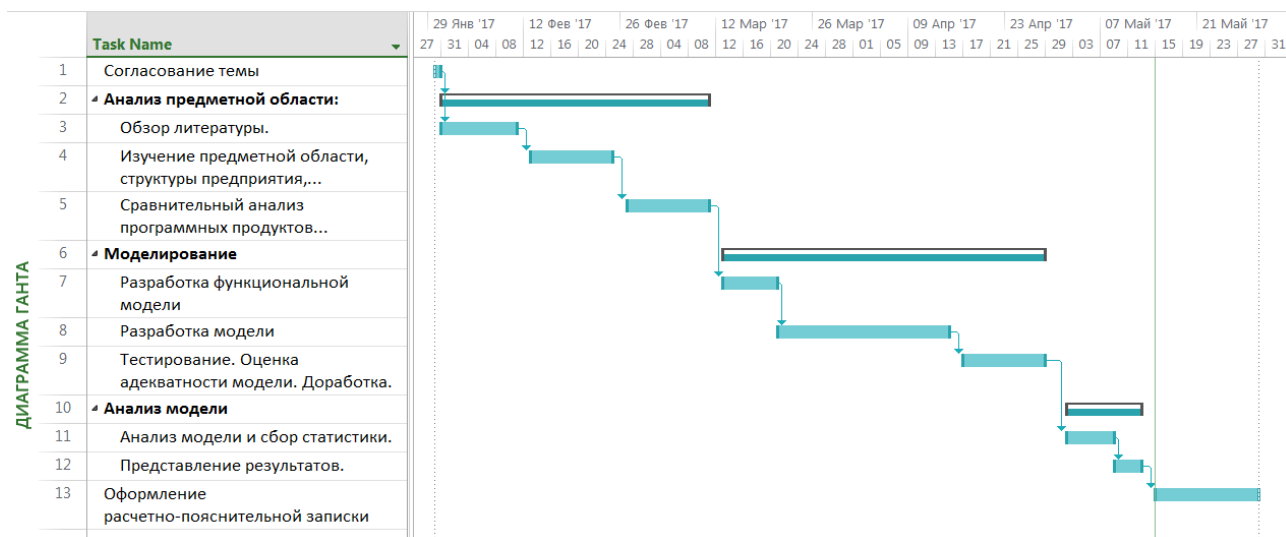


Рисунок 5. Календарный план-график проведения работ по теме  
В результате построения диаграммы Ганта можно заметить, что максимальное время запланировано на такие этапы работ как «Моделирование» и «Анализ предметной области».

#### 4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 4.11. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов) – в эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

##### Затраты на материалы



Данная статья отражает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение. Материалы необходимые для данной разработки указаны в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Затраты на материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Офисная бумага (А4)	Упаковка	1	250	250
Картридж для принтера	Штук	0,3	2000	600
Транспортно-заготовительные расходы (10%)				85
<b>Итого</b>				<b>935</b>

Затраты на материалы составили 935 рублей.

### **Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

Программное обеспечение AnyLogic Personal Learning Edition предоставляется бесплатно компанией The AnyLogic Company и Ramus Educational предоставляется компанией-разработчиком бесплатно в образовательных целях.

### **Затраты на электроэнергию**

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C_{эл} = C_{эл} * P * F_{об} \quad (7)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на электроэнергию - (2,17 руб/кВт·ч (тариф – одна ставка);

$P$  – мощность, потребляемая персональным компьютером;

$F_{об}$  – время использования оборудования,

$F_{об1} = 84 \text{ дн.} * 8 \text{ ч.} = 672 \text{ ч.}$  – время для инженера,

$F_{об2} = 15 \text{ дн.} * 8 \text{ ч.} = 120 \text{ ч.}$  – время для научного руководителя в рамках ВКР

$$C_{эл} = 2,17 * 0,4 \text{ кВт} * 672 + 2,17 * 0,4 * 120 = 583,3 + 104,16 = 687,46 \text{ руб.}$$

(8)

Таким образом, затраты на электроэнергию составили 687,46 рублей.

### **Основная заработная плата**

Основную заработную плату можно рассчитать по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (10)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_m = З_б * k_p, \quad (11)$$

где  $З_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Результаты расчета действительного годового фонда приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени, дни	Руководитель	Инженер
Дней в году по календарю	365	365
Нерабочие дни		
Выходные и праздничные дни	118	118
Планируемые потери отпуска	48	24
Действительный годовой фонд, день	199	223
Действительный годовой фонд, час	1592	1784

Затраты на оплату труда студента-выпускника условно определяются как оклад инженера кафедры в соответствии с 1 квалификационным уровнем (9893,56 руб.), затраты на оплату труда (оклад) руководителя составляет (23264,86 руб.) без учета районного коэффициента, тогда с учетом районного коэффициента:

$$9893,56 \cdot 1,3 = 12861,628 \text{ руб.}$$

$$23264,86 \cdot 1,3 = 30244,318 \text{ руб.}$$

Тогда среднедневная заработная плата рассчитывается как:

$$\text{Для руководителя: } Z_{\text{дн}} = \frac{30244,318 \cdot 10,4}{199} = 1580,61 \text{ руб.} \quad (12)$$

$$\text{Для инженера: } Z_{\text{дн}} = \frac{12861,628 \cdot 11,2}{223} = 645,97 \text{ руб.} \quad (13)$$

Таблица 4.9 – Затраты на основную заработную плату

Исполнители	Среднедневная зар. плата $Z_{\text{дн}}$ (руб.)	Трудоемкость ( $t_i$ ), чел-дни	Затраты на зар. плату (руб.)
Инженер	645,97	84	54261,48
Руководитель проекта	1580,61	15	23709,15
<b>Итого</b>			<b>77970,63</b>

Затраты на основную заработную плату составили 77970,63 рублей.

### Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает в себя заработную плату за неотработанное рабочее время, но гарантированную действующим законодательством.

Дополнительной заработной платой ведется по следующей формуле и рассчитывается только для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (14)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 23709,15 = 3556,37 \text{ руб.}$$

Таблица 4.10 – Затраты на дополнительную заработную плату

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	23709,15	54261,48
Дополнительная зарплата	3556,37	
Итого по статье Зп	27265,52	54261,48

Затраты на дополнительную заработную плату составили 3556,37 рублей.

### Социальный налог

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. установлен размер отчислений равный 30,2%, тогда величина отчислений равна

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (77970,63 + 3556,37) = 24621,15 \text{ руб.}$$

### **Амортизационные расходы**

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB}}{F_D} \cdot t_{BT} \cdot n, \quad (16)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации,  $H_A = 1/T_{п} * 100\% = 1/3 * 100\% = 33,3\%$ ;

$T_{п}$  – срок полезного использования оборудования,  $T_{п} = 3$  года;

$C_{OB}$  – цена оборудования,  $C_{OB} = 40000$  руб.;

$F_D$  – действительный годовой фонд рабочего времени,  $F_D = 1784$  часа;

$t_{BT}$  – время работы вычислительной техники при создании программного продукта,  $t_{BT} = 84 * 8 = 672$  часа;

$n$  – число задействованных ПЭВМ,  $n = 1$ .

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{ам} = \frac{0,333 \cdot 40000 \cdot 672}{1784} = 5017,40 \text{ руб.} \quad (17)$$

### **Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей 4,5,6}) \cdot k_{нр}, \quad (18)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов 50%.

$$З_{\text{накл}} = (106148,15) * 0,5 = 53074,08 \text{ руб.}$$

Таблица 4.11 – Группировка затрат по статьям

№ п/п	Статья затрат	Значение, руб.
1.	Затраты на материалы	935
2.	Затраты на спецоборудование для научных работ	0
3.	Затраты на электроэнергию	687,46
4.	Основная заработная плата	77970,63
5.	Дополнительная заработная плата	3556,37
6.	Социальный налог	24621,15
7.	Амортизационные расходы	5017,40
8.	Прочие расходы	53074,08
	Себестоимость НТИ	165862,09

Таким образом, затраты на реализацию проекта составили  $З = 165862,09$  рублей.

#### 4.4 Определение эффективности исследования

Разработанная имитационная модель предназначена для мониторинга основного процесса исследуемого предприятия, для прогнозирования поведения и будущего состояния производственной системы, а также для оценки альтернативных вариантов управленческих воздействий. Так как до реализации проекта у предприятия отсутствовала какая-либо система мониторинга, то целесообразно оценить эффективность от внедрения данного метода.

Дадим оценку организационной эффективности разработки, используя таблицу 4.11.

Таблица 4.11 - Оценка организационной эффективности разработки

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Показатели организационной эффективности	Вес показателя $K_i$	Значение показателя до внедрения разработки, балл, $a_i$	Значение показателя до внедрения разработки с учетом веса, $K_i \times a_i$	Значение показателя после внедрения разработки, балл, $b_i$	Значение показателя после внедрения разработки с учетом веса, $K_i \times b_i$
Наглядное представление производственного процесса	0,3	3	0,9	5	1,5
Возможность оценки альтернативных решений	0,2	3	0,6	5	1,0
Графическое представление результатов	0,5	2	1,0	5	2,5
Итого	<b>1</b>		<b>2,5</b>		<b>5,0</b>

Важнейшим результатом внедрения метода является его организационная эффективность, которая увеличивается в 2 раза. Таким образом, внедрение данного проекта целесообразно, так как это позволит улучшить основные показатели эффективности работы предприятия.

### **Вывод:**

По итогам ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, было выявлено следующее:

Проведен «Анализ конкурентных технических решений» с помощью оценочной карты. Анализ показал, что техническое решение является конкурентоспособным, а также выявил конкурентные преимущества разработки, которые необходимо развивать для продолжения исследований.

Далее был проведен SWOT-анализ, который показал, что проект необходимо развивать в направлении улучшения модели посредством добавления новых решений в графическом виде, не останавливаясь на достигнутых показателях.

Степень готовности научной разработки к коммерциализации выявила, что перспективность коммерциализации на данный момент средняя. Необходима большая проработка каждого из вопросов.

Были определены контрольные события проекта и план проекта, разработан календарный план работ, и наглядное его представление в виде диаграммы Ганта, а также определена трудоемкость выполнения ВКР.

Спланирован бюджет научного исследования, итоговая стоимость которого составила 165862,09 рублей.

Определена эффективность исследования от внедрения технического решения на исследуемом предприятии, которая показала, что внедрение данного проекта целесообразно, так как это позволит улучшить основные показатели эффективности работы предприятия.



## **Заключение**

Поставленные в ВКР цели были достигнуты за счет осуществления задач, поставленных для реализации проекта. Была проанализирована предметная область, существующие системы моделирования. Разработана имитационная модель производственного процесса исследуемого предприятия, позволяющая вести мониторинг процесса.

Была проведена экономическая оценка проекта и определена его экономическая эффективность.

В будущем планируется актуализировать модель в пользовательском формате.

### **Список публикаций**

1. Садковская С.Ю. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования // Молодежь. Наука. Технологии: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции студентов и молодых ученых в 4 ч., г. Новосибирск, 18-20 апреля 2017 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Ч.2. – С. 71-74.
2. Садковская С.Ю. Инструменты имитационного моделирования для исследования производственных процессов. // Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10-12 мая 2017 г.: в 8 частях. – Томск: В-Спектр, 2017 – Ч.5. – С. 213-215. (Диплом II степени)

Раздел 2

**A review of the application of simulation modeling methods in the field of manufacturing processes**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8KM51	Садковская Светлана Юрьевна		

Консультант кафедры ПИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры программной инженерии	Чердынцев Евгений Сергеевич	Кандидат технических наук		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой ИЯИК	Сидоренко Татьяна Валерьевна	Кандидат педагогических наук		

A key component of modern production process management is adaptation of manufacturing business processes and strategies under the changing product demand, increasing competition from quicker rivals and fewer resources. In the past, companies have mainly focused on product technology innovation, but now manufacturers utilize digital manufacturing technologies to optimize their manufacturing operations with respect to time, cost and quality. These technologies are increasing productivity, optimizing production systems by enhancing the visibility of manufacturing process, increasing production flexibility and profitability through the continuous optimization of manufacturing resources and capital investments.

The digital manufacturing building is based on simulation processes for testing new ideas and options before actual implementation of these ideas. With simulation models, we can explicitly visualize how an existing operation might perform under varied inputs and how a new or proposed operation might behave under same or different inputs, analyze the material flow and optimize plant lay-out. Today simulation can be used for decision-support with supply chain management, workflow and throughput analysis, facility layout design, resource usage and allocation, resource management and process change [1].

Simulation has become a more interesting tool for many companies in developed/developing countries to use in different types of production system analysis. Recent advances in simulation software have allowed simulation to expand its usefulness beyond a purely design function into operational use. The objective is to use the simulation software for the operational support used for scheduling, daily resource allocation, and process monitoring at the same time, identifying all the new features [2].

Thus, computer simulations should be understood as methods which allow to test the planned solutions in a digital, virtual model before they are implemented in the real world.

The tasks solved with the help of simulation for the study of production systems can be divided into three main groups: definition of equipment needs, performance evaluation, evaluation of technological operations.

Simulation modeling is commonly used in manufacturing and it enables solving various problems. The simulation can be applied when a new facility is planned or the existing one should be optimized. In those cases the simulation helps to optimize the times (processing time, failure time, set-up time, recovery time, etc.), the throughput of the plant, determine the size of buffers and the number of machines.

Depending on the required level of abstraction for simulation of production systems, various simulation modeling paradigms can be applied. For example, system dynamics is applied at the level of global interconnection. Discrete-event simulation (DES) approach is applicable to the production processes. Influence evaluation of the elements behavior on the system functioning can be realized by means of agent modeling. The application of a hybrid approach allows to study the system at several levels of abstraction.

The term DES refers to a modelling technique where only changes in system states are represented. Essentially, it creates a queue of events that affect the system state. These events are arranged based on their timings. The simulation then moves through these events and apply the changes on the system without modelling the time between any two events. Examples of such events in a typical manufacturing system include the arrival of a part, the start and finish of cycle times on machines and the occurrence of breakdowns. Therefore, it is a dynamic simulation technique where changes in the system are represented over time.

DES has been applied successfully in a wide range of business and manufacturing applications. In fact, it is the most popular technique to model manufacturing systems. The main features of typical DES software include modelling variability in statistical or empirical distributions and rapid modelling by providing built-in modules that accelerate the modelling process. In addition, a typical DES software enables visual interactive simulation where changes in the system are animated and users can interact during the simulation. Benefits of visual interactive simulation include better understanding of the model by visualising, interactive experimentation, improved communications to all stakeholders and the facilitation of model verification [3,4].

Let us proceed with the examples of the practical applications of the simulation methods using various software products such as Tecnomatix Plant Simulation and AnyLogic.

The analysis of the literature of the subject gives us relatively few publications which discuss the application of, for example, Tecnomatix Plant Simulation in production engineering and logistics. Most articles are by European researchers from: Slovakia , Poland, Bosnia and Herzegovina, the Czech Republic or Germany.

The research from Lublin University of Technology focuses on the application of Tecnomatix Plant Simulation in the analysis of efficiency of a production line machining a specific kind of parts as part of a technological process which involves two operations and five technological procedures. The system was simulated and analyzed in a production process involving two, three, or four stages. The influence of failure-related machine stoppage on the efficiency of the whole production line was shown. Such a workstation blocks the next machines, so it is a bottleneck of the process. An experiment like this is a signal for the company that certain actions should be taken to eliminate the effects of temporary unavailability of

the workstation. The machine can be modernized (or replaced by a new one), or so-called buffers can be used to temporarily exclude it from the process. Computer simulation made it possible to determine the size of the buffer and properly plan its location, which was essential from the point of view of the best use of space in the production hall.

The work [5] presents the outcome of simulation of production and assembly of crankshafts for saw engines. Computer simulations allowed to identify production process bottlenecks, to show the lack of efficiency of certain workstations, and to minimize the duration of the whole process. On the basis of the conducted analyses it was possible to introduce buffers storing the manufactured elements, to eliminate inefficient workstations, to reduce the time of transporting elements between the workstations, and to introduce extra machines. These actions considerably reduced the time of processing elements at each workstation and led to optimizing the duration of the whole production process.

Let's consider the example of production line shown in Figure 1. It is a simple digital model representing the process of nails production, designed by the author with the use of the Tecnomatix Plant Simulation program.

In the developed model, steel wire is collected from the stock, then at the first workstation it is cut (the disassembly process). The unused parts of steel wire are removed from the process as a separate out put ("Cuttings" workstation). After the cutting, these elements go to the station called "Tip" in the model, where the nail tips are sharpened and the heads are formed.

Within 24 hours of technological process, the production capacity for machine and workstation settings defined this way is 862 boxes of nails.

Statistical analyses of work at each workstation performed after the whole production process showed that only 10% of the wire cutting machine capacity was

actually used. This station is blocked by the “Tip” machine, which is the bottleneck in this process.

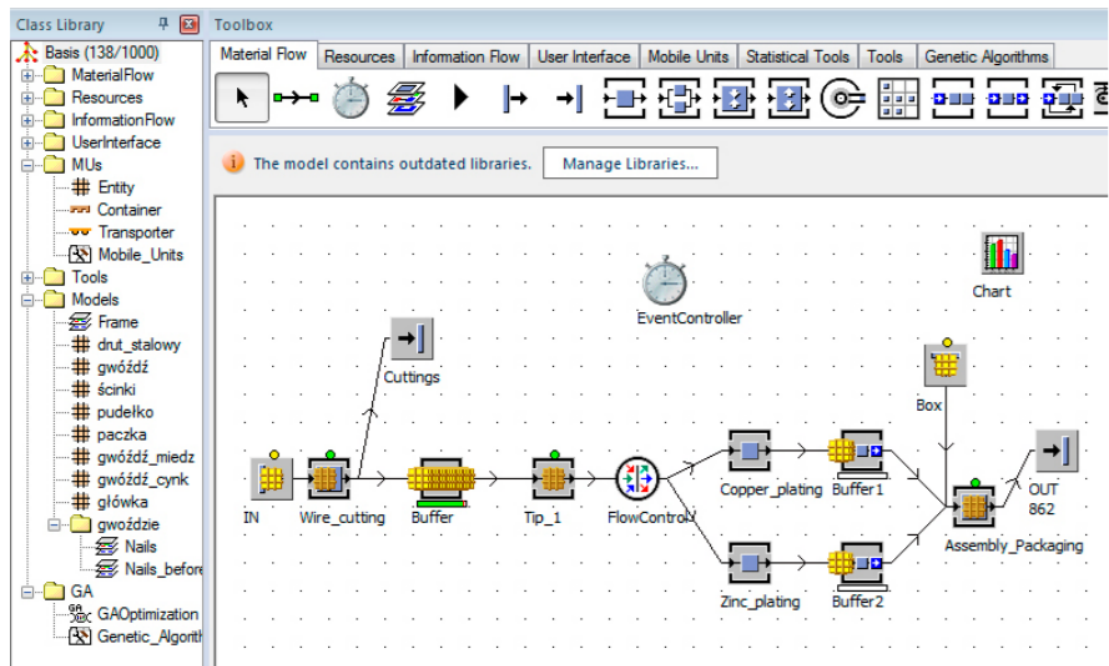


Fig. 1. Example of production process designed using Tecnomatix Plant Simulation

The research question was formulated as follows: what are the bottlenecks of the production process and how to increase the throughput of the plant? The results of author’s experiments showed that increasing the process flow capacity is possible e.g. by adding another, parallel workstation for sharpening the cut nails. Settings of the extra machine are the same as of the main one.

The result of the simulation of introducing an extra nail sharpening workstation into the discussed production process is shown in Figure 2. This solution produced very satisfying effects, as it allowed the increase of production up to 1,438 boxes of nails within 24 hours [5].



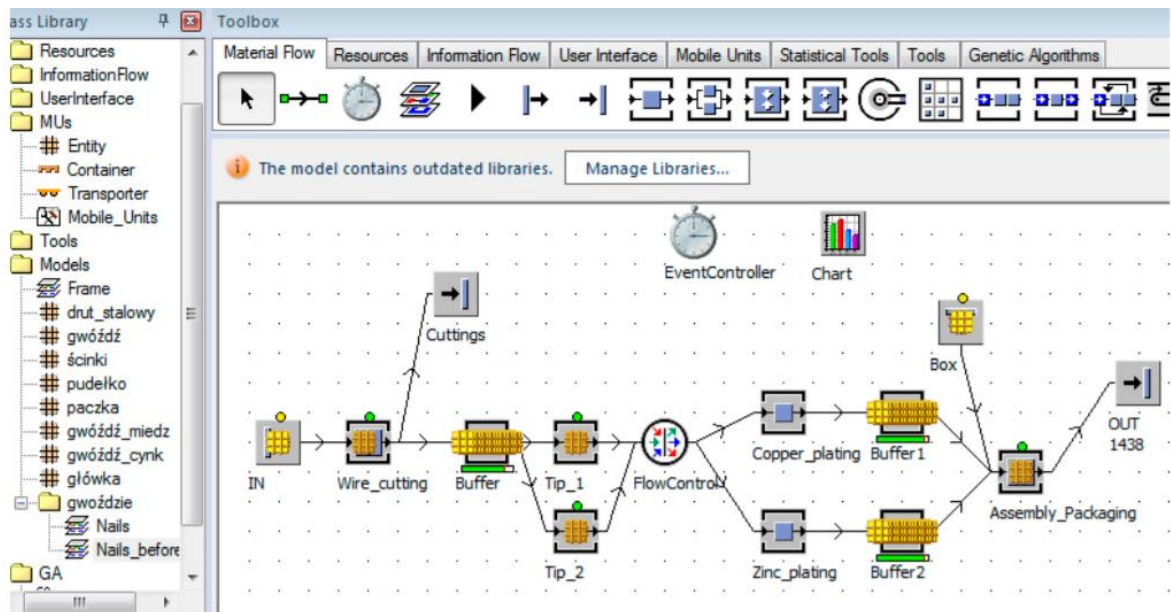


Fig. 2. Change of production volume after adding the “Tip” workstation

On the contrary, The AnyLogic Company very often models various processes for a variety of clients. Several examples of companies can be seen in the Figure 3.

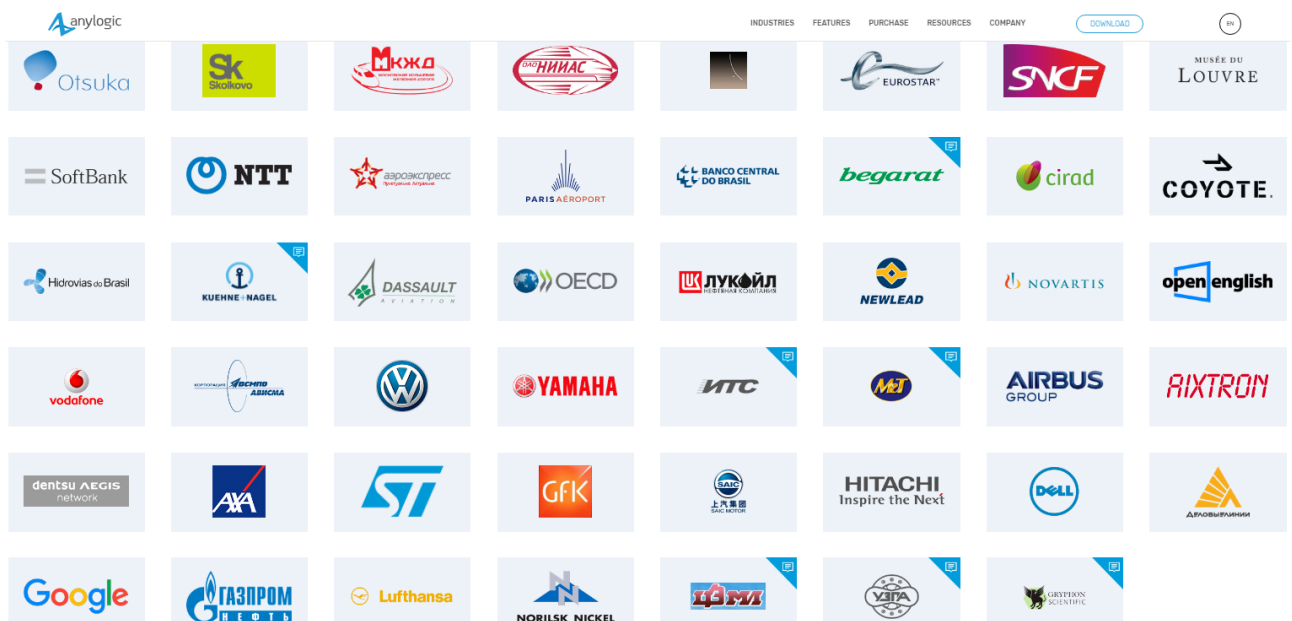


Fig. 3. Examples of client companies of The AnyLogic Company

Consider a specific example. Conaprole, the biggest dairy production company in Uruguay, produces more than 150 SKUs (Stock Keeping Units) in their ice cream plant, using five production lines, and up to five different packaging configurations for each line.

The company plans ice cream production on a 12-month rolling basis as part of the Sales & Operations Planning process, and the demand plan varies a lot due to seasonality. The factory management needs to prepare the production lines for the peak season during the low season, taking into account product shelf life and the warehouse's freezing cameras' capacity and costs. The factory was often unable to meet the high season demand which generated stock-outs, and the management found it very difficult to quickly reschedule their detailed plans due to the challenges they faced.

Other factors, including bottlenecks and constraints in the production lines' processes and variations in human resources' availability that can occur randomly, made planning analyses even more difficult.

The management's challenge was to be able to reformulate their plans in order to balance supply and demand and make sure they would avoid stock-outs in key products. They also sought ways to optimize the use of their production capacities. Ite Consult found simulation modeling to be the best tool to provide Conaprole with the solution to these problems.

The objectives of the created simulation model were:

1. To analyze various production scenarios for the following twelve months of changing demand.
2. To optimize production plans to avoid stock-outs for all SKUs.
3. To optimize the use of production lines' capacity with the optimized production plan.

Using AnyLogic's discrete event modeling capabilities, the consultants designed and developed a solution integrated with the company's S&OP planning platform and SAP Material Management and Production Planning. The created solution included three experiments with the model of the production system. Each of them addressed one of the objectives above and helped solve the business problems questioned.

In the first experiment, the model examined the initial production plan, detecting stock-outs and backorders that could be expected if production followed this plan. It allowed the management to explore production needs based on demand and initial inventory. This experiment also gave users the ability to find out, by manually modifying parameters, how different situations could impact performance, for instance: the need to close lines during certain periods, the necessity to modify equipment efficiency, extend resource availability, or change human resources' schedules. Users could manually change priorities of SKUs and analyze the expected impact of such actions on revenue (costs associated with stock-outs' differed by SKU). Additionally, they could define minimal used production capacity and some other policies.

By using the model, the Conaprole management was able to:

- Discover the processes in each production line by SKU.
- Optimize production plans to better meet the demand while maximizing product shelf life and minimizing warehouse costs.
- Improve production line utilization to secure additional production capacity in case of an increased demand.
- The simulation model provided the management with the insight to choose the solution that would increase revenue and minimize the risk of stock-outs [6].

This review is aimed at highlighting the practical use of the simulation modeling methods in the field of manufacturing processes.

The examples of modeling using software products such as Plant Simulation and AnyLogic were considered. These examples confirmed that using simulation allows to analyze the internal problems of processes (for example, bottlenecks), reduce time for changes and verify assumptions about the influence of some process parameters on others as well as select a process variant structure and its parameters.

Thus, the results of the process simulation ensure active forecasting and monitoring processes, as well as the effective decision support in modeling production.

## Приложение Б. Сравнительный анализ сред имитационного моделирования

Таблица 1 - Сравнительный анализ сред имитационного моделирования

	<b>AnyLogic Personal Learning Edition</b>	<b>Arena Standard Edition</b>	<b>Enterprise Dynamics</b>	<b>GoldSim</b>	<b>JaamSim</b>	<b>Plant Simulation</b>	<b>SLX</b>
<b>Разработчик</b>	The AnyLogic Company	Rockwell Automation Inc	INCONTROL Simulation Solutions	GoldSim Technology Group	Ausenco	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.	Wolverine Software
<b>Парадигмы ИМ</b>	Системная динамика, Дискретно-событийное моделирование, Агентное моделирование, Комбинированный подход.	Дискретно-событийное моделирование	Дискретно-событийное моделирование	Дискретно-событийное моделирование, системная динамика	Дискретно-событийное моделирование	Дискретно-событийное моделирование	Дискретно-событийное моделирование
<b>Область применения</b>	Цепочки поставок, логистика, здравоохранение, производство, динамика пешеходов, оборона, маркетинг, социальные процессы, и многое другое.	Производство, цепочками поставок, правительство, здравоохранение, логистика, продукты питания и напитки, Тара и упаковка, горнодобывающей промышленности, Центры обработки вызовов	Промышленность и логистика, общественный транспорт, организация толпы, круизные суда	Анализ рисков инжиниринг, стратегическое планирование, проектирование системы и надежность, управление водными ресурсами, управление отходами, экологический инжиниринг, добыча полезных ископаемых, ядерная энергетика	Производство, образование, научные исследования и т.д. специфические для данной отрасли объекты могут быть добавлены пользователями с помощью Java.	Автомобилестроение, Консалтинг, космонавтика, Логистика, Высокие технологии и электроника, техника, здравоохранение	Транспортировка, управление воздушным движением, производство, логистика, здравоохранение
<b>Построение модели: -Графическое</b>	+	+	+	+	+	+	—

<p>построение модели</p> <p>- Построение модели с использованием Программирования / доступ к программируемым модулям</p> <p>- отладка времени выполнения</p>	+	+	+	+	+	+	+
<p>Мастер отчетов</p>	Отчеты, графики, вывод в Excel или любой базы данных.	Выходной анализатор и анализатор процессов	генерации отчетов, мастер эксперимента	Анализ чувствительности и неопределенности	Основные статистические данные, собранные для всех соответствующих выходов. Отдельные выходы могут быть записаны для более детального анализа.	диаграммы, анализатор энергетика, нейронные сети	-
<p>Модуль оптимизации</p>	OptQuest	OptQuest	Различные интегрированные ссылки на оптимизаторов	глобальная оптимизация сложных динамических систем	Оптимизация может быть сделана, используя внешнюю программу, которая считывает / записывает на основе входных / выходных файлов JaamSim текста.	Генетический алгоритм, нейронные сети, динамическое программирование	-
<p>Распределения затрат / Расчет стоимости</p>	+	+	+	+	-	+	-
<p>Анимация:</p> <p>-анимация</p> <p>-воспроизведение в реальном</p>	+	+	+	+	+	+	+

<b>времени</b> <b>-экспорт</b> <b>анимации</b> <b>-3D анимация</b> <b>-Импорт</b> <b>чертежей САПР</b>	+ + +	+ + +	+ + +	- - -	+ + +	+ + +	+ + +
<b>Поддержка/обучение:</b> <b>- Учебные пособия</b> <b>-Обучающие курсы</b> <b>-Тренинг на сайте</b> <b>-Доступность консультации</b> <b>-Форум пользователей</b>	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +	+ + + - +	+ + + + +	+ + - + +
<b>Может ли программное обеспечение быть под контролем или управлением внешней программы?</b>	AnyLogic модели могут быть экспортированы как отдельные Java-приложений, которые могут быть вызваны / управляются с любым другим приложением.	В Visual Studio с целью автоматизации, а также VB	-	-	Любое программное обеспечение, которое может считывать или записывать текстовые файлы или которые могут запустить внешнее приложение.	Любое программное обеспечение поддерживает функции удаленного управления области, например, COM	Параметры командной строки Запуск, Windows LaunchProcess (API)
<b>Связь с внешними приложениями</b>	Excel, Access, любые базы данных, любые Java/DLL библиотеки, например, для байесовских или нейронных сетей.	OptQuest	-	любое программное обеспечение, которое может быть скомпилирована как DLL	Любое программное обеспечение, которое может считывать или записывать текстовые файлы или которые могут быть вызваны из Java.	Matlab, C dlls, MS-Excel, SAP, Simatic IT, Teamcenter, Autocad, Microstation	Любая библиотека Windows, например, Wolverine's Proof Animation Software

<b>Язык интерфейса</b>	Русский, английский,..	Английский	Английский	Английский	Английский	Русский, английский,..	Английский
<b>Улучшения с 2013 по 2015 года</b>	Новая реализация ГИС с поддержкой онлайн-карт; Библиотека дорожного движения; библиотека для работы с данными-жидкостями; встроенная база данных.	Обновления для OptQuest интерфейса, 3D анимация, интерфейсы данных	64-битная версия, расширенные возможности визуализации, настраиваемые отчеты, расширенные функциональные возможности графа, новые объекты	Анализ сценариев, вложенный анализ Монте-Карло, улучшенное время шагов, черчения и анализ результатов	Оптимизация моделирования двигателя	Интеграция PointCloud, Энергетический анализ, моделирование жидкостей, интеграция PLM, поведение работника, мульти порталные краны	Прямая генерация отдельно стоящих файлов EXE
<b>Ограничения студенческой версии</b>	Ограничивнение по количеству объектов моделирования,оптимизации и помощь в посторении, библиотекам, экспорту	Ограничивнение по количеству объектов моделирования,оптимизации и тех.поддержке	120 дней использ-я	Ограничивнение по количеству объектов моделирования -500, 6 месяцев использования, не включ. тех.поддержку	-	Ограничение по количеству объектов моделирования -80	-
<b>Системные требования</b>	Windows, Mac, Linux	Windows 8/8.1, 7, Vista, XP Pro or Home (32-bit SP3, 64-bit SP2), Microsoft Windows Server 2008	Windows XP, 8/8.1, 10	Windows Vista, 7, /8.1, 10	Windows, Linux, Mac OS	Windows 7, 8, 10	Windows



<b>Примечание разработчиков</b>	Единственная система, объединяющая 3 парадигмы ИМ и многоподходное моделирование	-	-	Используется для громких проектов, таких как космические полеты НАСА и крупномасштабного планирования водных ресурсов	Свободное программное обеспечение с открытым исходным кодом	-	-
<b>Официальный сайт</b>	<a href="http://www.anylogic.com">www.anylogic.com</a>	<a href="http://www.arenasimulation.com">www.arenasimulation.com</a>	<a href="http://www.incontrolsim.com">www.incontrolsim.com</a>	<a href="http://www.goldsim.com/Home">www.goldsim.com/Home</a>	<a href="http://www.jaamsim.com">www.jaamsim.com</a>	<a href="http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/tecnomatix">www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/tecnomatix</a>	<a href="http://www.wolverinesoftware.com/">www.wolverinesoftware.com/</a>