

На правах рукописи



ДЯТЧИНА Анастасия Владимировна

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРОЕКТНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ IT-КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ
ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЕЙ И ВРЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ**

Специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Олейникова Светлана Александровна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты **Угольницкий Геннадий Анатольевич**,
доктор физико-математических наук,
профессор, ФГАОУ ВО «Южный
федеральный университет», заведующий
кафедрой прикладной математики и
программирования, г. Ростов-на-Дону

Россихина Лариса Витальевна,
доктор технических наук, доцент, федеральное
государственное казенное образовательное
учреждение высшего образования «Академия
управления Министерства внутренних дел
Российской Федерации», кафедра
информационных технологий, профессор

Ведущая организация **ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет», г. Москва**

Защита состоится «28» ноября 2025 года в 15⁰⁰ часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.2.286.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: г. Воронеж, Московский просп., д. 14, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и на сайте <https://cchgeu.ru/>

Автореферат разослан «10» октября 2025 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Гусев Константин Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время информационные технологии являются неотъемлемой частью любых организационных систем. IT-проекты обеспечивают инфраструктурную и информационную поддержку организаций, способствуют взаимодействию с конечными пользователями и реализуют широкий спектр бизнес-функций. На этом фоне особую актуальность приобретает задача эффективного управления деятельностью IT-компаний как организационных систем. Это комплексная и многоплановая проблема, требующая системного подхода, а также вовлечения команды специалистов, численность и структура которой зависят от масштаба организации. Одним из центральных аспектов управления становится грамотное распределение задач между исполнителями и корректная оценка сроков их выполнения, что, в конечном итоге, позволяет оптимизировать внутренние процессы и повысить финансовую отдачу.

Данная задача частично относится к классам задач управления проектами и задач о назначении. В настоящее время многие проблемы в этих областях достаточно глубоко изучены и получены соответствующие методы. Так, исследованием и развитием методов решения задач в области управления проектами в организационных системах занимались такие ученые, как Новиков Д.А., Бурков В.Н., Гимади Э.Х., Голенко-Гинзбург Д.И. и др. Разработкой методов, позволяющих получить осуществлять управление коллективом организационных систем путем поиска оптимального соответствия между исполнителями и задачами, занимались Г.Кун, Л. Кауфман и др.

Тем не менее, управление организационной деятельностью IT-компаний обладает рядом специфических черт, существенно отличающих их от классических проектных моделей. Во-первых, многие задачи требуют регулярного взаимодействия с заказчиком, что может не только изменить сроки исполнения, но и привести к появлению новых задач. Во-вторых, характерной чертой IT-команд является их неоднородность: сотрудники обладают разным уровнем квалификации, что влияет на скорость, качество и надежность выполнения задач. Кроме того, нестабильность внешних и внутренних факторов делает точное прогнозирование сроков на старте проекта затруднительным. Таким образом, эффективное управление IT-компаниями требует адаптации существующих математических и алгоритмических методов с учетом отраслевой специфики и высокой степени неопределенности.

Целью работы является разработка моделей и алгоритмов управления деятельностью IT-компаний как организационной системы путем определения наилучших сроков для отдельных задач IT-проекта, допускающих возможность их повторного выполнения или коррекции, а также назначения им исполнителей в зависимости от их квалификации.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необхо-

димо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих подходов к управлению процессами проектной деятельности в IT-компании как организационной системы в рамках поиска наилучшего подхода к управлению коллективом исполнителей, распределению задач и планирования проектов.

2. Разработать модель управления проектом в IT-компании как организационной системе, отличающуюся учетом квалификации специалистов, их занятости, типизации задач и обеспечивающей наилучшую организацию деятельности IT-компании путем планирования времени начала каждой из задач проекта и подбора для нее исполнителя.

3. Разработать математическую модель оценки сроков выполнения как отдельных задач, так и всего IT-проекта данной организационной системы, отличающуюся учетом коррекции задач, обеспечивающую повышенную точность по сравнению с аналогами.

4. Разработать алгоритмы организации работ в IT-компании, отличающиеся одновременным решением задач определения сроков и времени начала для каждого из заданий IT-проекта и подбора для них наилучших исполнителей и обеспечивающие возможность повышения качества управления деятельностью IT-компании за счет более рационального использования человеческих ресурсов и более точных оценок времени выполнения как всего проекта, так и его отдельных заданий.

5. Реализовать программное обеспечение системы управления IT-компанией как организационной системой, отличающееся интеграцией систем имитационного моделирования, планирования и управления и базы данных, и обеспечивающего оптимизацию деятельности IT-компании с точки зрения выбора оптимальных сроков решения каждой из задач IT-проекта и подбора наилучшего исполнителя для нее.

6. Провести экспериментальное исследование эффективности разработанных моделей и алгоритмов управления IT-компанией как организационной системой с точки зрения длительности IT-проекта.

Объект исследования: деятельность IT-компании как организационной системы, проекты которой допускают высокую степень неопределенности.

Предмет исследования: математические модели и алгоритмы, оптимизирующие процесс управления деятельностью в IT-компании с особенностями, указанными выше.

Методы исследования. При решении поставленных в диссертации задач использовались методы управления проектами, теории принятия решений, исследования операций, математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики, методы оптимизации, а также методы объектно-ориентированного программирования.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.4. Управление в организационных системах: п.2 «Разработка математических моделей и критериев эффективности, качества и надёжности

организационных систем»; п.3 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах.»; п.4 «Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах».

Научная новизна работы. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Модель управления проектом в IT-компании как организационной системе, отличающаяся учетом квалификации специалистов, их занятости, типизации задач и обеспечивающая наилучшую организацию деятельности IT-компании путем планирования времени начала каждой из задач проекта и подбора для нее исполнителя.

2. Математическая модель оценки сроков выполнения как отдельных задач, так и всего IT-проекта данной организационной системы, отличающаяся учетом коррекции задач, обеспечивающая повышенную точность по сравнению с аналогами.

3. Алгоритмы организации работ в IT-компании, отличающиеся одновременным решением задач определения сроков и времени начала для каждого из заданий IT-проекта и подбора для них наилучших исполнителей и обеспечивающие возможность повышения качества управления деятельностью IT-компании за счет более рационального использования человеческих ресурсов и более точных оценок времени выполнения как всего проекта, так и его отдельных заданий.

4. Структура программного обеспечения системы управления деятельностью IT-компании как организационной системы, отличающаяся комплексной интеграцией подсистем имитационного моделирования, планирования, оптимизации и базы данных, и обеспечивающая автоматизацию процесса управления IT-компанией путем реализации разработанных алгоритмов.

Практическая значимость исследования заключается в разработке программного обеспечения системы управления, ориентированного на решение задачи оптимизации планирования деятельности IT-компании путем назначения отдельным задачам исполнителей с учетом их различной квалификации, а также допущения возможной последующей коррекции плана из-за перераспределения задач в случае выбытия исполнителя или внесения корректировок заказчиком.

Положения, выносимые на защиту

1. Модель управления проектом в IT-компании как организационной системе позволяет обеспечить наилучшую организацию деятельности IT-компании путем планирования времени начала каждой из задач проекта и подбора для нее исполнителя

2. Математическая модель оценки сроков выполнения как отдельных задач, так и всего IT-проекта данной организационной системы обеспечивает повышенную точность по сравнению с аналогами.

3. Алгоритмы организации работ в IT-компании обеспечивают

возможность повышения качества управления деятельностью ИТ-компаний за счет более рационального использования человеческих ресурсов и более точных оценок времени выполнения как всего проекта, так и его отдельных заданий.

4. Структура программного обеспечения системы управления ИТ-компанией как организационной системой обеспечивает автоматизацию процесса управления ИТ-компанией путем реализации разработанных алгоритмов.

Результаты внедрения. Разработанный программный комплекс в составе программного обеспечения, предназначенного для поддержки принятия решений о стимулировании исполнителей и назначении им работ, апробирован в ЗАО «Микрон» (г. Липецк). Разработанные модели и алгоритмы управления проектами внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (дисциплина «Проектная деятельность»).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-практических конференциях: IX Международной научно-практической конференции «Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук» (Тольятти, 2023), XIII Международной молодежной научно-практической конференции «Математическое моделирование процессов и систем» (Стерлитамак, 2023), XVIII международной научно-практической конференции «Антропоцентрические науки в образовании» (Воронеж, 2023), Международной научной конференция «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (Воронеж, 2024), XXI международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии и системы» (Пенза, 2024), международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные системы» (Воронеж, 2025), открытой Международной научно-практической конференции «Управление программным инжинирингом» (Воронеж, 2025), Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения (Тольятти, 2025).

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 18 научных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и получено одно свидетельство о регистрации программы. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, лично автором получены следующие результаты:

[1] – модель управления ИТ-проектом, [4, 8] - математическая модель оценки сроков выполнения отдельных задач ИТ-проекта, [6, 9, 10, 13] математическая модель оценки сроков выполнения как отдельных задач, так и всего ИТ-проекта, [2, 16, 18] - алгоритмы решения задачи организации работ в ИТ-компании, [5, 7, 17] – реализация системы управления деятельностью ИТ-компании путем организации работы исполнителей и планирования ИТ-

проекта, [11, 12, 14, 15] – экспериментальное исследование эффективности разработанных моделей и алгоритмов управления ИТ-компанией как организационной системой, [3] - структура программного обеспечения системы управления деятельностью ИТ-компании как организационной системы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 120 наименований. Основная часть работы изложена на 141 страницах, содержит 38 рисунков, 24 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации и внедрении работы.

В первой главе исследуются особенности деятельности ИТ-компании и основные. Особенности ИТ-проектов являются стохастические показатели отдельных задач и их возможная коррекция. Проанализированы существующие математические модели и методы задачи управления, определены специфические особенности, требующие модификации существующих аналогов и разработки новых решений. Результат анализа и отличительные особенности исследуемых объектов отражены на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Дизайн исследования

В первой главе также сформулирована цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке моделей управления ИТ-проектом, позволяющую учесть квалификацию специалистов, их занятость, а также типизации задач. Задачу можно сформулировать следующим образом. Пусть имеется K групп специалистов, осуществляющих процесс выполнения заданий ИТ-проекта, каждый из которых имеет определенную специализацию и квалификацию. Численность групп составляет $M_1, M_2, \dots, M_K$ исполнителей соответственно. Квалификация специалистов отражается на времени решения задач и качестве получаемых решений. На вход поступает проект, представляющий собой множество взаимно-зависимых задач (пусть, без ограничения общности, их будет N), каждая из которых относится к одному из K типов. Время решения задачи является случайной величиной, однако, каждый специалист характеризуется индивидуальными параметрами данной величины. Известно ориентировочное расписание занятости исполнителей задачами, поступившими ранее. Требуется выполнить соответствие между поступившими задачами и исполнителями с точки зрения целей, предпочтительных для лица, принимающего решение и время начала выполнения каждой задачи.

Математическая модель будет строиться при следующих допущениях:

- случайные величины ξ_{ij} , описывающие длительность выполнения задачи j специалистом i , могут быть оценены наименьшим, наибольшим и наиболее вероятным значениями;
- после окончания выполнения задачи она может потребовать по разным причинам коррекции, которая для специалиста, выполняющего ее, может быть оценена некоторой вероятностью;
- для данного специалиста также можно оценить наименьшее, наибольшее и наиболее вероятное время исправления работы (а также, возможной повторной коррекции);
- специалисты имеют некоторое расписание своей занятости, которое корректируется при назначении им работ и завершения их выполнения и учитывается при решении задач назначения и планирования.

Отметим, что для каждой группы специалистов (для каждого типа задач) можно сформировать модель, которая будет зависеть от других моделей лишь моментами окончания и начала взаимно зависимых задач. Однако, это даст возможность распараллелить алгоритм, что, в свою очередь существенно сократит время, затрачиваемое на решение. Рассмотрим модель для группы k ($k=1, \dots, K$).

Введем следующие обозначения:

M_k – число специалистов в данной группе;

N_k – число задач в проекте у данной группы;

K – число типов задач (и число специализаций исполнителей).

Требуется найти матрицу x , которая определяется формулой:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{исполнитель } j \text{ не выполняет задачу } i; \\ 1, & \text{исполнителю } j \text{ назначена задача } i. \end{cases} \quad (1)$$

Иными словами, требуется каждой задаче поставить в соответствии исполнителя. Кроме того, требуется определить:

- время начала выполнения каждой задачи i $t_{\text{нач}}(i)$;
- оценить сроки выполнения всего проекта.

Добавим классическое ограничение задачи о назначениях, заключающееся в том, чтобы каждая задача решалась лишь одним специалистом:

$$\sum_{j=1}^{M_k} x_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, N_k, \quad (2)$$

Где

$$x_{ij} \in \{0,1\}. \quad (3)$$

Каждый исполнитель j задается следующими характеристиками:

- расписанием задач, запланированных ранее (на предыдущих этапах или для других проектов);
- квалификацией.

Квалификация исполнителей определяется:

- длительностью решения каждой из задач, которая у специалистов разного уровня разная;
- множеством других матричных критериев (например, качеством кода, вероятностью его безошибочного написания и т.д.).

Пусть, без ограничения общности, существует L критериев $Qual_1, \dots, Qual_L$, каждый из которых описывает определенный для ЛПР. Часть из них может быть матричными. Некоторые критерии могут быть более сложными и нелинейными (например, балансировка нагрузки исполнителей), которая определяется формулой:

$$L = \sum_{j=1}^M (L_j - \bar{L})^2, \quad (4)$$

Где $\bar{L}$ – средняя загрузка; L_j – загрузка исполнителя j . Она будет определяться по формуле:

$$L_j = \sum_{i=1}^N x_{ij} \cdot dur_{ij}. \quad (5)$$

Здесь назначенные задачи берутся за какой-либо период.

Необходимо найти наилучшего с точки зрения всех этих критериев специалиста для каждой из задач.

Будем допускать возможную недееспособность исполнителя в определенные моменты. Для этого, а также для учета расписания введем в рассмотрение некоторую функцию:

$$Sch_j(t) = \begin{cases} 0, & \text{если спец. } j \text{ не занят в момент } t; \\ 1, & \text{спец – ту } j \text{ запланирована задача в момент } t; \\ 2, & \text{спец – ту } j \text{ нельзя планир. задачи в момент } t. \end{cases} \quad (6)$$

Далее опишем задачи в проекте. Каждая задача имеет принадлежность к определенному типу задач. Ее длительность зависит от исполнителя. Но, тем не менее, оценим ориентировочное время ее выполнения dur_i . Кроме того, следует знать множество задач $Pred(i)$, которые следует завершить перед началом выполнения задачи i . В процессе планирования и решения следует также знать статус задачи $st(i)$ и ее приоритет $pr(i)$. Таким образом, задачи можно описать так:

$$Task_i = Task_i(cl(i), dur(i), Pred(i), st(i), pr(i), t_{нач}(i)). \quad (7)$$

Опишем также исполнителя как некоторый объект, имеющий принадлежность к некоторому классу и имеющий определенную занятость:

$$Exec_j = Exec_j(cl(j), Sch(j)). \quad (8)$$

Определим ограничение на возможное время начала выполнения задачи i у специалиста j . Это ограничение будет сформировано, исходя из занятости исполнителя j и времени выполнения предшествующих работ для задачи i . Первое ограничение, связанное с занятостью исполнителя, будет иметь вид:

$$est1(i, j) = \min(t^*: Sch_j(t) = 0, t^* \leq t \leq t^* + dlit_{ij}^*) \quad (9)$$

Здесь $dlit_{ij}^*$ – оценка (математическое ожидание) случайной величины, описывающей длительность выполнения задачи i специалистом j . Формула (5) определяет время начала выполнения некоторой работы i специалистом j , исходя из занятости данного специалиста решением других задач: специалист должен быть свободен весь временной интервал, равный длительности выполнения им данной работы. Минимально возможное время начала такого интервала t^* и будет возможным началом выполнения данной работы у данного специалиста.

Ограничение, связанное с взаимной зависимостью задач, будет определяться по формуле:

$$est2(i, j) = \max_{l \in Pred(i)} (t_{нач}(l) + \sum_{j=1}^{M_k} x_{lj} \cdot dlit_{lj}^*). \quad (10)$$

Исходя из этого, можно определить нижнюю границу времени начала решения задачи i в случае, если она будет выполняться исполнителем j :

$$\begin{cases} t_{нач}(i, j) \geq est1(i, j) \\ t_{нач}(i, j) \geq est2(i, j) \end{cases} \quad (11)$$

Критический путь проекта с учетом зависимости длительности решения задач от выполняющих их специалистов будет рассчитываться

следующим образом:

$$T_{\text{крит}} = \max_l \left(t_{\text{нач}}(i) + \sum_{j=1}^{M_l} x_{lj} \cdot dlit_{lj}^* \right). \quad (12)$$

Формулы (1)-(12) представляют собой модель управления IT-проектом, отличающуюся учетом квалификации специалистов, их занятости, типизации задач.

Для решения оптимизационной задачи сформулируем целевые функции и ограничения. В качестве цели для задачи планирования выберем минимизацию общего времени выполнения всех задач:

$$T_{\text{крит}} \rightarrow \min. \quad (13)$$

Задачу о назначениях на каждом этапе будем решать с точки зрения критериев $Qual_1, \dots, Qual_L$:

$$\begin{cases} Qual_1 \rightarrow extr. \\ \dots \\ Qual_L \rightarrow extr. \end{cases} \quad (14)$$

Таким образом, сформулирована многокритериальная оптимизационная задача, позволяющая одновременно находить время начала каждой из задач, так и наилучшего исполнителя для нее. Особенность рассматриваемой оптимизационной задачи заключается в том, что задачу (13) необходимо решать одновременно с задачей (14).

Решение задач (13), (14) будет итеративным с уточнением временных характеристик по мере завершения очередных задач. В связи с этим, необходимо конкретизировать математическую модель, описывающую их длительность с учетом возможной коррекции. Специфика данной задачи заключается в том, что допускается некоторая коррекция задачи после ее завершения. Будем разделять внесение правок, связанных в некачественным кодом исполнителя i при неизменной постановке задачи и внесение правок в саму постановку заказчиком. Тогда длительность выполнения задачи j исполнителем i – это будет случайная величина, которая определяется следующим образом:

$$dlit_{ij} = \xi_{ij} + p_{ij} \cdot \delta_{ij} + pk_j \cdot \eta_{ij}. \quad (15)$$

ξ_{ij} – случайная величина, описывающая длительность выполнения задачи j специалистом i ;

p_{ij} – вероятность коррекции выполнения задачи j исполнителем i ;

δ_{ij} – случайная величина, описывающая коррекцию решения задачи j исполнителем i ;

pk_i – вероятность изменения требований к задаче j заказчиком (или другим ЛПР);

η_{ij} – случайная величина, описывающая коррекцию решения задачи j

исполнителем i в связи с изменившимися требованиями заказчика.

Опишем подходы к оценке каждого из слагаемых формулы (15). Первое слагаемое можно оценить по методу PERT с поправкой на индивидуальные возможности каждого специалиста. Пусть a_{ij} , b_{ij} , m_{ij} , - наименьшее, наибольшее и наиболее вероятное время выполнения работы i специалистом j соответственно. Тогда:

$$\xi_{ij} = (a_{ij}(t) + 4m_{ij}(t) + b_{ij}(t)) / 6. \quad (16)$$

Величины δ_{ij} и η_{ij} оцениваются аналогично формуле (16).

Вероятность коррекции задачи j исполнителем i будет зависеть от многих факторов. К ним, в частности, можно отнести опыт исполнителя в решении задач подобного типа, его квалификацию, сложность задачи. В целом это эмпирическая оценка, которая может быть получена разными способами по статистическим данным. С учетом того, что предлагаемая оценка должна гибко учитывать вклад каждого фактора в итоговый результат, по возможности, исключать граничные значения, быть расширяемой с точки зрения добавления новых факторов, была выбрана сигмоидальная оценка:

$$P_{ij} = \frac{1}{1+e^{-\sigma}}, \quad (17)$$

где σ - аргумент, зависящий от комбинации факторов, влияющих на вероятность:

$$\sigma = \alpha_1 \cdot C_j + \alpha_2 \cdot E_{ij} + \alpha_3 \cdot K_i + \alpha_4 \cdot N_j + \alpha_5 \cdot F_j. \quad (18)$$

Здесь $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – коэффициенты, регулирующие вес того или иного фактора и его вклад в общую сумму; C_j – сложность задачи j ; E_{ij} – опыт исполнителя i в задачах типа j ; K_i – квалификация исполнителя i ; N_j – новизна задачи j ; F_j – качество технического задания задачи j .

Аналогичный подход используется для оценки вероятности коррекции задачи в соответствии с требованиями заказчика. Оценка pk_j будет производиться по формуле (15), где параметр σ определяется следующим образом:

$$\sigma = \beta_1 \cdot C_j + \beta_2 \cdot D + \beta_3 \cdot Tr_j + \beta_4 \cdot LI + \beta_5 \cdot PE + \beta_6 \cdot PA. \quad (19)$$

Как и в формуле (15), здесь коэффициенты $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ – регулируют вес соответствующего фактора. C_j – сложность задачи j ; D – четкость требований заказчика; Tr_j – тип задачи j ; LI – Уровень вовлеченности заказчика; PE – предыдущий опыт взаимодействия с этим заказчиком; PA – Наличие этапа предварительного согласования.

Таким образом, разработана математическая модель оценки сроков выполнения отдельных задач IT-проекта, отличающаяся учетом коррекции задач, обеспечивающая повышенную точность по сравнению с аналогами.

Очевидно, что формула (15) включает в себя достаточно большую степень неопределенности и, как следствие, подразумевает наличие погрешностей, которые будут устраняться по мере получения новых сведений. В связи с этим, для предварительной оценки сроков выполнения IT-проекта целесообразно использовать аппарат имитационного моделирования, позволяющий для заданных значений длительностей отдельных задач и их зависимостей, получить вероятностно-временные характеристики проекта в целом.

Во-первых, имитационная модель позволит оценить длительность проекта с учетом разнообразных корректировок. Во-вторых, ее в дальнейшем можно использовать, как инструмент для анализа эффективности алгоритмов решения поставленной оптимизационной задачи (13, 14).

Тем не менее, заказчикам, как правило, на самых ранних стадиях необходима информация о вероятных сроках завершения проекта. Таким образом, кроме длительности проекта целесообразно определить следующие оценки:

$$P(\min < \eta < \max) = F_{\eta}^*(\max) - F_{\eta}^*(\min). \quad (20)$$

Здесь $\min$, $\max$ – интересующие сроки; η – случайная величина, описывающая длительность проекта; $F_{\eta}^*(x)$ – оценка функции распределения длительности проекта.

Вычислительный эксперимент был проведен в среде AnyLogic с целью анализа зависимости характеристик длительности проекта от характеристик длительностей отдельных его задач. На вход эксперимента поступал проект, заданный последовательно-параллельными задачами, закрепление задач за исполнителями и характеристики, описывающие коррекцию задач (вероятность и новые временные параметры). На выходе получали гистограмму длительности проекта и его временные характеристики, а также оценку вероятностей любых интересующих событий.

Изначально исследовалась специфика поведения отдельной работы в случае ее коррекции. Закон распределения соответствующей случайной величины представлен на Рисунке 2. Как можно видеть из данного рисунка, наличие коррекции делает распределение менее предсказуемым, что, в свою очередь, сказывается на длительности проекта в целом.

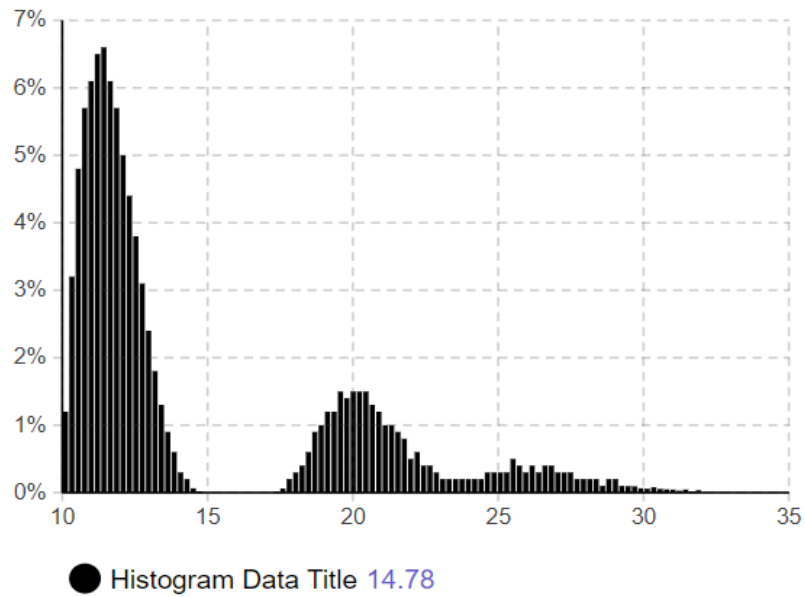


Рисунок 2 - Закон распределения длительности отдельной работы с коррекцией

Далее анализировалась случайная величина, описывающая множество взаимно-зависимых последовательно-параллельных задач. Первая серия экспериментов анализировала специфику случайной величины в проекте в зависимости от показателей времени выполнения отдельных задач в предположении, что все задачи будут выполнены сразу без коррекции. Вторая серия проводилась с учетом возможной коррекции одной или нескольких задач проекта. Целью эксперимента являлись показатели, приведенные в табл.1. Анализировались следующие гипотезы.

Гипотеза 1. Может ли ожидаемая длительность проекта быть спрогнозирована методом PERT:

$$M(proj) = \sum_{i \in K_{rit}} M \xi_i. \quad (21)$$

Гипотеза 2. Может ли дисперсия проекта быть спрогнозирована методом PERT:

$$D(proj) = \sum_{i \in K_{rit}} D \xi_i. \quad (22)$$

Гипотеза 3. Можно ли размах распределения оценить с помощью правила трех сигм:

$$\begin{cases} min = M(proj) - 3\sigma \\ max = M(proj) + 3\sigma \end{cases} \quad (23)$$

Гипотеза 4. Можно ли распределение случайной величины, описывающей длительность проекта, аппроксимировать нормальным распределением.

В результате проведения множества экспериментов были получены

следующие выводы.

Вывод 1. В случае отсутствия коррекции ожидаемая длительность может быть оценена по формуле (21) с определенной погрешностью (около 10%). Величина погрешности зависит от числа задач проекта, их временных характеристик (в первую очередь, от размаха) и от числа критических путей. Если задачи проекта допускают коррекцию, то величина погрешности увеличивается в несколько раз (в зависимости от вероятности такой коррекции). В этом случае формула (21) может быть применена только в случае, если оценка длительностей отдельных задач была проведена по формулам (15).

Вывод 2. В случае отсутствия коррекции дисперсию и размах в целом можно оценить формулами (22) и (23). При появлении коррекции дисперсия и верхняя граница распределения существенно возрастают.

Вывод 3. Без отсутствия коррекции с определенной погрешностью длительность проекта можно оценить нормальным распределением, хотя лучше для такой оценки подходит закон бета. В случае коррекции длительности задач на выходе получается, как правило, многомодовое распределение с явно выраженной правосторонней асимметрией.

На Рисунке 3 представлено поведение случайной величины, описывающей длительность выполнения всего проекта с коррекцией половины (слева) или двух из 20 (справа) задач. Здесь же получены статистические оценки вероятности в срок раньше длительности проекта, рассчитанной стандартными инструментами PERT, и вероятность завершения в максимально возможный срок согласно оценкам PERT. Как видно из данного рисунка, в случае, когда половина задач подлежат коррекции (что весьма возможно на практике), вероятность завершить проект в сроки, оцененные с помощью PERT, будет практически равна 0. Кроме того, весьма велика вероятность выйти за все возможные рассчитанные ранее временные границы.

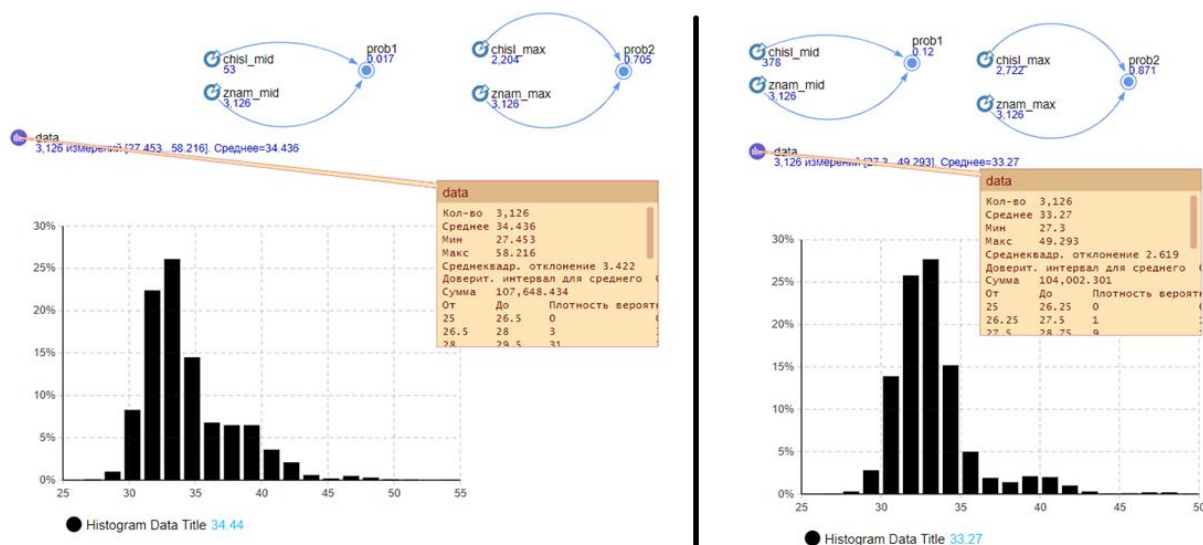


Рисунок 3 - Гистограмма и вероятностно-временные характеристики

длительности проекта из 20 задач (слева – с коррекцией половины задач с вероятностью 0.05; справа – с коррекцией двух задач на критическом пути)

Таким образом, была получена модель оценки длительности проекта, отличающаяся учетом коррекции задач, обеспечивающая повышенную точность по сравнению с аналогами.

Третья глава посвящена проведению разработке алгоритмов, позволяющих оптимизировать процесс управления деятельностью ИТ-компании путем одновременного решения задач планирования и назначения. Основная идея обобщенного алгоритма заключается в построении предварительного графика проекта с точки зрения временного критерия (13), а затем поэтапного его уточнения и закрепления исполнителей для каждой из задач с точки зрения критериев (14). Для этого данные критерии нормализуются, а затем сводятся к единому интегральному критерию:

$$F_{ij} = \sum_{l=1}^L \tilde{\alpha}_{ij}^{(l)} \cdot \tilde{f}_{ij}^{(l)}. \quad (24)$$

В формуле (24) $\tilde{f}_{ij}^{(l)}$ - нормализованные значения критерия l , рассчитанные для данной задачи i и данного исполнителя j ; $\tilde{\alpha}_{ij}^{(l)}$ - значение весовых коэффициентов критериев. Особенностью алгоритма является то, что веса критериев динамически обновляются на каждом шаге в зависимости от изменения текущей ситуации. Например, для критерия скорейшего завершения задач предложена следующая формула для весового коэффициента:

$$\alpha_{ij}^{(1)} = k_1 \cdot 1 / (1 + r_i), \quad (25)$$

Где k_1 – глобальный статический вес данного критерия; r_i – временной резерв работы, рассчитанный по формулам метода критического пути. Для балансировки нагрузки предложена следующая формула:

$$\tilde{\alpha}_{ij}^{(2)} = k_2 \cdot e^{-\delta(L_j - \bar{L})}. \quad (26)$$

Здесь k_2 – глобальный статический вес данного критерия балансировки; δ - параметр, который определяет, насколько сильно должен увеличиваться или уменьшаться критерий при приближении к среднему значению и отклонении от него; $\bar{L}$ - средняя нагрузка по исполнителю; L_j - текущая нагрузка исполнителя j .

Фрагмент алгоритма, описывающего процесс назначения исполнителям задач на данном временном интервале, приведен на Рисунке 4.

На первом этапе данного алгоритма (представлен слева на Рисунке 4) выполняется эвристический поиск, позволяющий на каждом шаге отобрать наилучшее соотношение между очередной работой и исполнителем и занести это в массив `bestpair`. Второй этап (правая часть) посвящена улучшению поиска методом имитации отжига. В нем в цикле выбирается модификация распределения, которая помещается в массив `chpair`. Если при перестановке удалось улучшить критерий (24), то запоминаем новое решение. В противном

случае запоминаем его с некоторой вероятностью, зависящей от текущей температуры и от разности между текущим и эталонным решениями.

В силу большого числа стохастических факторов, центральным важной составляющей в управлении деятельностью ИТ-компании является использование алгоритма коррекции. Фрагмент алгоритма, который запускается при корректировке длительностей или появлении новых задач, представлен на Рисунке 5.

Для реализации алгоритма введены следующие подмножества:

- W_0 - задачи, которые еще не начаты, но могут быть начаты в данный момент (кроме того, в это множество будут входить все задачи, которые могут быть начаты позднее, но не позже момента $T+\Delta t$).

- W_2 - задачи, которые готовы для представления их заказчику.

- W_3 - задачи, которые необходимо корректировать;

- W_1 - задачи, которые выполняются в данный момент.

Кроме того, коррекция актуальна при временной недееспособности того или иного исполнителя в случае, если выполнение запланированных для него задач критично по времени. В случае необходимости переназначения задачи другому исполнителю, сроки также могут изменяться.

В случае необходимости перераспределения назначения исполнителей (болезнь, появление нового исполнителя, исполнитель не может справиться с задачей и т.д.) используется алгоритм, который, в первую очередь, корректирует вес критерия (24) и переопределяет ограничения. Далее осуществляется попытка выполнения локальной эвристики. Если новый план не является валидным, запускается алгоритм, представленный на Рисунке 4.

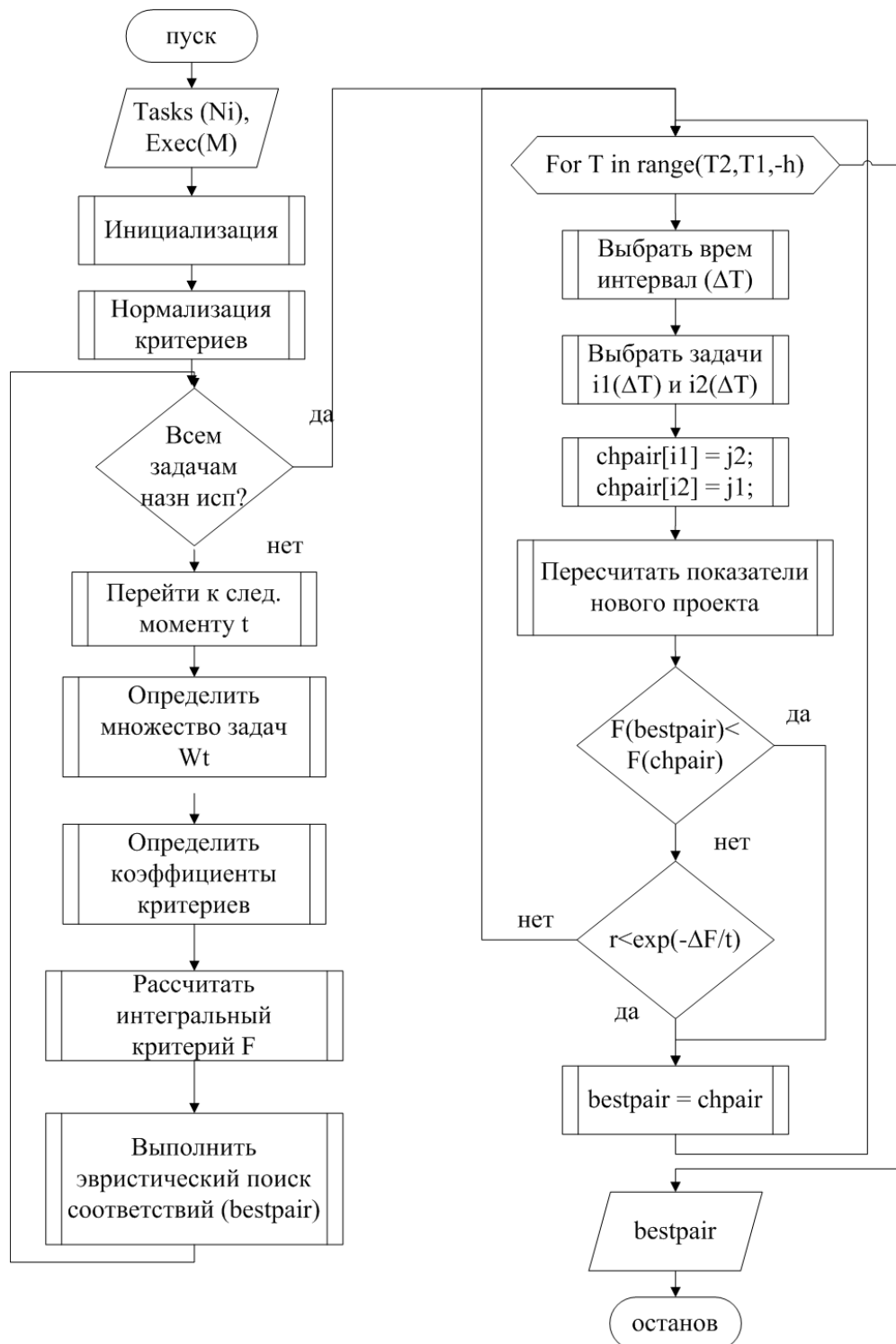


Рисунок 4 - Обобщенный алгоритм решения задачи назначения исполнителей для отобранных в данный момент T задач $Tasks$

Важным этапом после работы любого алгоритма коррекции является оценка следующих метрик:

- перегруз исполнителей;
- количество смен исполнителя по задачам;
- относительная стабильность проекта (закрывающаяся в сравнительно небольшом отклонении планируемого и фактического времени);
- выполнение вех/дедлайнов.

Для каждой из вышеперечисленных метрик разработана реакция алгоритма и рекомендация для ЛПР в случае, если ее значение превышает установленный в данной организации порог.

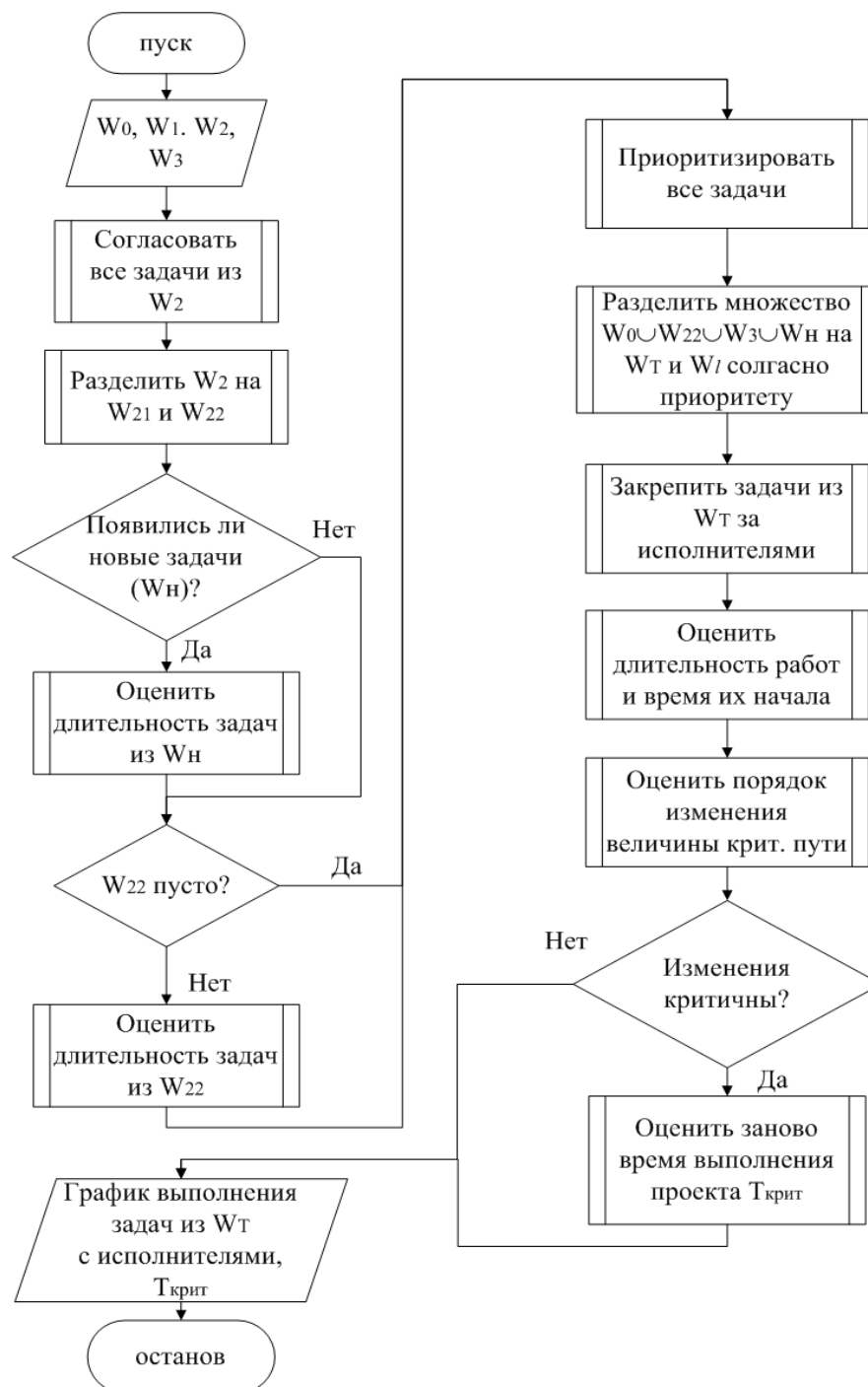


Рисунок 5 - Фрагмент алгоритма коррекции план-графика при несвоевременном завершении задачи

Таким образом, разработаны алгоритмы организации работ в IT-компаниях, отличающиеся одновременным решением задач определения сроков и времени начала для каждого из заданий IT-проекта и подбора им наилучших исполнителей и обеспечивающие возможность повысить качество управления деятельностью IT-компаний за счет более рационального использования человеческих ресурсов и более точных оценок

времени выполнения как всего проекта, так и его отдельных заданий.

Четвертая глава посвящена разработке комплекса программ, позволяющего автоматизировать процесс управления деятельностью ИТ-компаний путем оценивания отдельных задач и проекта в целом, планирования задач и назначения им исполнителей. Структура программного комплекса представлена на Рисунке 6.

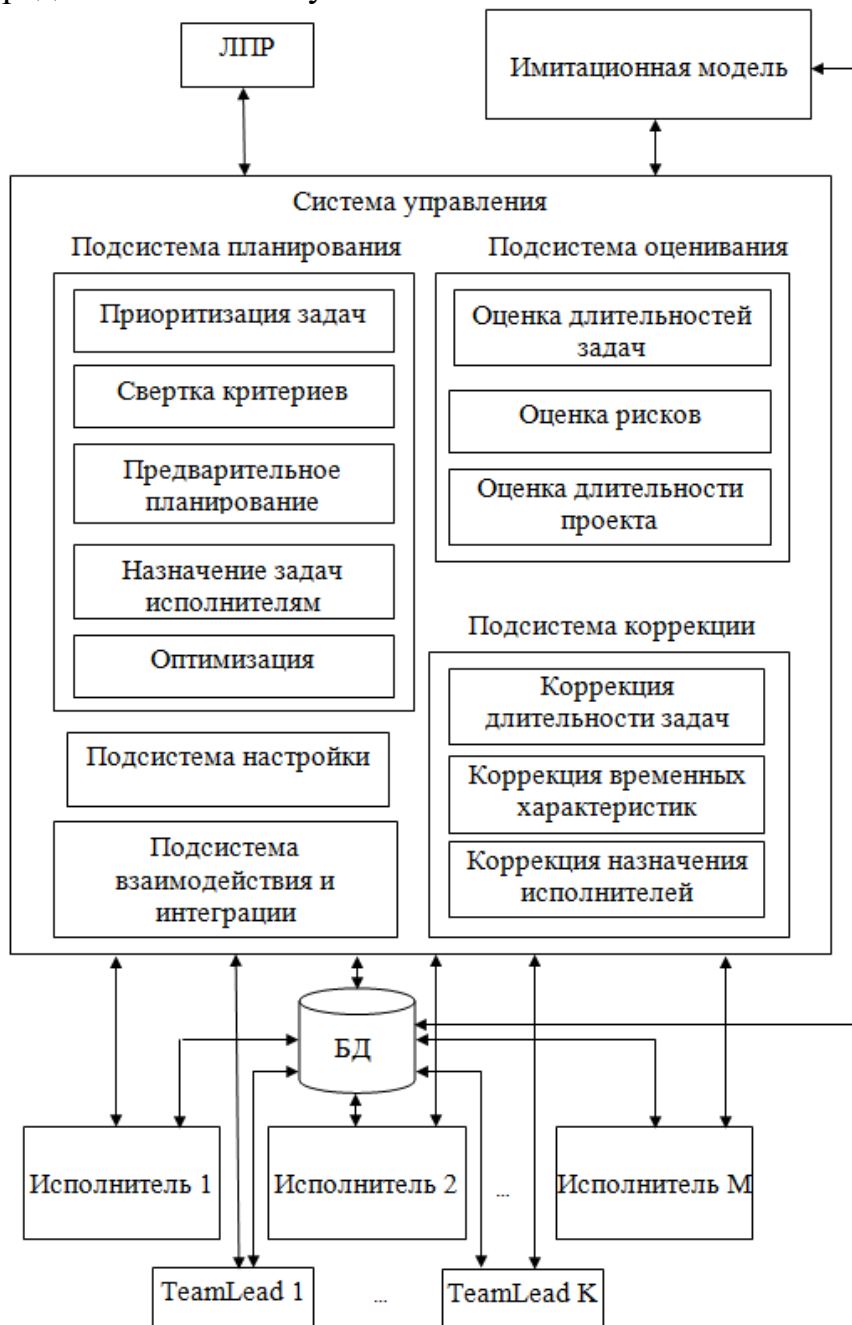


Рисунок 6 - Структура программного обеспечения системы управления ИТ-компанией

Она отличается интеграцией подсистем имитационного моделирования, планирования, оптимизации и базы данных и обеспечивает автоматизацию процесса управления ИТ-компанией путем реализации разработанных алгоритмов.

Для обоснования эффективности предложенных алгоритмов для

управления деятельностью IT-компаний как организационной системы были проведены эксперименты, целью которых являлся сравнительный анализ результатов работы разработанных алгоритмов и результаты в случае произвольного распределения исполнителей по задачам без учета какой-либо коррекции. Фрагменты результатов, полученных в ходе экспериментов, представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Фрагменты результатов эксперимента

Номер проекта	Количество задач	Критический путь по средним значениям	Критический путь с параллельным решением задачи (10)	Критический путь при корректировке (болезнь\командировка сотрудника) - расчет без коррекции	Критический путь при корректировке (болезнь\командировка сотрудника) - расчет с коррекцией
1	20	62,00	59,72	74,40	61,51
2	16	24,63	23,18	29,55	26,19
3	14	57,14	53,88	68,57	60,89
4	22	72,13	68,96	86,56	71,02
5	17	49,67	47,88	59,60	49,32
6	16	31,83	30,14	38,20	34,06
7	12	53,15	49,59	63,78	56,04

В данной таблице приведен один из показателей эффективности управления IT-компанией, демонстрирующий длительность выполнения IT-проекта (величину критического пути). В третьем и четвертом столбцах продемонстрированы результаты исследуемой метрики без управления коллективом исполнителей (по средним значениям) и с использованием предложенного алгоритма назначения и распределения заданий в условиях отсутствия какой-либо коррекции. В среднем, улучшение составило 4,91%. Пятый и шестой столбцы демонстрируют показатель при появлении внештатных ситуаций без применения алгоритма коррекции и с его использованием. В данном случае применение предлагаемых решений по управлению данной организационной системой в случае возникновения внештатных ситуаций, которые периодически имеют место в IT-компаниях, составляет 17,29%.

Элементы программного обеспечения зарегистрированы в ФИПС. Полученная система внедрена в ЗАО «Микрон» (г. Липецк) в виде программного средства, обеспечивающего автоматизацию оценки общей длительности планируемых проектов и назначения исполнителей для каждой из отдельных задач. Эффект от внедрения заключается в увеличении точности оценки длительности проектов, повышение эффективности распределения загрузки исполнителей и уменьшении времени незапланированных простоев производства.

Таким образом, разработано программное обеспечение системы управления системой управления деятельностью IT-компаний как организационной системы, учитывающее квалификацию специалистов, их занятость, тип задач и обеспечивающее наилучшую организацию деятельности IT-компаний путем планирования времени начала каждой из задач проекта и подбора для нее исполнителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения диссертационного исследования были получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ существующих подходов к управлению процессами проектной деятельности в IT-компаниях как организационной системы в рамках поиска наилучшего подхода к управлению коллективом исполнителей, распределению задач и планирования проектов.

2. Разработана модель управления проектом в IT-компаниях как организационной системе, обеспечивающая наилучшую организацию деятельности IT-компаний путем планирования времени начала каждой из задач проекта и подбора для нее исполнителя.

3. Разработана математическая модель оценки сроков выполнения как отдельных задач, так и всего проекта данной организационной системы, обеспечивающая повышенную точность по сравнению с аналогами.

4. Разработаны алгоритмы организации работ в IT-компаниях, обеспечивающие возможность повышения качества управления деятельностью IT-компаний за счет более рационального использования человеческих ресурсов и более точных оценок времени выполнения как всего проекта, так и его отдельных заданий.

5. Разработана структура программного обеспечения системы управления деятельностью IT-компаний как организационной системы, обеспечивающая автоматизацию процесса управления IT-компанией путем реализации разработанных алгоритмов. Элементы программного обеспечения системы управления зарегистрированы в ФИПС № 2024663794.

6. Проведено экспериментальное исследование эффективности разработанных моделей и алгоритмов управления IT-компанией как организационной системой с точки зрения длительности IT-проекта. Результаты эксперимента демонстрируют эффективность предложенных решений в среднем на 4,91% в обычных условиях и на 17,29% в случае возникновения внештатных ситуаций.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

1. Результаты диссертационного исследования рекомендуются к применению в задачах управления в любых организационных системах, отличительной чертой которых является большая неопределенность длительности решения задач, разная квалификация и другие характеристики исполнителей, а также возможная коррекция задач из-за изменившихся требований заказчика и других факторов.

2. Дальнейшая разработка темы будет направлена на уточнение параметров оценок и критериальных коэффициентов, а также расширение системы поддержки принятия решений, необходимой для эффективного управления организационной системой, в которой будут использоваться результаты данного исследования.

**Основные результаты диссертации опубликованы
в следующих работах:**

Публикации в изданиях списка ВАК

1. Дятчина А.В., Олейникова С.А., Акинин А.А. Модель управления IT-проектом с возможной последующей коррекцией отдельных задач // Системы управления и информационные технологии. 2024. № 4 (98). С. 85-88.
2. Дятчина А.В., Олейникова С.А. Метод решения задачи планирования работ в IT-проекте и назначения им специалистов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12, № 4. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.009.
3. Олейникова С.А., Дятчина А.В., Политов В.А. Структура программного обеспечения для управления деятельностью IT-компании. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025;13(1). URL: <https://moitvivi.ru/ru/journal/pdf?id=1843> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.044.
4. Олейникова С.А., Дятчина А.В., Аралов М.Н. Математическая модель оценки сроков IT-проекта и его отдельных задач// Системы управления и информационные технологии. 2025. №2(100). С. 4-7.

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ

5. Дятчина А.В., Олейникова С.А. Оптимизация распределения исполнителей по работам в многостадийных стохастических системах. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024663794, 11.06.2024. Заявка от 04.06.2024.

Статьи в журналах, сборниках трудов конференций

6. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Разработка специального математического обеспечения системы управления потоком поступающих заявок // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2023. Т. 19. № 2. С. 33-37.
7. Дятчина А.В., Олейникова С.А., Недикова Т.Н. Разработка проблемно-ориентированной системы для решения оптимизационной задачи управления потоком поступающих заявок // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2023. Т. 19. № 4. С. 37-43.
8. Дятчина А.В., Олейникова С.А. Формализация многокритериальной задачи о назначениях с временными ограничениями // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. Тольятти, 2023. С. 119-123.
9. Дятчина А.В., Олейникова С.А., Селищев И.А. Имитационная модель для исследования длительности выполнения работы в случае ее возможного повторного выполнения // Математическое моделирование процессов и систем. Материалы XIII Международной молодежной научно-практической конференции. Отв. редактор С.В. Викторов. Стерлитамак, 2023. С. 135-141.

10. Dyatchina A.V. Formalizing the task of managing the flow of incoming tasks with time constraints // Сборник научных статей XVIII международной научно-практической конференции «Антропоцентрические науки в образовании». Воронеж, 2023. С. 280-283.

11. Дятчина А.В., Олейникова С.А. Оценка стохастических характеристик отдельных работ в IT-проектах // Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2024. С. 188-191.

12. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Моделирование и анализ длительности стохастического проекта // Вестник Пензенского государственного университета. 2025. № 1 (49). С. 98-101.

13. Дятчина А.В., Олейникова С.А. Моделирование выполнения стохастического проекта в условиях коррекции решения его отдельных задач // Актуальные проблемы прикладной математики и механики. Сборник трудов Международной научной конференции. Воронеж, 2025. С. 512-518.

14. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Анализ влияния коррекции выполнения задач и их исполнителей на временные характеристики длительности стохастического проекта // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах. Труды Международной молодежной научной школы. Воронеж, 2025. С. 79-84.

15. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Сравнительный анализ эволюционных алгоритмов решения задачи планирования IT-проектов // Проектное управление в строительстве, 2024. № 2 (31). С. 100-106.

16. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Алгоритм коррекции план-графика выполнения задач в IT-проекте // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения. Сборник трудов Тольятти, 2025.

17. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Программное обеспечение для автоматизации процесса управления деятельностью IT-компании // Управление программным инжинирингом. Труды открытой Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2025. С. 49-53.

18. Олейникова С.А., Дятчина А.В. Алгоритм решения задачи организации работ в IT-компании // Интеллектуальные информационные системы. Воронеж, 2025. С. 84-88.

Подписано в печать 26.09.2025.

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84