

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Экономический факультет
Кафедра экономики и управления инновационными системами

КУРСОВАЯ РАБОТА


**АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ И ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ
СИСТЕМЫ. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ТОЧНОСТИ МОДЕЛЕЙ**

Работу выполнила _____  _____ А.П. Удовиченко
(подпись)

Направление _____ 27.03.03 Системный анализ и управление _____ курс 4

Направленность (профиль) Системный анализ и управление экономическими процессами

Научный руководитель:
канд. техн. наук, доцент _____  _____ 27.12.2022 Н.Ю. Нарыжная
(подпись, дата)

Нормоконтролер:
канд. техн. наук, доцент _____  _____ 27.12.2022 Н.Ю. Нарыжная
(подпись, дата)

Краснодар
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Теоретические основы моделирования систем	6
1.1 Основные принципы построения моделей системы	6
1.2 Классификация видов и методологий моделирования	8
1.3 Методы коррекции точности моделей	12
2 Системный анализ предприятия ООО «ТВК-Р» (сеть супермаркетов «Табрис»)	17
2.1 Организационная структура компании	17
2.2 Анализ дерева целей предприятия	20
2.3 Сетевое моделирование процесса внедрения нового программного обеспечения	25
2.4 Анализ полученных результатов и коррекция точности модели	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	37

ВВЕДЕНИЕ

Системное моделирование – это средство познания действительности, которое состоит из двух этапов: разработки модели и её анализа, и позволяет исследовать сложные процессы и явления на основе экспериментов не с реальной системой, а с её моделью.

Актуальность исследуемой темы состоит в том, что в наше время огромную значимость приобретают разного рода системы, изучение и исследование которых почти невозможно без их моделирования. Моделирование используется в случаях, когда эксперименты с реальными объектами и системами невозможны или требуют несоизмеримых материальных и трудовых затрат. Основным отличием моделирования от других методов изучения систем является возможность оптимизации системы до её реализации. Системное моделирование даёт наглядное представление о структуре системы, помогает провести её многофакторный анализ и принять адекватные управленческие решения без экспериментов с реальной системой.

Целью курсовой работы является изучение методов и принципов моделирования систем и анализ возможности применения методов коррекции точности моделей.

В соответствии с указанной целью необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить теоретические основы и системного моделирования, его принципы, классификацию и методологии,
- 2) проанализировать методы коррекции точности моделей и возможные случаи их использования,
- 2) рассмотреть организационную структуру предприятия,
- 4) провести анализ и ранжирование целей предприятия,
- 5) разработать сетевую модель процесса внедрения нового программного обеспечения,

б) провести расчеты и предложить модель для оптимизации критической продолжительности проекта.

Объектом исследования является ООО «ТВК-Р».

Предметом исследования является деятельность ООО «ТВК-Р».

В качестве информационной базы исследования были использованы труды отечественных учёных по данной теме. Также для выполнения поставленных задач была применена информация, предоставленная ООО «ТВК-Р».

Теоретической базой послужили научные исследования отечественных учёных и практиков в области системного анализа и системного моделирования.

Методологическая база исследования включает в себя методы системного анализа, методы функционально-структурного анализа, методы системного моделирования, методы коррекции точности моделей, систематизацию и классификацию данных.

Структура работы определена характером исследуемых в ней задач. Курсовая работа содержит введение, два раздела, семь подразделов, заключение и список использованных источников.

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель и задачи, определены предмет и объект данной работы.

В первой главе рассмотрены теоретические основы системного моделирования, его принципы и методология, а также изучены методы коррекции точности моделей и проведен анализ ситуаций, в которых их использование является необходимым.

Во второй главе проведён системный анализ деятельности ООО «ТВК-Р», рассмотрена организационная структура, проведён анализ и ранжирование дерева целей, разработана сетевая модель процесса внедрения ПО методом PERT и проведён её анализ, предложены рекомендации по оптимизации.

В заключении сформулирован вывод по проделанной работе, проведен анализ полученных результатов.

1 Теоретические основы моделирования систем

1.1 Основные принципы построения моделей системы

Модель – это вещественный, формализованный или мысленно-представляемый аналог определенного оригинала, подобный ему в существенных для конкретного исследования чертах и характеристиках. Когда говорят о моделировании, то оперируют тремя основными понятиями:

1) объект – тот реальный предмет, процесс, который необходимо изучить или описать;

2) система – объект, процесс, в котором участвующие элементы связаны некоторыми отношениями;

3) модель – собственно результат отображения исследуемого объекта, системы в известных для нас компонентах и правилах.

Когда модель полностью дублирует объект, то она ему изоморфна. Абстрактные модели, как и большинство других моделей, являются гомоморфными по отношению к объекту [7, 15].

Моделирование – это исследование каких-либо явлений, процессов или систем путём построения и изучения их моделей, использование их для уточнения или определения характеристик и рационализации способов построения новых объектов. Построение моделей основывается на принципах системного подхода, при этом ключевыми являются принципы целостности и обратной связи, роль которых в процессе моделирования является особенно важной.

С помощью модели можно проводить исследования, которые помогают предсказать результат, который будет получен на основе экспериментов с реальной системой. Моделирование системы даёт возможность обзора объекта со всех сторон и проведения его многофакторного анализа [12].

Моделирование базируется на нескольких основополагающих принципах:

– принцип информационной достаточности (для построения адекватной модели системы необходим некоторый достаточный уровень информации о ней),

– принцип целесообразности (модель создается для достижения определенных целей, выделяемых на начальном этапе формулировки проблемы моделирования),

– принцип осуществимости (создаваемая модель должна обеспечивать достижение поставленной цели исследования и за конечное время; обычно задают некоторое пороговое значение P_0 вероятности достижения цели моделирования $P(t)$),

– принцип множественности моделей (создаваемая модель должна первостепенно отражать те свойства реальной системы/объекта, которые интересуют исследователя, соответственно, для более полного рассмотрения системы необходим ряд моделей, позволяющий с разных сторон и с разной степенью детализации изучить исследуемый объект),

– принцип точности (выражается в соразмерности исходных данных и точностью в отображении объекта моделирования),

– принцип агрегирования (сложную систему можно представить состоящей из подсистем, называемых агрегатами, для более детального построения модели),

– принцип параметризации (модель строится в виде известной системы, параметры которой не известны),

– принцип открытости модели (возможность сопряжения построенной модели с другими моделями, которая достигается включением в модель параметров, описывающих окружающую среду объекта моделирования),

– принцип наглядности (возможность отобразить объект моделирования не только точно, но и максимально просто и понятно для наблюдателя) [4].

Соблюдение основополагающих принципов моделирования является важнейшим условием построения модели и проектирования ее свойств, что позволяет не только адекватно отобразить исследуемый объект, но и

сформировать при помощи модели условия его существования и развития, прогнозируя динамику этого объекта.

1.2 Классификация видов и методологий моделирования

В качестве одного из первых признаков классификации видов моделирования можно выбрать степень полноты модели и в соответствии с этим разделить их на полные, неполные и приближенные. В основе полного моделирования лежит полное подобие, которое проявляется как во времени, так и в пространстве. Для неполного моделирования характерно неполное подобие изучаемому объекту. В основе же приближенного моделирования лежит приближенное подобие, при котором некоторые стороны функционирования реального объекта не моделируются совсем.

В зависимости от характера изучаемых процессов в системе все виды моделирования можно разделить на:

- 1) детерминированное моделирование (отображает процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий),
- 2) стохастическое моделирование (отображает вероятностные процессы и события),
- 3) статистическое моделирование (описание поведения объекта в какой-либо определенный момент времени),
- 4) динамическое моделирование (отражает поведение объекта во времени),
- 5) дискретное моделирование (описание дискретных процессов),
- 6) дискретно-непрерывное моделирование (выделение наличия как дискретных, так и непрерывных процессов).

В зависимости от формы представления объекта можно выделить мысленное и реальное моделирование [2]. Мысленное моделирование часто является единственным методом моделирования объектов, которые либо

практически не реализуемы в заданном интервале времени, либо существуют вне условий, определяющих возможность их физического создания.

В реальном моделировании используется возможность для изучения характеристик как реального объекта в целом, так и его частей. Такие исследования проводятся как на объектах, работающих в нормальных условиях, так и при организации специальных режимов оценки характеристик, представляющих интерес для исследователя (с другими значениями переменных и параметров, в другом масштабе времени и т. д.). Реальное моделирование является наиболее адекватным, но его возможности ограничены, так как не всегда есть возможность построить реальную модель системы, и очень часто это требует огромных затрат времени и денег.

Обобщенная схема классификации видов моделирования представлена на рисунке 1.

Методология системного анализа служит концептуальной основой для системно-ориентированной декомпозиции предметной области. В этом случае начальными компонентами концептуализации являются системы и взаимосвязи между ними [4]. Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести её вербальное описание в формальное.

Для решения проблемы перевода вербального описания или проблемной ситуации в формальное отображение в различных областях деятельности стали развиваться специальные приемы и методы. Так возникли методы «мозговой атаки», «сценариев», экспертных оценок, «дерева целей» и т. п. В свою очередь развитие математики шло по пути трудно формализуемых задач. Всё чаще в моделировании стали использоваться теория множеств, математическая логика, теория графов и теория вероятности. Таким образом, между неформальным, образным мышлением человека и формальными моделями классической математики сложился «спектр» методов, которые помогают получать и формализовать вербальное описание проблемной ситуации, с одной стороны, и интерпретировать формальные модели, связывать их с действительностью, с другой [6].



Рисунок 1 – Классификация моделирования систем

Этот «спектр» разделяют пополам там, где графические методы смыкаются с методами структуризации, т. е. разделяют методы моделирования систем на две большие группы: методы формализованного представления систем и методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов. Системный аналитик должен понимать, что любая классификация является произвольной. Она всего лишь инструмент, помогающий ориентироваться в огромном количестве разнообразных методов и моделей, поэтому необходимо разрабатывать классификацию с учётом конкретных условий и особенностей моделируемых систем. Полная схема классификации методологий системного моделирования представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Классификация методологий систем [7]

Наибольшее распространение среди методов системного моделирования получили:

- имитационное динамическое моделирование,
- ситуационное моделирование,
- математическое моделирование,
- объектно-ориентированные подходы,
- структурно-лингвистическое моделирование.

Метод имитационного динамического моделирования использует удобный для человека структурный язык, который помогает выразить реальные взаимоотношения, отображающие замкнутые контуры управления в системе, и аналитические представления, которые позволяют реализовать формальное исследование полученных моделей на компьютере. Построенную с помощью этого метода модель можно запустить во времени, как для одного испытания, так и для их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов, а по этим данным можно получить устойчивую статистику.

Метод ситуационного моделирования базируется на отображении в памяти компьютера и анализе проблемных ситуаций с применением специализированного языка, разрабатываемого с помощью выразительных средств теории множеств и математической логики [12].

Метод математического моделирования предполагает описание исследуемых явлений, процессов и систем различной физической природы на языке математических формул и соотношений.

Объектно-ориентированные подходы моделирования, в свою очередь, существенно отличаются от структурных подходов. Объекты представляют собой устойчивые и повторно используемые компоненты. Объектно-ориентированные подходы направлены на максимизацию повторного использования объектов инженерами при разработке системных требований и системных спецификаций. Объектно-ориентированные подходы описывают поведение объектов и их взаимодействие между собой. Каждый объект характеризуется строго определенным набором атрибутов и методов. Текущие значения атрибутов определяют состояние объекта. Набор методов и их алгоритмическая реализация определяет поведение объекта [13].

Метод структурно-лингвистического моделирования основан на использовании идей комбинаторики структурных представлений разного рода и, одновременно с этим, средств математической лингвистики.

1.3 Методы коррекции точности моделей

Применение методов математического моделирования может приводить к возникновению погрешностей в модели. Это может происходить по нескольким причинам:

- погрешность исходных данных (неустранимый вид погрешности),
- погрешность выбранного численного метода,
- погрешность расчетов (погрешность установок, ЭВМ),

– погрешность математического описания (приближенность уравнений, приближенность данных),

– погрешность обработки результатов (округление, графическое изображение).

Погрешность выбранного численного метода (погрешность аппроксимации) может быть связана, например, с заменой интеграла суммой, усечением рядов при вычислении функций, интерполированием табличных значений функциональных зависимостей, дискретизацией по уровню и времени и т. п. Как правило, погрешность численного метода регулируема и может быть уменьшена до любого разумного значения путем изменения некоторых параметров в алгоритме численного метода [14].

Вычислительная погрешность расчетов и обработки результатов может присутствовать из-за округления чисел, промежуточных и окончательных результатов счета. Она зависит от правил и необходимости округления, а также от алгоритмов численного решения.

Погрешность математического описания может появляться из-за стремления обеспечить достаточную простоту ее технической реализации и доступности исследования, т. е. по причине применения некоторой системы допущений. Допущения – это те факторы, которые существенны для достижения цели проекта, но которые опускаются для упрощения создания модели и снижения нагрузки на аппаратную часть. Также необходимо осознавать, что конкретная математическая модель, достаточно эффективно работающая в одних условиях, может быть неприменима в других. С точки зрения исследователя важным является правильная оценка области применения математической модели.

Для построения алгоритма проверки точности и адекватности полученной модели также необходимо учитывать особенности модели, которые могут повлиять на возникновение погрешностей: соответствие математического описания условий вычислительного и реального экспериментов, возможную неоднозначность решения, ограниченность

допустимого диапазона изменения параметров системы (например, вследствие ограниченной моделируемой области функционирования объекта), полноту информации о моделируемой системе [8].

Точность математической модели характеризуется степенью отклонения результатов модели от реального значения моделированных переменных. Для показателя представленного рядом значений точность определяется как разность между значением фактического уровня ряда и его оценкой, полученной расчётным путём с использованием иных моделей. При математическом моделировании необходимо заранее задавать приемлемый уровень погрешности полученных результатов. В качестве такой характеристики могут применяться наибольшее по модулю значение рассогласования ($\Delta = v_{\text{модели}} - v_{\text{оригинала}}$), среднее значение рассогласования или различные статистические оценки, такие как доверительный интервал для математического ожидания рассогласования, диапазон практически наблюдаемых значений рассогласования, некоторые виды интегральных оценок.

В процессе построения математической модели при недостаточной степени ее адекватности, точности или в условиях недостаточной информации об оригинале возникает необходимость уточнения модели. Эта процедура называется идентификация – задача определения недостающих или неточно известных параметров и функциональных соотношений модели с помощью результатов вычислительного эксперимента и данных о реальном поведении объекта. Данная задача относится к классу обратных задач. Для решения задачи идентификации приходится проводить большое количество расчетов, представляющих собой контрольный вычислительный эксперимент по поэтапному подбору и коррекции математической модели. Таким образом, задача идентификации решается с помощью метода последовательных приближений. При обработке результатов такого вычислительного эксперимента используются различные статистические методы: метод наименьших квадратов, метод моментов, метод наибольшего правдоподобия,

метод проб и ошибок, метод проверки гипотез, метод последовательного перебора [22].

При этом в качестве статистических показателей точности применяют:

1) среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2} \quad (1)$$

где y_i – фактическое значение ряда,

\tilde{y}_i – теоретическое значение ряда,

n – количество наблюдений,

p – количество независимых параметров;

2) средняя относительная ошибка аппроксимации:

$$\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} \right| \quad (2)$$

3) коэффициент сходимости:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

где \bar{y} – среднее значение ряда;

4) коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \varphi^2 \quad (4)$$

Известные методы коррекции точности моделей могут быть разделены на две категории: стохастические и детерминированные [15]. В основе стохастических методов лежит представление о том, что экспериментальные данные являются случайными и содержат неизбежные ошибки измерения, обусловленные как объективными факторами (показатели внешней среды, погрешности оборудования и др.), так и субъективными факторами (опыт проведения подобных экспериментов и др.). В зависимости от типов ошибок измерения также существуют иные методы коррекции точности:

- методы симуляции Монте-Карло,
- методы пертурбаций,
- методы случайных поверхностей отклика,
- Байесовские методы [6].

На практике стохастические методы оказываются значительно более трудоёмкими и вычислительно затратными, чем детерминированные методы. Детерминированные методы коррекции точности моделей чаще всего сводятся к итерационной процедуре коррекции параметров модели. Среди итерационных методов наиболее часто используемым является подход, основанный на создании матрицы чувствительности. В основе этого метода лежит минимизация целевой функции, которая рассчитывается как сумма квадратов разностей между измеренными в ходе эксперимента данными и соответствующими данными, полученными с помощью построенной модели. Удобство данного подхода состоит в том, что в целевой функции могут использоваться разнородные параметры, а для того, чтобы уравновесить вклад этих данных в результирующую функцию, вводят весовые коэффициенты, определяемые с помощью метода анализа иерархий.

Нередко применение методов коррекции приводит к тому, то результирующая система уравнений является плохо обусловленной (плохо обусловленные системы имеют единственное решение, но на практике искать это решение чаще всего не имеет смысла) [18].

2 Системный анализ предприятия ООО «ТВК-Р» (сеть супермаркетов «Табрис»)

2.1 Организационная структура компании

Объектом данного исследования является ООО «ТВК-Р» – управляющая компания сети супермаркетов «Табрис».

«Табрис» – российская сеть супермаркетов розничной торговли с головным офисом в Краснодаре. «Табрис» занимает на рынке Краснодарского края нишу товаров премиум-класса (middle+). Розничная сеть «Табрис» предлагает потребителям качественные товары повседневного спроса, а также элитарную продукцию. В торговой сети представлено свыше 17 тысяч наименований товаров, сеть имеет 16 супермаркетов в городах Краснодар, Сочи, Новороссийск, Анапа и Геленджик. В штате компании около 1,8 тыс. человек, в каждом магазине в среднем – 110 сотрудников.

Успешная деятельность организации во многом зависит от организационной структуры компании, представленной на рисунке 3, которая помогает обеспечить эффективное продвижение к поставленной предприятием цели.

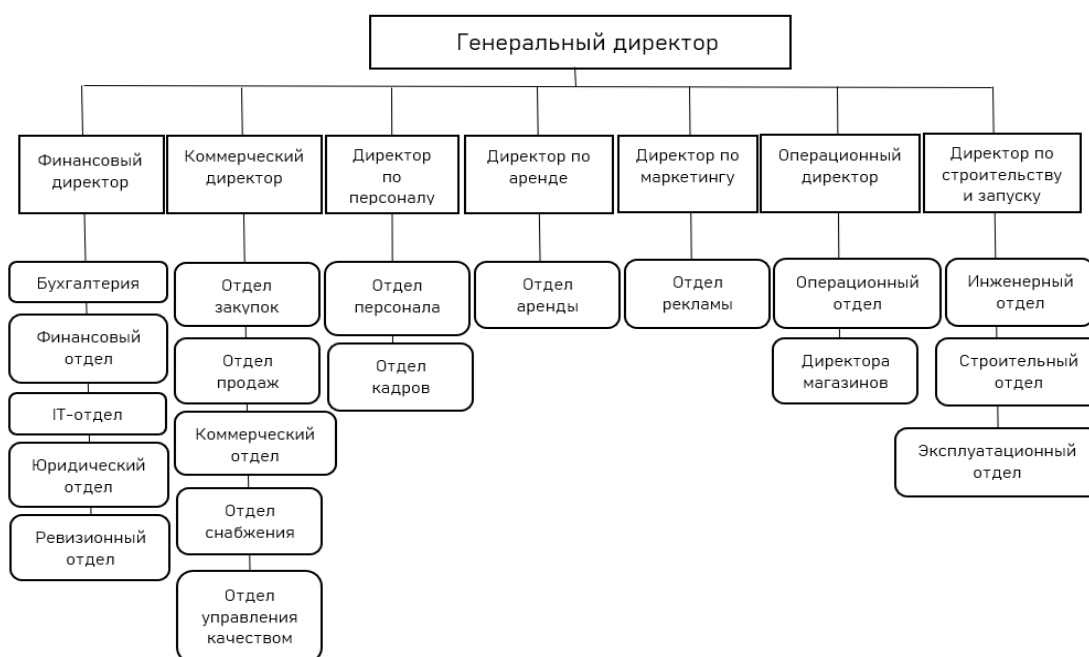


Рисунок 3 – Организационная структура компании

Организация имеет линейно-функциональную структуру. В данной структуре выделяются три уровня управления: высший (генеральный директор), средний (директора отделов) и низший (сотрудники функциональных подразделений и непосредственные исполнители). В организации применяется процессный подход к управлению, наблюдаются достаточно крепкие горизонтальные связи между подразделениями.

Генеральный директор осуществляет управление компанией ООО «ТВК-Р». Он назначается на должность учредителем на контрактной основе, при этом стаж работы по специальности в этой компании не менее 5 лет. В его должностные обязанности входит: руководство финансово-экономической и производственно-хозяйственной деятельностью компании, организация работы и эффективного взаимодействия всех структурных подразделений компании, организация и контроль выполнения сотрудниками компании должностных обязанностей. Генеральному директору подчиняются директор по аренде, директор по персоналу, финансовый директор, коммерческий директор, директор по маркетингу, операционный директор, директор по строительству и запуску, которые составляют управленческое звено.

Директор по аренде нанимается на работу и принимается на должность генеральным директором. Осуществляет работу с арендаторами и администрацией, ведет крупные сделки, контролирует и помогает в проведении сделок сотрудников отдела, анализирует цены и арендные ставки. Ему подчиняется отдел аренды.

Директор по персоналу организует управление формированием, использованием и развитием персонала, формирует кадровую политику и определяет основные направления и меры её реализации. Ему подчиняются отдел персонала и отдел кадров.

В должностные обязанности финансового директора входит: оптимизация денежного оборота, обеспечение эффективного использования вложенного капитала, максимизация прибыли при допустимом уровне риска,

обеспечение экономической стабильности компании. Ему подчиняются бухгалтерия, финансовый отдел, IT отдел, юридический отдел и ревизионный отдел.

Коммерческий директор организует руководство материально-техническим снабжением предприятия, деятельностью по хранению, транспортировке и сбыту продукции, осуществляет контроль за финансовыми и экономическими показателями деятельности предприятия, расходом финансовых средств. Ему подчиняются отдел закупок, отдел продаж, коммерческий отдел и отдел снабжения [9].

В обязанности директора по маркетингу входит: разработка и реализация маркетинговой стратегии, анализ рынка и каналов сбыта, руководство рекламными кампаниями и программами продвижения товаров, PR, планирование и проведение маркетинговых кампаний фирмы. Ему подчиняется отдел рекламы.

Операционный директор осуществляет управление производственными процессами, контролирует поступление ресурсов для производства, контролирует выполнение обязательств перед заказчиками. Ему подчиняются операционный отдел и директора магазинов.

В обязанности директора по строительству и запуску входит: разработка оптимального плана реализации проекта, организация строительства, рациональное капиталовложение и контроль за строительными работами. Ему подчиняются инженерный отдел, строительный отдел и эксплуатационный отдел.

В совокупности качественная работа каждого из отделов приводит к эффективному продвижению предприятия к своей цели – максимизации прибыли.

2.2 Анализ дерева целей предприятия

Выполним ранжирование дерева целей ООО «ТВК-Р».

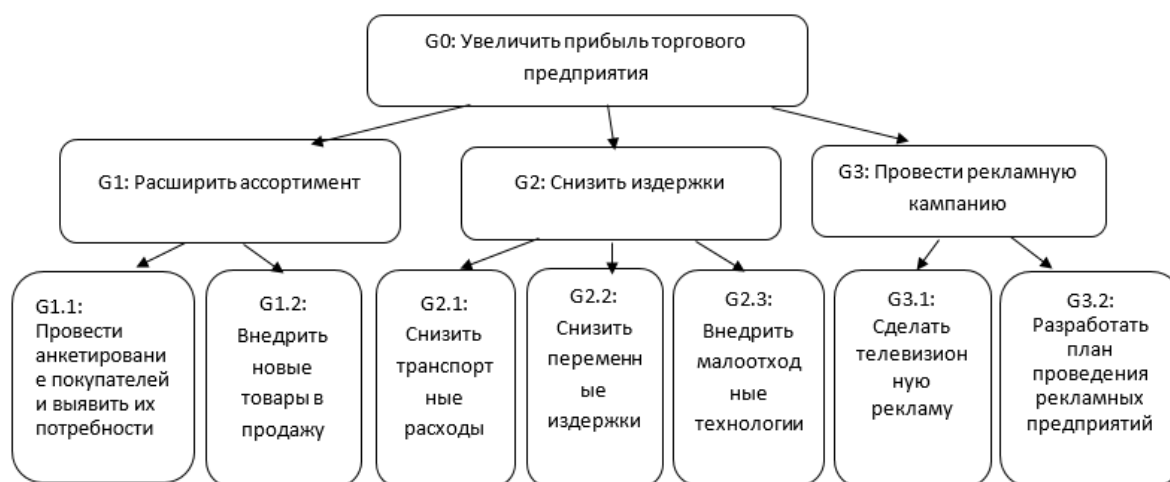


Рисунок 4 – Дерево целей организации

Данное дерево целей позволяет провести анализ иерархически распределенных и взаимосвязанных целей системы. Главной целью функционирования предприятия является увеличение прибыли и обеспечение высокого дохода от деятельности компании. Для достижения главной цели необходимо выполнить три основные задачи:

- 1) расширить ассортимент,
- 2) снизить издержки,
- 3) провести рекламную кампанию.

Для каждой основной задачи выделяются несколько подзадач, выполнение которых приведет к достижению главной цели.

Для того, чтобы расширить ассортимент, необходимо:

- провести анкетирование покупателей для выявления их потребностей,
- внедрить новые товары в продажу.

Для того, чтобы снизить издержки, необходимо:

- снизить транспортные расходы,
- снизить переменные издержки,
- внедрить малоотходные технологии.

Для того, чтобы провести рекламную кампанию, необходимо:

- сделать телевизионную рекламу,
- разработать план проведения рекламных мероприятий.

Таким образом, мы выделили множество основных подцелей и задач, которые необходимо выполнить для достижения главной цели – увеличения прибыли от деятельности предприятия.

Шести экспертам было предложено провести ранжирование подцелей с точки зрения их важности для достижения главной цели $L_{i,j} = \{1 - \text{высокая оценка, } 2 - \text{средняя оценка, } 3 - \text{низкая оценка}\}$. Результаты опроса сводятся в матрицу экспертных оценок. Проведем необходимые расчеты для подцелей первого уровня.

Таблица 1 – Матрица экспертных оценок для подцелей первого уровня

Эксперты	Ранги экспертов для подцелей		
	G1: расширить ассортимент	G2: снизить издержки	G3: провести рекламную кампанию
1	3	1	2
2	3	2	1
3	2	1	3
4	3	1	2
5	3	1	2
6	2	1	3

Далее рассчитаем коэффициент конкордации.

Таблица 2 – Расчет коэффициента конкордации

Эксперты	Ранги экспертов для подцелей			Контрольная сумма	Коэффициент конкордации
	G1: расширить ассортимент	G2: снизить издержки	G3: провести рекламную кампанию		
1	3	1	2	6	-
2	3	2	1	6	-
3	2	1	3	6	-
4	3	1	2	6	-
5	3	1	2	6	-
6	2	1	3	6	-
Сумма рангов	16	7	13	36	-
d	4	-5	1	0	-
d^2	16	25	1	42	0,583

Получили коэффициент конкордации $W = 0,583$, что свидетельствует о среднем уровне согласованности экспертов.

Далее минимизируем все оценки путём нахождения максимального элемента и вычитания из него всех остальных оценок по данному критерию.

Таблица 3 – Расчет коэффициента относительной важности (КОВ) для подцелей первого уровня

Эксперты	Преобразованные ранги экспертов для подцелей			Контрольная сумма
	G1: расширить ассортимент	G2: снизить издержки	G3: провести рекламную кампанию	
1	0	2	1	3
2	0	1	2	3
3	1	2	0	3
4	0	2	1	3
5	0	2	1	3
6	1	2	0	3
Сумма рангов	2	11	5	18
КОВ	0,111	0,611	0,278	1

Далее аналогичным образом были проведены расчёты для подцелей второго уровня. Полученный коэффициент конкордации для целей G1.1, G1.2 $W = 0,694$, что свидетельствует о высокой согласованности экспертов.

Далее рассчитаем коэффициент относительной важности и нормированный КОВ для каждой из данных подцелей.

Таблица 4 – Матрица преобразованных рангов с вычислением КОВ для подцелей G1.1, G1.2

Эксперты	Преобразованные ранги экспертов для подцелей		Контрольная сумма
	G1.1: провести анкетирование покупателей и выявить их предпочтения	G1.2: внедрить новые товары в продажу	
1	1	2	3
2	0	2	2
3	0	1	1
4	2	1	3
5	0	1	1
6	1	2	3
Сумма рангов	4	9	13
КОВ	0,308	0,692	1

Нормированный КОВ	0,034	0,077	-
-------------------	-------	-------	---

Для подцелей второго уровня G2.1, G2.2, G2.3 коэффициент конкордации $W = 0,527$, что свидетельствует о средней согласованности экспертов.

Далее рассчитаем коэффициент относительной важности и нормированный КОВ для каждой из данных подцелей [20].

Таблица 5 – Матрица преобразованных рангов с вычислением КОВ для подцелей G2.1, G2.2, G2.3

Эксперты	Преобразованные ранги экспертов для подцелей			Контрольная сумма
	G2.1: снизить транспортные расходы	G2.2: снизить переменные издержки	G2.3: внедрить малоотходные технологии	
1	1	2	0	3
2	2	1	0	3
3	0	2	1	3
4	1	2	0	3
5	0	2	1	3
6	0	2	1	3
Сумма рангов	4	11	3	18
УОВ	0,222	0,611	0,167	1
Нормированный КОВ	0,136	0,373	0,102	-

Для подцелей второго уровня G3.1, G3.2 коэффициент конкордации $W = 0,444$, что свидетельствует о средней согласованности экспертов.

Далее рассчитаем коэффициент относительной важности и нормированный КОВ для каждой из данных подцелей.

Таблица 6 – Матрица преобразованных рангов с вычислением КОВ для подцелей G3.1, G3.2

Эксперты	Преобразованные ранги экспертов для подцелей		Контрольная сумма
	G3.1: сделать телевизионную рекламу	G3.2: разработать план проведения рекламных мероприятий	
1	2	1	3
2	0	1	1
3	1	2	3
4	0	1	1
5	1	2	3

б	0	1	1
Сумма рангов	4	8	12
КОВ	0,333	0,667	1
Нормированный КОВ	0,093	0,185	-

Построим гистограмму распределения КОВ по подцелям, что поможет выявить наиболее важные задачи для достижения главной цели.

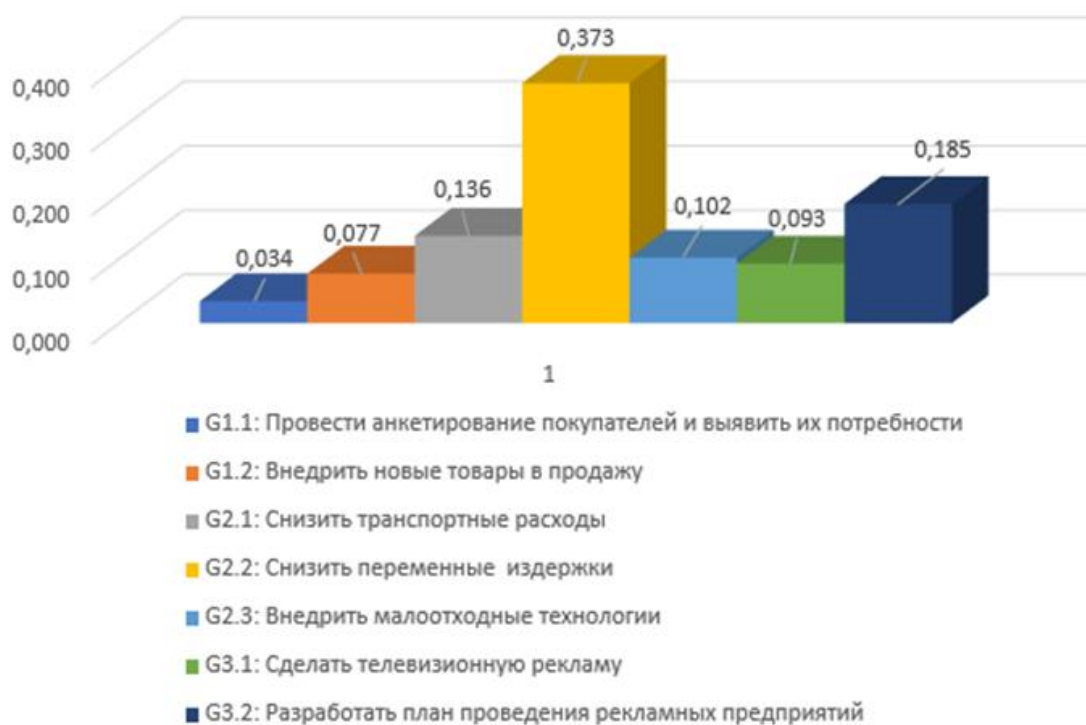


Рисунок 5 – Гистограмма распределения коэффициента относительной важности по подцелям

Далее построим дерево целей компании с учётом коэффициента относительной важности (КОВ).



Рисунок 6 – Дерево целей ООО «ТВК-Р» с учетом КОВ

Таким образом, можно сделать вывод, что самыми важными для достижения главной цели по мнению экспертов являются:

- 1) G2.2 Снизить переменные издержки (КОВ=0,373),
- 2) G3.2 Разработать план проведения рекламных мероприятий (КОВ=0,185),
- 3) G2.1 Снизить транспортные расходы (КОВ=0,136).

2.3 Сетевое моделирование процесса внедрения нового программного обеспечения

Постановка задачи сетевого моделирования: требуется увеличить эффективность деятельности компании ООО «ТВК-Р» путем внедрения нового программного обеспечения, которое поможет выполнять большее количество функциональных задач и упростит работу в системе для сотрудников.

Внедрение программного обеспечения – это процесс настройки программного обеспечения для определенных условий использования, а также обучение пользователей работе с программным продуктом.

Внедрение нового ПО позволит оптимизировать управление различными процессами, позволит снизить валовые затраты, увеличит

прибыльность от деятельности предприятия. Выбор оптимального набора программного обеспечения основывается на комплексном анализе учета рабочих процессов, действующих на предприятии. Чтобы достичь минимального порогового значения для стоимости внедрения, предлагается использовать узкоспециализированные пакеты автоматизации отрасли.

Разработаем сетевую модель с помощью вероятностного метода сетевого планирования PERT (Program Evaluation and Review Technique) [10].

Составим технологическую таблицу процесса внедрения нового программного обеспечения на предприятии. Среди сотрудников, ответственных за этот процесс, был проведён опрос, и выявлены оптимистическая и пессимистическая продолжительности каждой из работ, включенных в проект внедрения ПО. Далее была рассчитана средневзвешенная ожидаемая продолжительность для двухпараметрической модели по формуле:

$$t_{\text{ожид}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} \quad (5)$$

где t_{min} – оптимистическая продолжительность;

t_{max} – пессимистическая продолжительность.

Многочисленные исследования сетевого планирования отмечают наличие асимметрии в оценке ожидаемого времени выполнения работ, т. е. имеется его смещение при математической оценке, для оценки этого смещения рассчитаем дисперсию (σ^2) и среднеквадратичное отклонение (риск σ) для двухпараметрической модели:

$$\sigma^2 = \frac{(t_{\text{max}} - t_{\text{min}})^2}{5} \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (7)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технологическая таблица процесса внедрения нового программного обеспечения (двухпараметрическая)

Наименование работы	Предшествующие работы	Оптимистичная продолжительность (t_{min})	Пессимистичная продолжительность (t_{max})	Ожидаемая продолжительность ($t_{ожд}$)	Дисперсия (σ^2)	Риск (σ)
1. Обследование и диагностика всех бизнес-процессов, которые будут входить в состав будущей системы	—	14	19	16,0	5,00	2,24
2. Выполнение требований к техническим средствам	—	3	6	4,2	1,80	1,34
3. Разработка технического задания	1	9	14	11,0	5,00	2,24
4. Составление контракта на производство работ	2,3	1	1	1,0	0,00	0,00

Продолжение таблицы 7

Наименование работы	Предшествующие работы	Оптимистичная продолжительность (t_{min})	Пессимистичная продолжительность (t_{max})	Ожидаемая продолжительность ($t_{ожд}$)	Дисперсия (σ^2)	Риск (σ)
5. Создание группы по внедрению ПО	4	2	4	2,8	0,80	0,89
6. Установка и подготовка общесистемного ПО сервера	3	1	3	1,8	0,80	0,89
7. Создание таблиц баз данных, загрузка информации и интеграция	3	9	15	11,4	7,20	2,68
8. Настройка алгоритмов расчёта, отчётных форм и форм ввода	5,6	4	7	5,2	1,80	1,34
9. Ввод пользователей системы и права доступа	5,6	3	8	5,0	5,00	2,24

10. Тестирование программного продукта	6,7	7	7	7,0	0,00	0,00
11. Проверка алгоритмов расчёта и исправление ошибок	6,8,10	1	6	3,0	5,00	2,24
12. Проверка работоспособности всей системы	9,11	3	5	3,8	0,80	0,89
13. Тестирование функционирования комплекса программного обеспечения	12	5	8	6,2	1,80	1,34
14. Окончательная настройка по результатам тестирования	13	2	7	4,0	5,00	2,24
15. Тестовая эксплуатация программного продукта	13	3	3	3,0	0,00	0,00
16. Проверка соответствия требованиям к системе	14,15	1	3	1,8	0,80	0,89
Продолжение таблицы 7						
результатам тестирования	14,15	10	10	12,4	1,20	2,08

Продолжение таблицы 7

Наименование работы	Предшествующие работы	Оптимистичная продолжительность (t_{min})	Пессимистичная продолжительность (t_{max})	Ожидаемая продолжительность ($t_{ожд}$)	Дисперсия (σ^2)	Риск (σ)
18. Обучение специалистов работе с новым ПО	17	21	28	23,8	9,80	3,13
19. Полное внедрение и начало эксплуатации нового ПО	16,18	14	21	16,8	9,80	3,13

Результатом комплексного внедрения нового ПО является качественная и скоординированная работа всех сервисов предприятия, возможность

быстрого получения аналитических и бухгалтерских данных, сокращения дублирующейся информации и высвобождения кадровых ресурсов за счет автоматизации рутинной работы.

Анализ сетевого графика производится с целью сокращения критического пути, затрат ресурсов и уменьшения лишних резервов времени. Анализ также позволяет оценить целесообразность структуры сетевого графика, определить степень сложности выполнения каждой работы, вероятность наступления событий в заданный (директивный) срок и загрузку исполнителей работ на всех этапах выполнения проекта [11].

Далее выполним необходимые расчеты для определения критического пути данного проекта.

Построим сетевой график процесса внедрения нового ПО секторным методом «Работа-дуга»

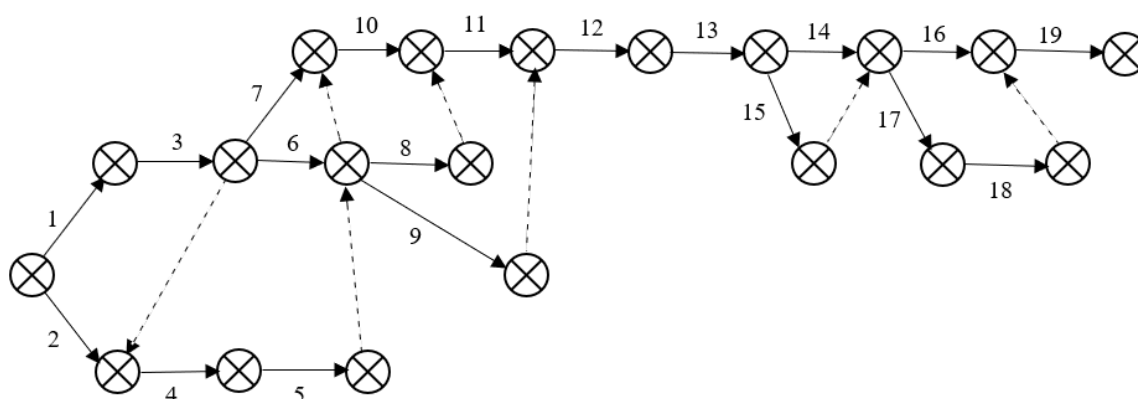


Рисунок 7 – Сетевой график работ

Выполним расчет полного резерва событий табличным способом в Excel.

Таблица 8 – Расчёт резерва времени

Номер события	Сроки свершения событий: ранний $t_p(i)$	Сроки свершения событий: поздний $t_p(i)$	Резерв времени R_i
1	0	0	0
2	16	16	0
3	27	27	0
4	27	27	0
5	28	28	0

6	29	31	2
7	31	31	0
8	38	38	0
9	45	45	0
10	36	45	9
11	36	48	12
12	48	48	0
13	52	52	0
14	58	58	0
15	61	62	1
16	62	62	0
17	64	98	34
18	74	74	0
19	98	98	0
20	115	115	0

Проанализировав таблицу 8, получили критический путь 1–3–7–10–11–12–13–14–17–18–19, продолжительность критического пути (директивный срок) складывается из соответственных продолжительностей работ критического пути: $16 + 11 + 11 + 7 + 3 + 4 + 6 + 4 + 12 + 24 + 17 = 115$, то есть $T_{\text{дир}} = 115$ дней.

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение критического пути:

$$\sigma_{\text{кр}} = \sqrt{5 + 5 + 7,2 + 0 + 5 + 0,8 + 1,8 + 5 + 7,2 + 9,8 + 9,8} = \sqrt{56,6} \\ = 7,523$$

Рассчитаем критический срок выполнения проекта, учитывая ожидаемое время выполнения каждой работы. Он будет равен сумме ожидаемого времени на критическом пути и составит $T_{\text{кр}} = 16 + 11 + 11,4 + 7 + 3 + 3,8 + 6,2 + 4 + 12,4 + 23,8 + 16,8 = 115,4$.

Определим вероятность того, что продолжительность проекта не превысит директивный срок и найдём интервал гарантийного времени выполнения проекта. В случае, если дисперсия положительна, вероятность наступления события в заданный (директивный) срок можно определить с помощью функции Лапласа по формуле:

$$P = 0,5 + \Phi\left(\frac{T_{\text{дир}} - T_{\text{кр}}}{\sigma_{\text{кр}}}\right) = 0,5 + \Phi\left(\frac{115 - 115,4}{7,523}\right) = 0,5 + \Phi(-0,053) \\ = 0,5 - 0,0239 = 0,4761$$

$0,35 < 0,4761 < 0,65$, следовательно, разработанная сетевая модель показывает, что выполнение всех работ в заданный директивный срок вполне вероятно.

Интервал гарантийного времени найдем по правилу «трёх сигм»:

$$115,4 - 3 \cdot 7,523 < T_{\text{крит}} < 115,4 + 3 \cdot 7,523$$

$$92,831 < T_{\text{крит}} < 137,969$$

Следовательно, с большой долей вероятности (0,9973) можно утверждать, что критическая продолжительность проекта попадет в найденный диапазон и не превысит ≈ 138 дней.

Далее рассчитаем эту сетевую модель методом 3-х оценок с целью коррекции точности модели [19].

2.4 Анализ полученных результатов и коррекция точности модели

Среди сотрудников, ответственных за процесс внедрения нового ПО, был проведён опрос, и выявлены оптимистическая, наиболее вероятная и пессимистическая продолжительности каждой из работ, включенных в проект внедрения ПО. Далее была рассчитана средневзвешенная ожидаемая продолжительность для трехпараметрической модели по формуле:

$$t_{\text{ожд}} = \frac{t_{\text{min}} + 4t_{\text{нв}} + t_{\text{max}}}{6} \quad (8)$$

Формула дисперсии для трехпараметрической модели имеет вид:

$$\sigma^2 = \frac{(t_{\text{max}} - t_{\text{min}})^2}{6} \quad (9)$$

Данные приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технологическая таблица процесса внедрения нового программного обеспечения (трехпараметрическая)

Наименование работы	Предшествующие работы	Оптимистическая продолжительность (t_{min})	Наиболее вероятная продолжительность ($t_{нв}$)	Пессимистическая продолжительность (t_{max})	Ожидаемая продолжительность ($t_{ожд}$)	Дисперсия (σ^2)	Риск (σ)
1. Обследование и диагностика всех бизнес-процессов, которые будут входить в состав будущей системы	—	14	16	19	16,83	4,17	2,04
2. Выполнение требований к техническим средствам	—	3	4	6	4,17	1,50	1,22
3. Разработка технического задания	1	9	12	14	11,83	4,17	2,04
4. Составление контракта на производство работ	2,3	1	1	1	1,00	0,00	0,00
5. Создание группы по внедрению ПО	4	2	3	4	3,00	0,67	0,82

Продолжение таблицы 9

6. Установка и подготовка общесистемного ПО сервера	3	1	2	3	2,00	0,67	0,82
7. Создание таблиц баз данных, загрузка информации и интеграция	3	9	13	15	12,67	6,00	2,45
8. Настройка алгоритмов расчёта, отчётных форм и форм ввода	5,6	4	6	7	5,83	1,50	1,22
9. Ввод пользователей системы и права доступа	5,6	3	5	8	5,17	4,17	2,04
10. Тестирование программного продукта	6,7	7	7	7	7,00	0,00	0,00
11. Проверка алгоритмов расчёта и исправление ошибок	6,8,10	1	4	6	3,83	4,17	2,04

12. Проверка работоспособности всей системы	9,11	3	4	5	4,00	0,67	0,82
13. Тестирование функционирования комплекса программного обеспечения	12	5	6	8	6,17	1,50	1,22
14. Окончательная настройка по результатам тестирования	13	2	5	7	4,83	4,17	2,04
15. Тестовая эксплуатация программного продукта	13	3	3	3	3,00	0,00	0,00
16. Проверка соответствия требованиям к системе	14,15	1	2	3	2,00	0,67	0,82
17. Окончательная настройка по результатам тестирования	14,15	10	12	16	12,33	6,00	2,45
18. Обучение специалистов работе с новым ПО	17	21	25	28	24,83	8,17	2,86
19. Полное внедрение и начало эксплуатации нового ПО	16,18	14	18	21	17,83	8,17	2,86

Рассчитаем критическую продолжительность проекта в трехпараметрической модели $T_{\text{крит}} = 16,83 + 11,83 + 12,67 + 7 + 3,83 + 4 + 6,17 + 4,83 + 12,33 + 24,83 + 17,83 = 122,15$ дней.

Для нахождения вероятности выполнения проекта в директивный срок, необходимо рассчитать критическое среднеквадратическое отклонение в данной модели:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{кр}} &= \sqrt{4,17 + 4,17 + 6 + 0 + 4,17 + 0,67 + 1,5 + 4,17 + 6 + 8,17 + 8,17} \\ &= \sqrt{47,19} = 6,869 \end{aligned}$$

Теперь найдем соответствующую вероятность и интервал гарантийного времени и оценим смещение в модели без коррекции точности:

$$P = 0,5 + \Phi\left(\frac{T_{\text{дир}} - T_{\text{кр}}}{\sigma_{\text{кр}}}\right) = 0,5 + \Phi\left(\frac{115 - 122,15}{6,869}\right) = 0,5 + \Phi(-1,04) \\ = 0,5 - 0,3508 = 0,1492$$

Полученная вероятность $P < 0,35$, что свидетельствует о малой вероятности выполнить проект в директивный срок [21].

Интервал гарантийного времени по правилу «трёх сигм» будет равным $101,543 < T_{\text{кр}} < 142,757$ дней. Заметим, что максимальный срок завершения проекта значительно увеличился.

Оценим разброс между двумя видами оценок как разность двух дисперсий, умноженных на $\frac{1}{k}$ и сделаем вывод о том, значительно ли усложнение модели в данной задаче или можно воспользоваться более простым вариантом:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \frac{(t_{imax} - t_{imin})^2}{25} - \sum_{i=1}^n \frac{(t_{imax} - t_{imin})^2}{36} \quad (9) \\ \Delta = 13,52 - 12,86 = 0,66 = 66\%$$

Расхождение примерно равно 66%, это существенная величина для практических расчетов. Таким образом, получаем, что разработанная в пункте 2.3 двухпараметрическая сетевая модель в данном случае не продемонстрировала устойчивость и надёжность получаемых результатов. Использование трёхпараметрической модели значительно скорректирует точность моделирования (примерно на 66%) и позволит получить более достоверные результаты, на основе которых можно принимать дальнейшие управленческие решения о сроках проекта внедрения нового ПО в сеть супермаркетов «Табрис».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в ходе написания курсовой работы были изучены принципы и методологии моделирования систем, выявлены преимущества и недостатки каждой методологии, проведён анализ источников возникновения погрешностей в математических моделях и описана система методов, позволяющих скорректировать точность модели и получаемых результатов. Далее было проведено исследование деятельности ООО «ТБК-Р» и разработаны предложения по оптимизации процесса внедрения нового программного обеспечения.

В наше время моделирование является неотъемлемой частью анализа любой системы. Моделирование позволяет получить описание моделируемого объекта, улучшающее и уточняющее его понимание. Также возникают ситуации, когда нет возможности проводить эксперимент над реальной моделью в силу хрупкости/дороговизны/долгого времени проведения эксперимента/невозможности восстановления объекта в случае неудачи.

С помощью модели можно проводить исследования, которые помогают предсказать результат, который будет получен на основе экспериментов с реальной системой. Моделирование системы даёт возможность обзора объекта со всех сторон и проведения его многофакторного анализа. Но при этом чаще всего проявляется относительная сложность построения физической модели и существуют трудности с достоверной экстраполяцией получаемых результатов. Несмотря на всё это, моделирование часто является единственным средством исследования, особенно мало изученных процессов [1].

Планирование работ проекта является важным условием достижения заданных показателей продолжительности проекта и его стоимости. Вместе с тем динамичный характер разработки программного обеспечения и факторов внешней среды, риски возникновения непредвиденных ситуаций и многие другие факторы зачастую приводят к несоответствию плана и фактического

хода работ. Повышение степени адекватности системы планирования проектов реальным рабочим условиям достигается за счет применения вероятностных сетевых методов. Благодаря моделированию и поиску максимального значения продолжительности каждой работы в проекте, можно оценить с вероятностью 0,9973 интервал гарантийного времени, в котором будет находиться критическая продолжительность проекта, и рассчитать вероятность того, что эта продолжительность не превысит директивный срок. Среди моделей выделяют двухпараметрические и трехпараметрические, каждая из которых обеспечивает различную точность и сложность расчетов. В зависимости от полученного сценария компания сможет проанализировать узкие места проекта и предпринять необходимые действия для сохранения нужного темпа выполнения работ и избежания задержек.

В ходе исследования был проведен системный анализ деятельности ООО «ТВК-Р», в процессе которого была изучена организационная структура предприятия, выполнено ранжирование целей организации и построение дерева с учетом КОВ каждой из целей и подцелей, ведущих к выполнению миссии предприятия, а также разработан сетевой график процесса внедрения нового программного обеспечения, который был рассчитан с помощью метода вероятностного планирования PERT (Program Evaluation and Review Technique) для двухпараметрической и трёхпараметрической моделей, и была рассчитана оценка смещения и выбрана модель, дающая более точные и достоверные результаты моделирования, то есть предложен и использован метод коррекции точности полученной модели, на результатах которого можно принимать дальнейшие управленческие решения по данному проекту, пересчитывать бюджет, сроки, вести риск менеджмент и т. д.

Таким образом, можно сделать вывод, что цель курсовой работы достигнута и все поставленные задачи выполнены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Алпатов, Ю.Н. Моделирование процессов и систем управления: Учебное пособие / Ю. Н. Алпатов. – СПб.: Лань, 2018. – 140 с.
- 2) Афонин, В.В. Моделирование систем: учебно-практическое пособие / В.В. Афонин, С.А. Федосин. – М.: Интуит, 2016. – 231 с.
- 3) Белов, П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. часть 1: Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 211 с.
- 4) Бутакова М. М. Экономическое прогнозирование: методы и приемы практических расчетов : учебное пособие / М. М. Бутакова. — 2-е изд., испр. — М.: КНОРУС, 2016 – 168 с.
- 5) Власов, М.П. Моделирование экономических систем и процессов: Учебное пособие / М. П. Власов, П.Д. Шимко. – М.: Инфра-М, 2018. – 320 с.
- 6) Дворецкий, С.И. Моделирование систем: Учебник / С.И. Дворецкий. – М.: Академия, 2019. – 304 с.
- 7) Душкин, А.В. Моделирование систем управления и информационно-технического обеспечения: Учебное пособие для вузов / А.В. Душкин, В. И. Новосельцев, В. И. Сумин. – М.: РиС, 2015. – 192 с.
- 8) Зубарев, Ю.М. Математическое моделирование многоагентных систем конкуренции и кооперации (Теория игр для всех): Учебное пособие / Ю. М. Зубарев, С.В. Косаревский. – СПб.: Лань П, 2016. – 624 с.
- 9) Жирков, А.М. Математическое моделирование систем и процессов: Учебное пособие / А.М. Жирков, Г. М. Подопригора, М.Р. Цуцунава. – СПб.: Лань КПТ, 2016. – 192 с.
- 10) Казанин А.Ю., Кернякевич П.С. Применение метода PERT для оценки временных затрат и экономических результатов при разработке программного продукта / Научные междисциплинарные исследования XV, 2021. – 151 с.
- 11) Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования и их применение / М.: – Прогресс, 2009. – 183 с.

- 12) Морозов, В.К. Моделирование информационных и динамических систем: Учебное пособие / В. К. Морозов. - М.: Академия, 2015. – 304 с.
- 13) Петров, А.В. Моделирование процессов и систем: Учебное пособие / А. В. Петров. – СПб.: Лань, 2015. – 288 с.
- 14) Петрянин Д. Л. Повышение точности моделей аппроксимации / Надёжность и качество сложных систем. – №2 (14), 2016. – 60 с.
- 15) Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями: Учебное пособие / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Лань, 2019. – 112 с.
- 16) Решмин, Б.И. Имитационное моделирование и системы управления / Б.И. Решмин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с.
- 17) Советов, Б.Я. Моделирование систем: Учебник для академического бакалавриата / Б.Я. Советов, С. А. Яковлев. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 343 с.
- 18) Труды ИСА РАН: Системное моделирование. Наукометрия и управление наукой. Распознавание образов / Под ред. С. В. Емельянова. - М.: Ленанд, 2018. – 104 с.
- 19) Труды ИСА РАН: Математические модели социально-экономических процессов. Моделирование характеристик деятельности отраслевых и региональных подсистем. Динамические системы. Математические проблемы динамики неоднородных систем.: Информационные технологии / Под ред. С. В. Емельянова. – М.: Ленанд, 2015. – 112 с.
- 20) Уразова Н. Г. Управление рисками на основе моделирования продолжительности реализации проекта / Вестник Иркутского государственного технического университета. Экономика и бизнес, 2014. – 84 с.
- 21) Чикуров, Н.Г. Моделирование систем и процессов: Учебное пособие / Н.Г. Чикуров. – М.: Риор, 2015. – 312 с.
- 22) Шелухин, О.И. Моделирование информационных систем: Учебное пособие для вузов / О.И. Шелухин. - М.: РиС, 2016. – 536 с.

