Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»

На правах рукописи

Учайкин Роман Александрович

МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Орлов Сергей Павлович

Самара – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ 13
1.1 Анализ системных подходов к распределению КСВТ на предприятии 13
1.1.1 Организационная структура НПП 13
1.1.2 Состав и характеристики средств вычислительной техники предприятия 16
1.2 Проблема распределения средств ВТ между подразделениями предприятия 19
1.3 Информационные технологии при учете и мониторинге состояния КСВТ 24
1.4 Существующие технологии поддержки принятия решений при управлении вычислительными ресурсами научно-производственного предприятия 28
1.5 Методы решения задачи использования средств вычислительной техники в подразделениях предприятия 32
1.5.1 Задачи оптимального распределения компьютерного оборудования в подразделениях 32
1.5.2. Методы имитационного моделирования процессов жизненного цикла КСВТ 34
1.6 Единое информационное пространство НПП 36
1.7 Система поддержки принятия решений при управлении жизненным циклом комплекса СВТ 38
1.7.1 Управление КСВТ с использованием СППР 38
1.7.2 Оптимизационно-имитационный подход при решении задач эффективного использования КСВТ на НПП 39
1.7.3. Разработка системных моделей распределения и функционирования компьютерного оборудования на предприятии 43
1.7.4. Методика принятия решений при управлении средствами ВТ на предприятии 44
1.7.5. Структура системы поддержки принятия решений (СППР) в системе управления комплексом СВТ предприятия 45
Выводы 49
2 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ПРЕДПРИЯТИЯ 50
2.1 Выбор критериев и формирование данных для задачи оптимизации 50
2.2. Постановка задачи целочисленного программирования с булевыми переменными для назначения СВТ 54
2.3 Методы решения задачи оптимального распределения компьютерного оборудования 57
2.4 Пример решения задачи оптимального распределения СВТ для проектных подразделений 59
Выводы 61
3 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВТ ПО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ПРЕДПРИЯТИЯ 62
3.1 Моделирование дискретно-событийных систем с помощью сетей Петри 62
3.2 Процедура построения сети Петри по диаграмме Ганта 65
3.3 Пример имитационной модели для распределения компьютерного оборудования 68
3.4 Раскрашенные сети Петри при имитационном моделировании технического обслуживания компьютерного оборудования 70
3.5 Имитационная модель производственного процесса 74

3.6 Иерархические сети Петри для имитационного моделирования технического обслуживания комплекса средств вычислительной техники ... 77
3.6.1 Иерархическая организация имитационных моделей ... 78
3.6.2 Основной модуль моделирования производственной задачи ... 79
Выводы ... 86
4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ ... 88
4.1 Задача оценки эффективности использования СВТ в подразделениях предприятия ... 88
4.2 Математические модели метода DEA ... 89
4.3 Алгоритм сравнительной оценки СВТ в подразделениях ... 92
4.4 Формирование входных и выходных параметров для оцениваемых объектов ... 93
4.5 Методика оценки эффективности СВТ с использованием моделей DEA и критерия Малмквиста ... 94
4.6 Анализ результатов моделирования ... 99
Выводы ... 104
5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ КСВТ В ПРОЕКТНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ... 106
5.1 Области использования результатов диссертационного исследования ... 106
5.2 Практическое использование системных моделей и методики распределения КСВТ на предприятии ... 107
5.2.1 Решение задачи назначения СВТ в проектные подразделения предприятия ... 108
5.2.2 Имитационное моделирование производственных проектных задач для верификации распределения СВТ ... 114
5.2.3 Оценка эффективности распределения СВТ для группы проектных подразделений 116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 127
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ... 129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ... 130
ПРИЛОЖЕНИЕ А РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСВТ В ПРОЕКТНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ... 148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ДОКУМЕНТЫ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ... 155

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Информатизация и цифровизация машиностроительного производства приводит к использованию компьютеров на всех стадиях жизненного цикла производства сложных изделий на научно-производственных предприятиях авиационной и ракетно-космической промышленности. Активно используются средства автоматизации в проектировании и производстве сложных изделий, представляющие собой многофункциональные программные системы, которые устанавливаются на мощные рабочие станции с высокой производительностью и большим объемом памяти. Под средством вычислительной техники (СВТ) понимается стационарная единица компьютерного оборудования, которая обеспечивает решение проектных, технологических и управленческих задач на предприятии. К таким средствам относятся как отдельные компьютеры, так и вычислительные комплексы, включающие процессоры, программное обеспечение, периферийное оборудование и каналы связи.

Терминология, определения и функции средств вычислительной техники регламентируются государственными стандартами ГОСТ 21552-84, ГОСТ Р 50739-95, ГОСТ 28470-90 [17-19].

Комплекс средств вычислительной техники (КСВТ) - это совокупность всех единиц вычислительного оборудования на предприятии.

Научно-производственное предприятие (НПП) — организация, проводящая научные исследования и проектные разработки сложных изделий наряду с их освоением в производстве и выпуском продукции. НПП выполняет задачи создания новых изделий, а также совершенствования конструкции выпускаемых изделий и модернизации технологических процессов.

Задача оптимального использования КСВТ на промышленных предприятиях является одной из важнейших в современных информационных технологиях. Связано это, в первую очередь, с тем, что закупка, эксплуатация, техническое обслуживание и модернизация имеющейся на предприятии вычислительной

техники требуют значительных финансовых затрат. Широкая номенклатура средств вычислительной техники, высокая стоимость и особая роль КСВТ в функционировании научно-производственного машиностроительного предприятия ставят ряд новых задач управления [11].

Степень разработанности темы исследования

Теоретическую основу выполненных в диссертации исследований составили основополагающие труды по теории сложных систем и системному анализу таких ученых, как В.Н. Бурков, В.Л. Бурковский, С.Н. Васильев, М.В. Губко, А.А. Емельянов, Б.Г. Ильясов, В.А. Ириков, В.В. Кульба, В.В. Липаев, Н.Н. Моисеев, Д.А. Новиков, Г.С. Поспелов, И.В. Прангишвили, С.В.Смирнов, А.В. Цветков, А.Д. Цвиркун, В.Д. Шапиро, Э.А. Трахтенгерц [1,6–10,12,14–16,21, 22,25,29,35,38,39,41–43,49–53,60,62–64,67,68,70,82,83], и зарубежных исследователей A. Charnes, W.W. Cooper, K. Jensen, K.Heldman, H.Kerzner, G.J.Klir, L. Kristensen, Y. Shoham, K. Leyton-Brown, M. Mesarovic, Y.Takahara, E.Rhodes [42,81,94,97–99,111,112,115,117,119,138,139].

Решением задач оптимального использования ресурсов вычислительной техники занимались научные коллективы Тамбовского государственного технического университета (Ю.Ю. Громов, В.В. Алексеев, В.Е. Дидрих, И.В. Дидрих, Ю.В.Минин [4,23, 28,45,46]); Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (В.В.Борщ, А.В.Лазаренко [4]). За рубежом в Массачусетском Технологическом Институте (MIT), США выполняются исследования взаимодействия центральных и периферийных компонентов в сетевой структуре и разработка методов построения оптимальной структуры связи (M.Mosleh, P.Ludlow) [124,125]; Northeastern University, США (B.Heydari) [125].

Задачи управления крупномасштабными системами с переменной структурой решались в Институте проблем управления РАН РФ (А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфеев, В.В. Кульба) [1,6,12,16,38,83].

Несмотря на значительные достижения актуальной остается проблема эффективного использования и оптимального распределения вычислительной

техники в подразделениях предприятия. В этой связи необходима разработка новых и модернизация существующих методов, моделей и алгоритмов анализа функционирования комплекса средств вычислительной техники, оптимального назначения компьютеров на производственные задачи [114, 150].

Сложность решаемой проблемы связана с рядом объективных факторов.

1. Сложность КСВТ в целом, большое количество и территориальная рассредоточенность компьютерной техники на крупных предприятиях.

2. Особенности учета широкой номенклатуры средств ВТ, отсутствие алгоритмов оптимального управления распределением вычислительных задач и соответствующей компьютерной техники.

3. Ограниченность денежных средств на закупку компьютерного оборудования.

4. Невозможность применения статического распределения вычислительной техники по подразделениям предприятия, так как оно не дает достоверной информации об эффективном использовании СВТ в течение жизненного цикла; условиях возникновения конфликтных ситуаций, связанных с недостаточностью вычислительных ресурсов, необходимостью периодического технического обслуживания и ремонтных работ.

5. Необходимость повышения эффективности управления вычислительными ресурсами предприятия.

В связи с этим актуальной является задача создания методологической основы для разработки системы принятия решений по распределению и обслуживанию средств вычислительной техники на научно-производственных предприятиях .

Целью диссертационной работы является уменьшение капитальных и эксплуатационных затрат на средства вычислительной техники и снижение задержек сроков выполнения производственных задач на основе системных моделей и методики поддержки принятия решений при управлении распределением и использованием компьютерного оборудования в подразделениях научно-производственного предприятия.

Основные задачи диссертационного исследования

Для достижения основной цели поставлены и решены следующие **задачи:**

1) системный анализ функционирования комплекса средств вычислительной техники научно-производственного предприятия с разнородными подразделениями и большим количеством компьютерного оборудования.

2) разработка методики поддержки принятия решений при управлении приобретением, распределением и режимами эксплуатации средств вычислительной техники в зависимости от специфики выполняемых производственных задач.

3) постановка и решение системной оптимизационной модели назначения вычислительной техники на производственные задачи с учетом различных ограничений, вызванных спецификой предприятия.

4) разработка и исследование системной имитационной модели для оперативной проверки графиков выполнения производственных задач при использовании назначенных средств вычислительной техники.

5) разработка алгоритма оценки принятых решений по распределению средств вычислительной техники с учетом планируемых сроков и показателей производственных задач.

6) проведение экспериментальных исследований предложенной методики и системных моделей и выработка рекомендаций по повышению эффективности функционирования средств вычислительной техники на предприятии АО «РКЦ «Прогресс».

Объектом исследований является комплекс средств вычислительной техники машиностроительного предприятия, использующийся для автоматизации проектных, конструкторских и технологических процессов создания сложных изделий.

Предметом исследований являются процессы принятия решений при управлении распределением средств вычислительной техники и взаимодействием их с производственными процессами предприятия.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа и математического программирования, методы математического анализа, имитационное моделирование.

Научная новизна заключается в следующем:

1 Разработана методика поддержки принятия решений при управлении средствами вычислительной техники на научно-производственном предприятии, отличающаяся использованием комплекса гетерогенных системных моделей, построенных на основе оптимизационно-имитационного подхода и учитывающих этапы жизненного цикла и специфику производства продукции, что обеспечивает выбор на ранних этапах планирования оптимального варианта закупки компьютерного оборудования, перераспределения вычислительной техники между подразделениями и организации ее технического обслуживания.

2 Сформулирована и решена задача назначения средств вычислительной техники в подразделения предприятия на основе целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, *отличающаяся* учетом ограничений на количество типов и конфигураций компьютеров и допустимыми значениями их характеристик в зависимости от назначенных задач, что позволяет получить оптимальное по критерию затрат распределение компьютерного оборудования при соблюдении сроков производственных процессов.

3 Разработана новая системная имитационная модель для верификации решения задачи оптимального назначения средств вычислительной техники, *отличающаяся* использованием стохастических временных раскрашенных сетей Петри и построением иерархической структуры модельных модулей, соответствующих наиболее критичным процессам выполнения производственных задач, что обеспечивает выполнение заданий в срок и сокращение простоев из-за технического обслуживания и ремонта компьютерного оборудования.

4 Разработан алгоритм сравнительной оценки использования средств вычислительной техники предприятия, основанный на методе Data Envelopment Analysis (DEA), отличающийся использованием системных CCR и BCC моделей подразделений и использованием индекса Малмквиста, которые учитывают как

основные параметры компьютерного оборудования, так и ключевые производственные показатели подразделений для сравнения различных сценариев распределения средств вычислительной техники, что позволяет снизить затраты на их приобретение и эксплуатацию.

Положения, выносимые на защиту

1. Методика поддержки принятия решений при управлении средствами вычислительной техники на научно-производственном предприятии на базе разработанного комплекса гетерогенных системных моделей, построенных на основе оптимизационно-имитационного подхода и учитывающих этапы жизненного цикла и специфику производства.

2. Задача назначения средств вычислительной техники в подразделения предприятия на основе целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, отличающаяся учетом ограничений на ресурсы и параметров графиков производственных процессов.

3. Системная имитационная модель для верификации решения задачи оптимального назначения средств вычислительной техники, отличающаяся использованием стохастических временных раскрашенных сетей Петри и построением иерархической структуры модельных модулей, соответствующих наиболее критичным процессам выполнения производственных задач.

4. Алгоритм сравнительной оценки эффективности использования средств вычислительной техники в подразделениях предприятия, основанный на методе Data Envelopment Analysis и использовании системных CCR и BCC моделей подразделений и индекса Малмквиста.

Теоретическая и практическая значимость. Значимость теоретических результатов работы заключается в том, что предложенные системные модели позволяют формализовать процессы управления распределением и эксплуатацией комплекса средств вычислительной техники на предприятии.

Практическая значимость разработанной методики управления средствами вычислительной техники заключается в ее применении на крупных научно-

производственных предприятиях для определения оптимальных с точки зрения экономической эффективности вариантов использования компьютерного оборудования, рассматриваемых в связи с особенностями проектных, конструкторских, технологических процессов.

Достоверность и обоснованность полученных результатов исследования обеспечиваются корректным использованием теории математического программирования, методов имитационного моделирования, согласованностью численных экспериментов на системных моделях с практическим использованием методики на предприятии, обсуждением выводов проведенных исследований на научных конференциях.

Обоснованность полученных в работе научных результатов и выводов подтверждается анализом технико-экономического эффекта их использования на предприятии АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара.

Реализация результатов исследований. Диссертационная работа выполнялась в рамках проекта по гранту РФФИ «Аспиранты» № 20-37-90014 в 2020 -2022 годах.

Результаты диссертационной работы в виде методики и системных моделей использованы при распределении средств вычислительной техники в производственной деятельности предприятия АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара.

Результаты в виде имитационных моделей использованы в проекте № 075-02-2018-225 «Разработка роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей КАМАЗ с автономным и дистанционным режимом управления», уникальный ID номер RFMEFI157718X0286, выполненном в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Результаты диссертационного исследования в виде моделей и алгоритмов внедрены в учебный процесс Самарского государственного технического

университета при подготовке студентов по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.03.04 «Программная инженерия».

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих научно-технических конференциях: 32-й Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях, ММТТ-32", (г. Саратов, 30 октября - 1 ноября 2019 г.); II Международной научной конференции «MIP: ENGINEERING – 2020», (г. Красноярск, 16 - 18 апреля 2020 г.); Международной научно-технической конференции "Перспективные информационные технологии, ПИТ - 2020", (г. Самара, 21-22 апреля 2020 г.); II Международной конференции «APITECH-II - 2020: Прикладная физика, информационные технологии и инжиниринг», (г. Красноярск, 25 сентября - 4 октября 2020 г.); VII Всероссийской научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг- 2021 (ICIE 2021)», (г. Сочи, 17 - 25 мая 2021 г.); 34-й Международной конференции «Математические методы в технологиях и технике, ММТТ-34» и «CYBERPHY:2021 – «Cyber-Physical Systems Design And Modelling», (г. Санкт-Петербург, 31 мая – 4 июня 2021 г.); X Всероссийской конференции "Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии", (г. Оренбург, 18–19 ноября 2021 г.), IV Международной конференции «MIST: Aerospace-IV 2021: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации», (г. Красноярск, 10-11 декабря 2021 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 работах, в том числе: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в журналах, входящих в международные базы Web of Science и Scopus, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 5 статей в прочих изданиях.

Личный вклад автора. Все результаты, определяющие научную новизну, получены автором лично. В публикациях, выполненных в соавторстве, лично автору принадлежат следующие результаты: разработка комплекса системных моделей [129], решение задачи оптимального распределения СВТ [76, 143], разработка имитационных моделей на сетях Петри и проведение

экспериментальных исследований [127, 128], постановка задачи оценки использования СВТ и анализ ее решения [77, 78].

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 151 наименования, изложена на 158 страницах текста, содержит 43 рисунка, 20 таблиц и 2 приложения.

1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ системных подходов к распределению КСВТ на предприятии

1.1.1 Организационная структура НПП

Крупное научно-производственное предприятие характеризуется широким спектром производственных задач. В их число входят проектные, технологические, финансовые и управленческие задачи, логистика и информационные процессы. Как правило, в составе такого предприятия присутствуют мощные конструкторские и проектные подразделения. Обеспечение информационными технологиями, программными продуктами и компьютерной техникой, а также их эксплуатация и сопровождение выполняются отдельной службой – управлением информационных технологий (УИТ), отвечающей за весь комплекс СВТ предприятия в целом.

На рисунке 1.1 представлена укрупненная организационная структура научно-производственного предприятия. На рисунке 1.2 приведена структура и состав управления информационных технологий (УИТ) научно-производственного предприятия.

УИТ выполняет следующие функции по управлению КСВТ предприятия:

1) осуществляет работу с поставщиками оборудования,
2) выбирает необходимые конфигурации компьютеров для производственных процессов, производит процедуру закупки новых СВТ,
3) рассматривает заявки от подразделений предприятия на получение вычислительной и оргтехники,
4) проводит анализ состояния техники, имеющейся в подразделениях,
5) производит настройку и подключение СВТ на рабочих местах пользователей, а также ремонт и техническое обслуживание техники,

6) обеспечивает бесперебойную работу информационно-вычислительной сети (ИВС) предприятия, сетевого и серверного оборудования, точек доступа к сети Интернет,
7) осуществляет разработку, внедрение и сопровождение современных систем автоматизированного проектирования (САПР) в подразделениях предприятия для повышения эффективности производства,
8) осуществляет разработку, внедрение и ведение системных проектов на предприятии для повышения эффективности производства,
9) осуществляет разработку и внедрение проектов по совершенствованию управления производством на основе использования совокупности экономико-математических методов, современных средств вычислительной техники, коммуникаций и связи и элементов теории экономической кибернетики; установку, отладку, опытную проверку и ввод в эксплуатацию комплекса технических средств автоматизированных систем управления производством; совершенствование документооборота на предприятии,
10) обеспечивает повышение эффективности разработок объектов испытаний и контроля и уменьшение затрат на их разработку; сокращение сроков испытаний образцов новой техники; повышение оперативности в получении, обработке и использовании информации о качестве и надежности изделий.

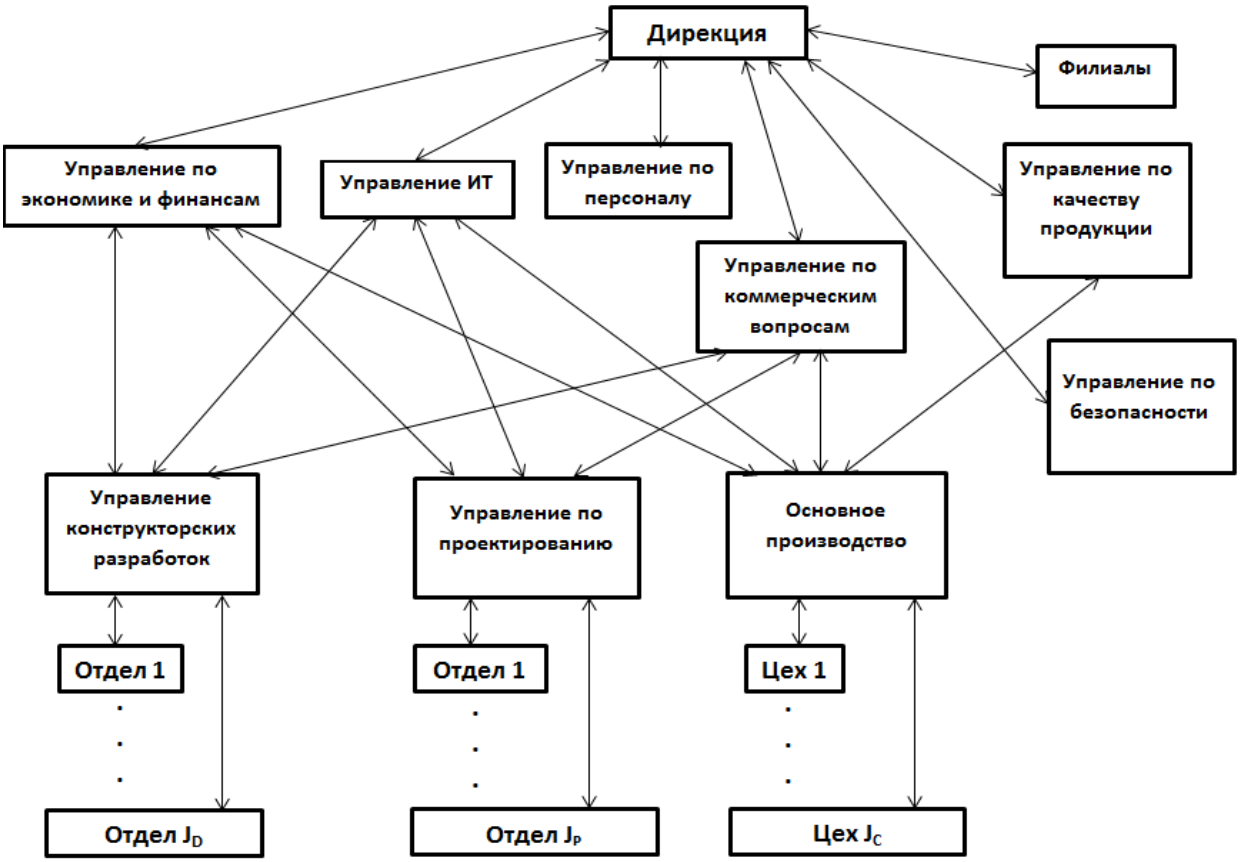


Рисунок 1.1 – Организационная структура научно-производственного предприятия

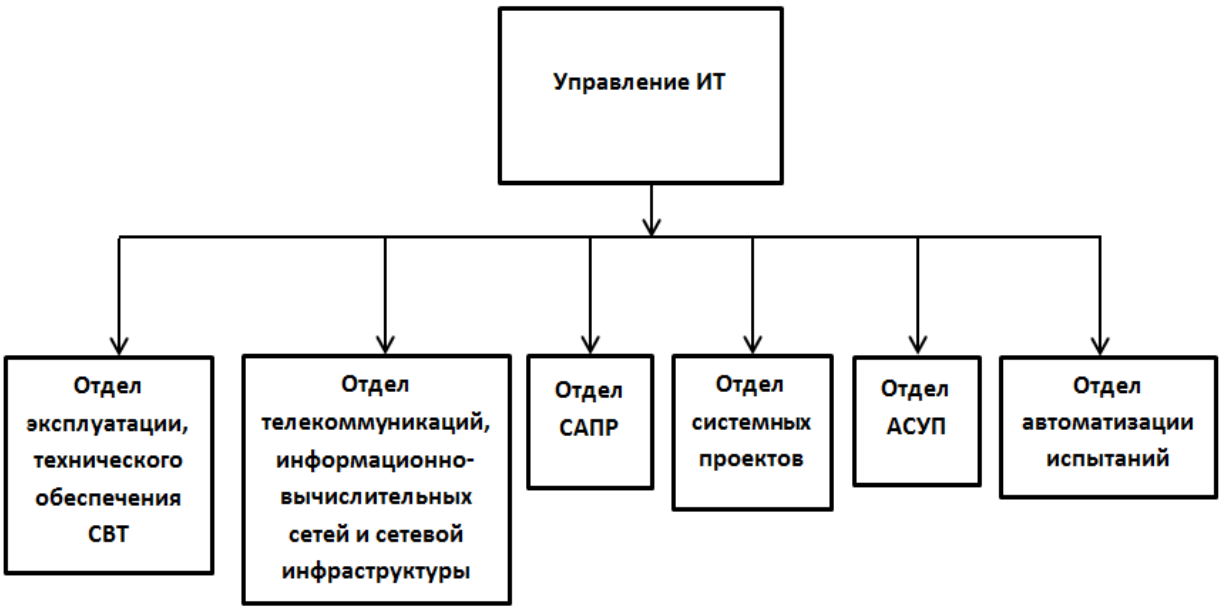


Рисунок 1.2 – Структура управления информационных технологий научно-производственного предприятия

1.1.2 Состав и характеристики средств вычислительной техники предприятия

На современном предприятии для управления производственными, проектными и технологическими процессами используются различные виды и модели компьютеров. По составу и характеристикам они подразделяются на следующие типы:

1. Графические рабочие станции – высокопроизводительные рабочие станции, предназначенные для работы с профессиональными пакетами 3D моделирования для решения сложных проектных и технологических задач. Они отличаются высокой производительностью и надежностью, а также наличием мощных видеокарт, многоядерных процессоров, большими объемами оперативной памяти и жестких дисков.
2. Инженерные рабочие станции – также обладают достаточно высокой производительностью, и предназначены для проведения инженерных и научных расчетов.
3. Офисные рабочие станции – как правило, имеют невысокую производительность и предназначены для выполнения офисных бизнес-процессов, делопроизводства, работы с документами.
4. Бездисковые рабочие станции – персональные компьютеры без несъемных средств долговременного хранения данных, предназначены только для работы в корпоративной сети предприятия. Существует два вида их использования:
    - «Толстый» клиент – операционная система и приложения загружаются с сервера по сети, или со съемного носителя, а затем выполняются локально на рабочей станции. Результаты работы (документы, с которыми работает пользователь) могут сохраняться на сервере или съемном носителе.
    - «Тонкий» клиент (терминал) – операционная система и приложения выполняются на сервере, а результаты их работы передаются на рабочую станцию, как будто пользователь работает с ними напрямую.

5. Ноутбуки, нетбуки, планшеты – мобильные портативные персональные компьютеры, могут выполнять те же задачи, что и обычные ПК, но их производительность существенно ниже.
6. Серверы – высокопроизводительные многопроцессорные вычислительные системы, подключенные к локальной или внешней сети и выполняющие задачи, связанные с базами данных. Имеют очень большие объемы оперативной памяти и дискового пространства.

Основная задача управления средствами ВТ заключается в эффективном распределении компьютерного оборудования между подразделениями предприятия и между рабочими группами внутри подразделений.

Определяющую роль в эффективном распределении и использовании средств ВТ играет комплекс задач, для выполнения которых требуется использование компьютеров. Для различных отраслей промышленности характерны различные комплексы задач. В таблице 1.1 приведены данные о подразделениях научно-производственного предприятия машиностроительной отрасли, выполняемых задачах, а также типы применяемых СВТ.

Таблица 1.1 - Виды задач и типы компьютеров для подразделений предприятия

Подразделения машиностроительного предприятия	Выполняемые задачи	Применяемые типы СВТ
Конструкторские	Конструкторские работы	Графический; Инженерный; Ноутбук
Проектировочные	Ведение проектов	Графический; Инженерный; Ноутбук
Технологические	Технологии производства	Графический; Инженерный; Ноутбук; Офисный; Терминал
Испытательные	Испытания образцов продукции	Графический; Инженерный;

Подразделения машиностроительного предприятия	Выполняемые задачи	Применяемые типы СВТ
		Ноутбук; Офисный; Терминал; Специализированный
Финансовое управление	Финансовые вопросы	Офисный; Терминал; Ноутбук
Основное и вспомогательное (если есть) производство (цеха)	Производство продукции	Графический; Инженерный; Ноутбук; Офисный; Терминал; Специализированный
Управление по персоналу (отдел кадров)	Кадровые вопросы, делопроизводство	Офисный; Терминал; Ноутбук
Управление контроля качества продукции	Контроль качества продукции	Офисный; Терминал; Ноутбук
Управление производственного планирования	Планирование	Офисный; Терминал; Ноутбук
Управление внешнеэкономической деятельности	Внешнеэкономические связи, сбыт готовой продукции	Офисный; Терминал; Ноутбук
Управление труда и зарплаты	Разработка трудовых нормативов	Офисный; Терминал; Ноутбук
Управление информационных технологий	Автоматизация управления предприятием	Сервер; Офисный; Терминал; Ноутбук; Графический; Инженерный
Бухгалтерия	Бухгалтерская отчетность, и т.д.	Офисный; Терминал; Ноутбук
Юридический отдел (управление)	Юридические вопросы	Офисный; Терминал; Ноутбук
Служба безопасности	Защита коммерческой тайны, экономическая, информационная безопасность	Офисный; Терминал; Ноутбук; Специализированный

1.2 Проблема распределения средств ВТ между подразделениями предприятия

Автоматизация производственных процессов и повсеместное внедрение информационных технологий приводит к увеличению количества используемых вычислительных средств, усложнению организации вычислительных сетей и многообразию используемого программного обеспечения.

На крупных предприятиях число единиц компьютерного оборудования достигает десятков тысяч и продолжает расти.

В настоящее время на многих предприятиях решены задачи финансово-экономического учета СВТ. Традиционный подход к управлению КСВТ на крупном предприятии связан с финансовым и материально-техническим учетом компьютерного оборудования [103]. При этом в стороне остаются проблемы эффективной организации информационно-вычислительных процессов в связи с выполняемыми задачами проектирования, конструирования и производства изделий. Могут возникать ситуации, когда при выходе из строя компьютера в резерве будет отсутствовать оборудование для немедленной замены. Это приведет к сдвигу сроков выполнения производственных задач.

Остается нерешенной проблема эффективного использования КСВТ, которая, в первую очередь, связана с рациональным распределением единиц СВТ для выполнения различных задач. Вопросы распределения компьютерного оборудования часто решаются административными методами, без учета особенностей выполняемых задач и их временных графиков. Периодичность регламентного обслуживания СВТ, организация ремонта, создание обоснованного резерва СВТ, учитывающие графики календарного планирования бизнес-процессов, выполняются не всегда эффективно.

Достижение цели диссертационного исследования связано с формулировкой и решением оптимизационных задач системного анализа.

Известен ряд фундаментальных работ в этой области.

Так, в работе [50] рассматриваются результаты анализа теоретико-игровых моделей механизмов планирования и стимулирования в многоуровневых

организационных системах. Исследуются качественно новые эффекты, которые присущи многоуровневым системам по сравнению с двухуровневыми. Они отражают влияние на эффективность управления факторов агрегирования, экономических факторов, факторов неопределенности, организационных факторов, информационных факторов. Формулируется принцип рациональной централизации, в соответствии с которым рациональными являются такие структуры и механизмы управления организационной системой, для которых любое допустимое изменение централизации с учетом перечисленных факторов приводит к снижению эффективности управления.

В статье [51] содержатся результаты исследований теоретико-игровых моделей структурного синтеза. Показано, что структура определяется типом иерархической игры, разыгрываемой участниками системы. Такой подход позволяет анализировать сетевые структуры, в которых потенциально существуют связи между всеми участниками, некоторые из которых актуализируются, порождая на время решения стоящей перед системой задачи определенную иерархию. Значительное внимание уделяется практически важным частным случаям: линейных систем, систем с побочными платежами, задачам управления проектами и др.

В работе [52] описаны основы математической теории управления организационными системами. Показаны возможность и целесообразность использования математических моделей для повышения эффективности функционирования организаций (предприятий, учреждений, фирм и т.д.). Описывается более сорока типовых механизмов – процедур принятия управленческих решений (реализующих функции планирования, организации, стимулирования и контроля): управления составом и структурой организационных систем, институционального, мотивационного и информационного управления. Их совокупность может рассматриваться как «конструктор», элементы которого позволяют создавать эффективную систему управления организацией.

В монографии [49] приведены результаты исследования математических моделей формирования и функционирования команд – коллективов, способных достигать цели автономно и согласованно при минимальных управляющих воздействиях. Выделены характеристики команды, в совокупности отличающие ее от группы, коллектива или организации. Приведен обзор известных моделей команд, а также ряд оригинальных результатов. При этом значительный акцент делается на «рефлексивные» теоретико-игровые модели, в которых автономность и слаженность совместной деятельности членов команды обеспечивается тем, что их действия согласованы с иерархией взаимных представлений друг о друге.

В монографии [14] представлено введение в математическую теорию управления организационными системами. Дается определение модели, классифицируются виды моделей и методы моделирования, перечисляются функции моделирования и требования к моделям. Рассматриваются этапы построения и исследования математических моделей, формулируются задачи оптимизации и обсуждаются проблемы устойчивости и адекватности моделей. Приводится общая модель управления и технология решения соответствующих задач моделирования. Приводятся минимально необходимые и используемые при построении моделей функционирования организаций сведения из теории принятия решений, в том числе в условиях природной и игровой неопределенности. Приведены основные подходы и результаты исследования теоретико-игровых задач стимулирования. Проводится обзор моделей иерархических структур, описываются базовая и общая модель иерархии управления, формулируются и решаются задачи синтеза оптимальных иерархических организационных структур.

В статье [145] рассматривается организационная система: совокупность некоторых элементов, иерархически связанных для выполнения набора функций. Предполагается, что результат деятельности системы зависит от ее структуры. На множестве всевозможных структур (графов организации) определены затраты на функционирование системы и на реструктуризацию. Оптимальное управление структурными изменениями на конечном отрезке времени состоит в выборе такой

последовательности структурных преобразований, которая максимизирует суммарную прибыль. Оптимальное управление позволяет сбалансировать затраты на функционирование (эффективность) и на реструктуризацию (устойчивость к внешним воздействиям).

В работе [22] разработаны математическая модель и нотация описания комплексных механизмов управления организационным поведением на основе комбинирования относительно простых базовых механизмов управления (распределения ресурса, стимулирования, контроля и т. п.) в ациклический граф многошаговой игры, описывающей рассматриваемую организационную систему. Новизна нотации определяется тем, что, в отличие от стохастических игр на графах, в каждом состоянии задается не игра в нормальной форме, а иерархическая игра с неполной, в общем случае, информацией. Предложен метод исследования свойств комплексных механизмов управления организационным поведением с использованием аналогичной динамическому программированию процедуры обратной индукции. Метод позволяет в максимальной степени воспользоваться наработками теории управления организационными системами в области построения изолированных механизмов управления для типовых ситуаций взаимодействия участников организационных систем и применять их как «строительные блоки» для построения комплексных механизмов, позволяя при этом находить наилучшие параметры комплексного механизма управления, сохранять положительные свойства базовых механизмов управления (в частности, неманипулируемость) при их объединении в комплексный механизм. Применимость метода показана на простых примерах построения комплексных механизмов планирования, стимулирования и контроля, намечены перспективы развития теории.

В статье [35] рассматриваются проблемы интеллектуального управления современными электроэнергетическими системами с распределенными энергоресурсами. Указанные системы включают в себя разнообразные энергоприемники (в том числе с управляемой нагрузкой), локальные генерирующие установки и накопители электроэнергии. Показана

целесообразность формирования и исполнения прикладных систем управления такими объектами на базе единой цифровой платформы. Описан типовой процесс управления на базе платформы, направленный на повышение эффективности совместного функционирования физических либо виртуальных групп распределенных энергоресурсов с помощью оптимизационного планирования и виртуальной отработки на цифровых двойниках. Перечислены актуальные сценарии использования платформы в оперативном управлении распределенными энергоресурсами. Представлены задачи математического обеспечения платформы: автоматическое моделирование и анализ электрических режимов на цифровых двойниках, оптимизационное планирование и управление, прогнозирование профилей потребления/генерации и технико-экономических факторов.

В работе [59] рассматриваются принципы построения интеллектуальных автоматизированных систем учета энергоресурсов как основы для построения усовершенствованных измерительных систем (AMI). Исследованы основные задачи технологии моделирования и оптимизации энергоресурсов и воды в сложных интеллектуальных системах учета и мониторинга энергоресурсов и воды. Рассмотрены принципы построения интеллектуальных систем управления спросом.

В статье [53] приводится общая математическая постановка задачи оптимизации структуры иерархической системы. Описываются алгоритмические и аналитические методы поиска оптимальных иерархий для различных подклассов секционных функций затрат, в частности, нижние оценки затрат оптимальной древовидной иерархии для однородной функции затрат, алгоритм поиска оптимальной древовидной иерархии с заданными ветвистостями вершин для аддитивной функции затрат, алгоритм поиска приближенного оптимальной древовидной иерархии для секционной функции затрат общего вида. Теоретические результаты иллюстрируются на примере задач построения дерева принятия решений, оптимизации пользовательских меню, синтеза организационной структуры производственной компании.

Анализ имеющихся источников подтвердил тезис о частичной нерешенности проблемы распределения СВТ внутри предприятия с учетом производственного расписания, особенностью проектных и конструкторских задач и условий эксплуатации компьютерного оборудования.

В связи с этим исследования, проводимые в настоящей диссертационной работе, являются актуальными.

1.3 Информационные технологии при учете и мониторинге состояния КСВТ

Для выполнения системного анализа такого сложного объекта, как КСВТ, необходимо иметь репрезентативную информацию о конфигурации и состоянии средств вычислительной техники. Основой эффективного управления средствами вычислительной техники является автоматический учет существующей номенклатуры КСВТ. При этом компьютеры должны автоматически определять свои основные характеристики, и, в соответствии с определенным регламентом, передавать их в специальную базу данных КСВТ. На основании автоматического аудита сведений о предприятии и сотрудниках формируется хранилище данных о вычислительной технике (хранилище КСВТ). Целесообразно рассматривать хранилище КСВТ как составную часть единого информационного хранилища предприятия [70].

Автоматический учет средств вычислительной техники заключается в диагностике, сборе и хранении информации о характеристиках компьютеров и их периферийного оборудования.

Диагностику проводит программа-агент, которая запускается на компьютере пользователя и выполняет функции персонального электронного агента по средствам вычислительной техники. Запуск агента может происходить:

- в домене - при регистрации пользователя,
- в рабочей группе - при загрузке операционной системы.

Запуск этой программы на машинах пользователей обеспечивают администраторы информационной системы предприятия. По способу диагностики параметры СВТ можно условно разделить на классы:

1. Определяемые автоматически параметры (объем оперативной памяти, тип и частота процессора, объем жестких дисков, и т. д.).

2. Пользовательские данные (местоположение и почтовый адрес пользователя).

Для каждого компьютера используются следующие параметры:

- характеристики процессора (производитель, модель процессора, тактовая частота, количество ядер),
- характеристики материнской платы (производитель, модель материнской платы, тип сокета),
- характеристики оперативной памяти (тип памяти и ее объем),
- характеристики внешних накопителей (количество дисков, емкость, быстродействие),
- характеристики видеокарты (производитель и модель видеокарты, число графических процессоров, объем видеопамяти),
- сетевые характеристики,
- характеристики пользователя (фамилия, имя, отчество, подразделение, контактные данные),
- характеристики местоположения на предприятии.

Анализ сведений о средствах вычислительной техники должен производиться в соответствии с разработанными и утвержденными на предприятии методиками. Такой подход обеспечивает единство параметров и показателей, использующихся разными отделами для анализа одного объекта (СВТ), но в разных разрезах. Например, показатели в отчётах, подготовленных бухгалтерией (в разрезе основных средств), будут соответствовать показателям в отчетах, подготовленных отделом ИТ (в разрезе моделей и типов вычислительной техники) и показателям в отчетах, подготовленных экономистами (в разрезе

организационной структуры предприятия). В случае, если отчеты подготовлены по одинаковой выборке, итоговые показатели в них должны будут совпадать [4].

Таким образом, контрольно-аналитические работы по сведениям о средствах вычислительной техники включают следующие этапы:

1. Разработка единого корпоративного семантического слоя, обеспечивающего единую трактовку параметров и показателей анализа средств вычислительной техники.

2. Разработка корпоративных методик анализа средств вычислительной техники.

3. Проведение анализа по уже разработанным методикам по инициативе аналитиков (руководства) либо в соответствии с определенным регламентом.

4. Планирование и прогнозирование показателей по эксплуатации средств вычислительной техники, основанное на результатах анализа.

В общем случае, анализ эксплуатации вычислительной техники на предприятии должен быть многомерным. Множество параметров и показателей, принятых на предприятии для анализа средств вычислительной техники, их определенная трактовка и реализация (т. е. связь с полями таблиц базы данных) формируют семантический слой, который обеспечивает единство применяемых методов анализа.

Для правильного функционирования сложной вычислительной системы требуется качественная система мониторинга, дающая подробную картину функционирования и производительности ее элементов, своевременно оповещающая о сбоях и позволяющая проводить комплексный анализ работы системы.

Существуют программные средства, которые автоматически выполняют мониторинг характеристик компьютеров: производительности процессора и видеокарт, использования памяти, загрузку подсистемы ввода-вывода др. Кроме штатных средств ОС Windows 8 и 10, широко распространены такие программные средства, как AIDA64, 3DMark, Cinebench, которые ориентированы на анализ работы графических приложений [85, 86, 96]. Это позволяет сформировать

представительный набор параметров, использующийся для оценки эффективности работы компьютеров при выполнении производственных задач.

В статье [37] рассмотрена информационная модель взаимодействия компонентов системы мониторинга, предложена архитектура, реализующая принципы универсальности, расширяемости и адаптивности; рассмотрено решение задач, возникших в процессе построения системы мониторинга Центрального информационно-вычислительного комплекса Объединенного Института Ядерных Исследований (ЦИВК ОИЯИ).

В работе [84] рассматриваются вопросы применения интеллектуальных технологий в сетевом мониторинге компьютерных сетей, являющиеся важными дополнениями к системам сетевого мониторинга, вопросы использования мобильных агентов в системах сетевого мониторинга и управления сетью, а также методов машинного обучения для классификации сетевого трафика.

В статье [44] представлено описание актуальности проблемы мониторинга и диагностики аппаратного и программного обеспечения компьютерного оборудования. Описан новый подход к проведению технического обслуживания компьютерного оборудования. Представлено описание возможного метода для мониторинга и диагностики аппаратного и программного обеспечения компьютерного оборудования. Рассмотрены основные элементы и ключевые показатели работоспособности элементов системного блока компьютера.

В работе [33] рассмотрены результаты диссертационного исследования по созданию концепции программно-информационной поддержки проактивного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) промышленного оборудования, реализующей подход непрерывного улучшения для процесса ТОиР, а также полученные методы и алгоритмы поддержки процессов организации ТОиР промышленного оборудования предприятий и сервисных организаций в контексте всего жизненного цикла. Предложена совокупность моделей и методов программно-информационной поддержки принятия управленческих решений по обеспечению работоспособности промышленного оборудования, реализующая

комплексный подход к организации системы его технического обслуживания, ремонта и модернизации [33].

В статье [32] проанализированы основные элементы комплексного методологического подхода к решению задач организации программной, информационной и методической поддержки технического обслуживания и ремонта производственного оборудования. Описаны основные задачи организации ТОиР оборудования и способы их решения, элементы свода знаний организации ТОиР.

Однако, в данных работах не уделено внимание оптимизации использования ресурсов КСВТ на крупном предприятии.

1.4 Существующие технологии поддержки принятия решений при управлении вычислительными ресурсами научно-производственного предприятия

Для эффективного решения производственных задач требуется постоянное обновление СВТ предприятия. Этот процесс включает в себя закупку новой, модернизацию имеющейся и вывод из эксплуатации устаревшей техники. Приобретение новой техники всегда ограничивается бюджетом предприятия, выделенным на ее закупку. На рисунке 1.3 показана схема распределения и эксплуатации новой техники на предприятии.

Перед приобретением новой вычислительной техники происходит ознакомление с предложениями поставщиков и выбор необходимых конфигураций СВТ. Затем определяется необходимое количество ПК каждой конфигурации и периферийных устройств, исходя из бюджета, выделенного на закупку. Далее производится процедура закупки и доставки СВТ на склад предприятия.

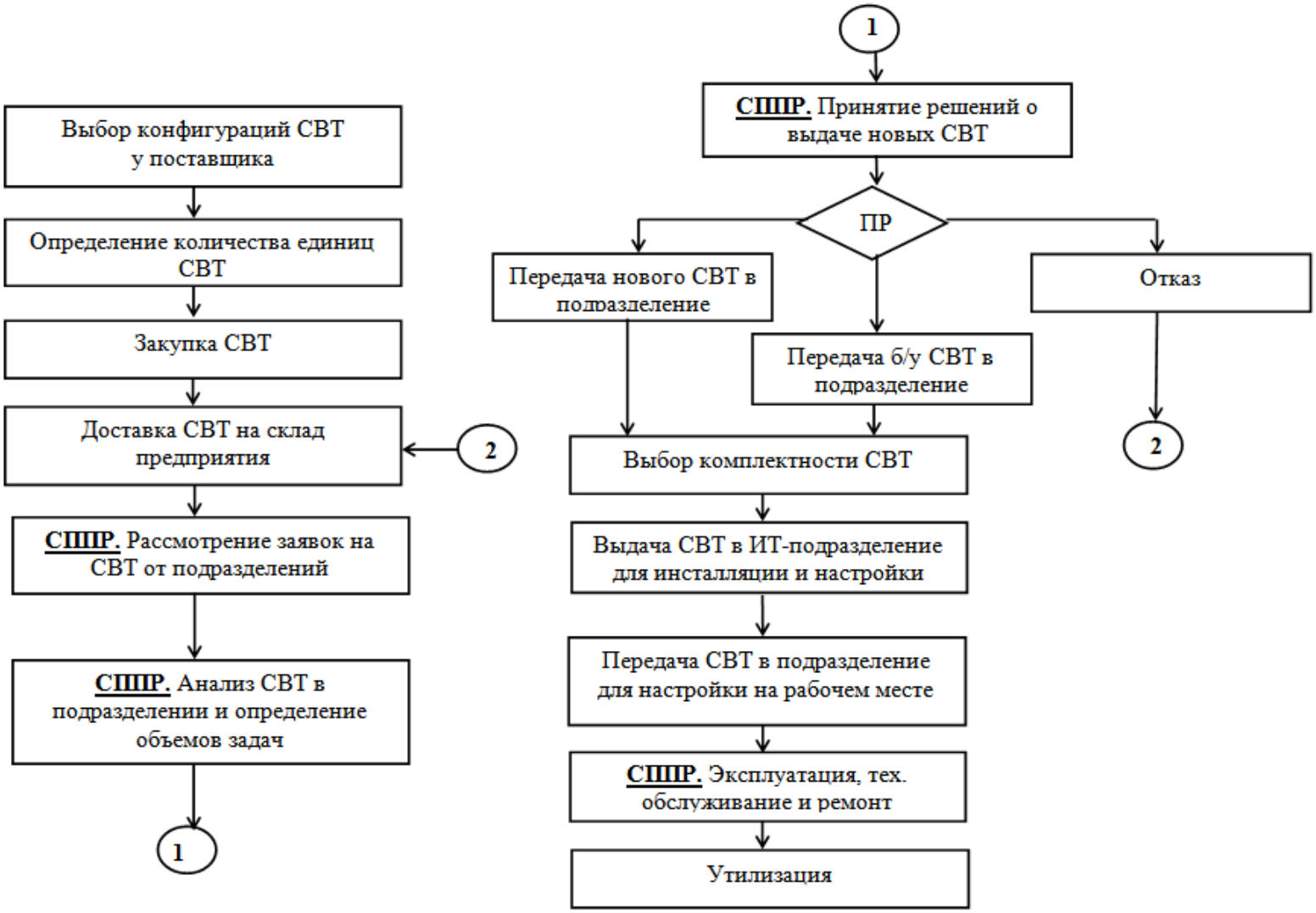


Рисунок 1.3 - Схема распределения и эксплуатации новых СВТ на предприятии

Перед распределением приобретенной техники рассматриваются заявки от подразделений предприятия на получение СВТ. Проводится анализ имеющихся в подразделении СВТ, задач, объемов работы, выполняемых подразделением, а также оценка степени ее важности для предприятия. По результатам анализа принимается решение о выдаче техники (новой или б/у) в подразделение или об отказе, в случае, если анализ покажет избыточное количество СВТ в подразделении или их низкую загрузку. Выбирается необходимая конфигурация и комплектность (количество мониторов, наличие/отсутствие периферийного оборудования в комплекте и т.п.) выдаваемой техники. Затем техника выдается со склада в управление ИТ для настройки, установки операционной системы, необходимых программ по заявкам от подразделений. После настройки техника передается в эксплуатацию в подразделение, устанавливается и настраивается на рабочем месте пользователя.

В процессе эксплуатации осуществляется плановое техническое обслуживание по установленному регламенту и ремонт в случае отказов. При выходе из строя и невозможности восстановления работоспособности техника выводится из эксплуатации и утилизируется в установленном порядке.

Задачи, поставленные в диссертации, направлены на разработку моделей и алгоритмов, конечной целью которых является создание системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении комплексом СВТ. На рисунке 1.3 функции, возлагаемые на СППР, показаны в соответствующих блоках схемы.

На рисунке 1.4 показана схема распределения и эксплуатации уже имеющейся техники на предприятии.

При прекращении использования в подразделении вычислительная техника сдается на склад предприятия. В дальнейшем процесс распределения СВТ происходит аналогично описанному выше распределению новой техники.

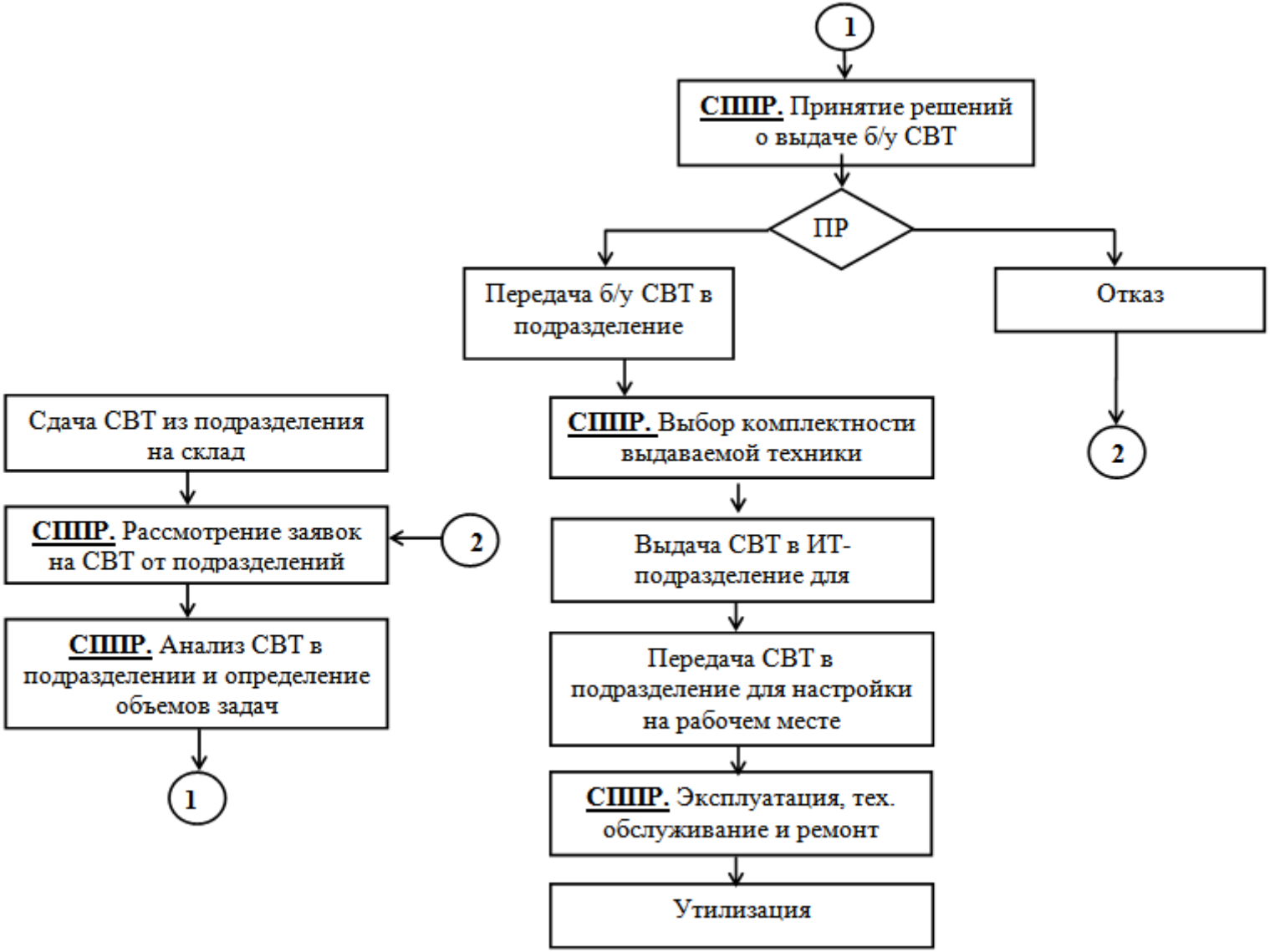


Рисунок 1.4 - Схема распределения и эксплуатации СВТ, имеющихся на предприятии

1.5 Методы решения задачи использования средств вычислительной техники в подразделениях предприятия

1.5.1 Задачи оптимального распределения компьютерного оборудования в подразделениях

При постановке задачи оптимизации главный вопрос, – какие критерии используются в целевой функции. При решении поставленных в диссертации задач наиболее важными являются два критерия: а) минимизация капитальных и эксплуатационных затрат, б) минимизация отклонений от плановых значений сроков выполнения производственных задач с использованием СВТ.

Обзор известных работ показал, что в большинстве случаев ищется такое распределение СВТ, которое обеспечивает минимум затрат при выполнении ряда дополнительных ограничений на работу компьютерной техники.

Известен подход к построению математической модели выбора и распределения ресурсов в информационных системах, позволяющей повысить их качество функционирования. Предложенный подход состоит в выделении двух иерархических и взаимосвязанных уровней, обеспечивающих жизненный цикл информационной системы, при решении общей ресурсной задачи. На основе использования методов системного анализа были поставлены оптимизационные задачи, решения которых позволяют обеспечить жизненный цикл функционирования информационной системы [4].

Известны работы, где рассмотрены постановка и решение задач распределения ресурсов в сетевых информационных системах и их координации. Сформулирована задача оптимизации структуры сетевой информационной системы в аспекте оптимального распределения функций (функциональных задач) между узлами системы. Приведен пример поиска оптимального решения с использованием варианта «жадного» алгоритма метода ветвей и границ. Показаны трудности поиска оптимального решения в силу большой размерности задач, наличия существенного числа случайных факторов [16].

В статье [40] рассматривается системное описание задач выбора и распределения ресурсов информационных систем, позволяющее выделить

системные компоненты и определить общесистемные характеристики, благодаря чему обеспечивается построение эффективных информационных систем.

Работа [27] посвящена формализации процесса выбора и распределения ресурсов в сетецентрических системах энергосберегающего управления. На основе использования методов системного анализа поставлены оптимизационные задачи, решения которых позволяют обеспечить жизненный цикл функционирования сетецентрических систем энергосберегающего управления.

В первом томе монографии [69] рассмотрены типы управляющих систем, методы учета и использования субъективных оценок в процессе компьютерного формирования управленческих решений, методы компьютерной поддержки управленческих решений, некоторые математические методы, используемые в компьютерных системах управления.

В работе [3] рассматриваются задачи оптимизации вещественных функций бинарных переменных. Разрабатываются точные регулярные алгоритмы, реализующие свойства конкретных классов задач. Разработанные алгоритмы применяются для решения любых практических задач, сводящихся к задачам оптимизации псевдобулевых функций.

В статье [105] проводится анализ информационной системы (ИС) предприятия в выбранной организации, обобщаются преимущества и выявляются недостатки системы с последующим предложением системных изменений, компенсирующих выявленные недостатки. Дается определение информационной системы предприятия, описание типов информационных систем и их жизненного цикла, среды информационной системы предприятия, ее реализации, а также структуры информационной системы (оборудование, программное обеспечение, процессы). Также в работе дается предложение по оптимизации информационной системы и ее выбору.

В работе[126] вводится основа для изучения взаимодействий компонентов автономной системы и проектирования структуры связности в системах систем (SoSs). Эта структура, использующая сложные сетевые модели, также используется для изучения влияния структуры связности на управление

ресурсами. Обсуждается совместное использование ресурсов как механизм, который добавляет уровень гибкости распределенным системам, и описываются структуры подключения, которые расширяют доступ компонентов к имеющимся ресурсам внутри системы. Кроме того, определяются оптимальные структуры связности для систем с различными условиями гетерогенности.

Однако, в данных работах не уделено внимание следующим вопросам оптимизации использования ресурсов КСВТ на предприятии:

- определение состава и взаимосвязей СВТ, находящихся в подразделениях предприятия с учетом всех моделей и модификаций компьютерного оборудования;
- распределение вычислительных средств подразделений для выполнения производственных задач с минимизацией эксплуатационных затрат;
- формирование общей структуры КСВТ предприятия с привязкой к распределению выбранных задач по подразделениям.

1.5.2. Методы имитационного моделирования процессов жизненного цикла КСВТ

Современное промышленное производство характеризуется непрерывным совершенствованием, как технологических процессов, так и методов и средств управления, обработки данных и принятия решений. В этой связи комплекс СВТ крупного предприятия находится в постоянном преобразовании и развитии. Это обстоятельство приводит к необходимости использовать методы и системы управления жизненным циклом вычислительных средств.

Система управления жизненным циклом производственных систем (PLM) включает все этапы развития: от концептуального решения, проектирования и до завершения эксплуатации. В настоящее время имеется большое число теоретических и практических работ в этой области.

Так, в работе [95] приводится обзор производственных систем «с нуля». Рассматриваются структура принятия решений для производства,

производственные процессы, проектирование производства и эксплуатация производственных систем.

Создан ряд программных систем, поддерживающих технологию PLM [146].

Комплекс средств вычислительной техники крупного научно-производственного предприятия насчитывает десятки тысяч единиц. В связи с этим возникает задача эффективного использования СВТ как с точки зрения финансовых затрат, так и обеспечения производственных и бизнес-процессов. В настоящее время активно развивается подход ITSLM (IT Service Life Cycle Management), обеспечивающий оперативность и прозрачность поддержки ИТ-процессов и снижающий стоимость затрат при реализации их на предприятии [92].

В работе [110] подробно описаны два варианта использования ITSLM: оптимизация проектирования отказоустойчивости и автоматизация предоставления IT-услуг. В этих областях обсуждаются подходящие уровни сложности моделей, компьютерная поддержка задач и передача знаний между этими моделями.

Модели и задачи сетевого программирования для оптимизации ИТ-процессов на этапах жизненного цикла рассмотрены в работе [151]. При этом использованы критерии, учитывающие инвестиционные затраты на реализацию ИТ-проектов и изменение операционных затрат на их эксплуатацию.

Подходы к оптимизации доступности и стоимости ИТ-услуг рассмотрены в статьях [88, 90]. В этих работах определяется многокритериальная проблема распределения избыточности для проектирования ИТ-услуг. Используется моделирование сети Петри методом Монте-Карло, при этом оценивается доступность и стоимость конкретного ИТ-продукта. Также здесь рассмотрен адаптированный генетический алгоритм для оптимизации затрат на поддержку ИТ-системы поставщика прикладных услуг.

В работах [4, 16, 40] были предложены оптимизационные модели распределения СВТ, учитывающие технические характеристики компьютерного оборудования и структуру каналов связи. Этот подход был развит автором в

работах [76, 129], где была поставлена и решена задача дискретной оптимизации с булевыми переменными. Ограничения задачи учитывали многообразие номенклатуры серверов, рабочих станций, инженерных и офисных компьютеров.

Однако решение статического распределения компьютерного оборудования по подразделениям предприятия не дает информации об эффективном использовании СВТ в течение жизненного цикла. Остаются не рассмотренными условия возникновения конфликтных ситуаций, связанных с недостаточностью вычислительных ресурсов, необходимостью периодического технического обслуживания и выполнения ремонтных работ. Для решения этой проблемы предлагается использовать оптимизационно-имитационный подход, при котором решение оптимизационных задач распределения на следующем этапе верифицируется на имитационной модели [87, 143].

1.6 Единое информационное пространство НПП

В данном пункте рассмотрены подходы к использованию информационных технологий при проектировании изделий ракетно-космической техники (РКТ) на примере научно-производственного предприятия АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара. Современный подход к проектированию изделий РКТ состоит в том, что математические модели высокого уровня используются на ранних стадиях проектирования, и в создании этих моделей принимают участие аналитики, проектанты, конструкторы и другие специалисты. Новые информационные технологии дают возможности для распараллеливания многих видов работ, что позволяет решить одну из важнейших задач - сокращение времени разработки изделий. Повышение производительности СВТ и функциональных возможностей рабочих станций обеспечивает ускорение и сокращение сроков процесса проектирования.

В работе [79] показана необходимость в создании единого информационного пространства (ЕИП) предприятия, позволяющего интегрировать в единую систему используемые информационные технологии, управлять данными, генерируемыми на различных этапах ЖЦ изделий, и осуществлять оперативный

информационный обмен между участниками бизнес-процессов. Одной из новых задач, реализуемых в ЕИП предприятия, является управление комплексом средств вычислительной техники. Архитектура ЕИП научно-производственного предприятия представлена на рисунке 1.5 ([79, с. 134]).

Основными системами являются:

- система управления инженерными данными Windchill PDMLink,
- базовая система САПР PLM CreoElements/Pro (Pro/Engineer),
- система планирования ресурсов (ERP) ,
- аналитические системы для конструирования и проектирования ЛОГОС, ANSYS, NASTRAN,
- система электронного документооборота.

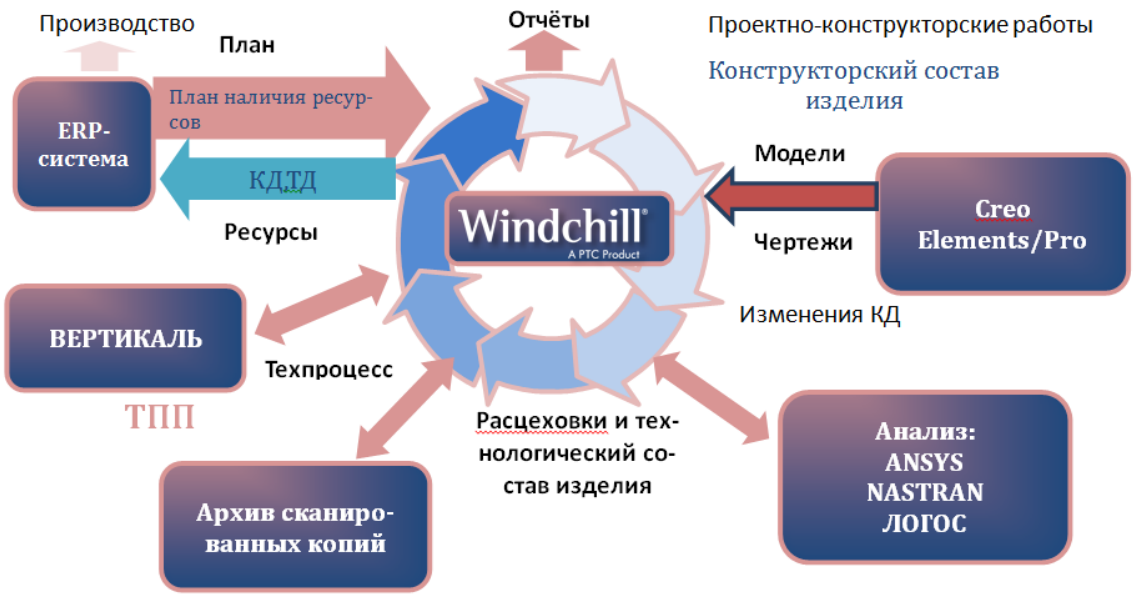


Рисунок 1.5 – Архитектура ЕИП научно-производственного предприятия

Решение поставленных в диссертации задач должно основываться на интеграции в ЕИП предприятия разрабатываемых методик, моделей и алгоритмов. Организация управления комплексом СВТ включает разработку важнейшего компонента – системы поддержки принятия решений по приобретению, распределению и обслуживанию компьютерного оборудования при соблюдении качества и сроков проектных работ.

1.7 Система поддержки принятия решений при управлении жизненным циклом комплекса СВТ

1.7.1 Управление КСВТ с использованием СППР

Задача управления средствами вычислительной техники с работой нескольких подразделений предприятия: управлением информационных технологий (УИТ), планово-экономическим управлением (ПЭУ), управлением по работе с персоналом. На рисунке 1.6 показана структура управления КСВТ на научно-производственном предприятии, в состав которой входит система поддержки принятия решений (СППР).

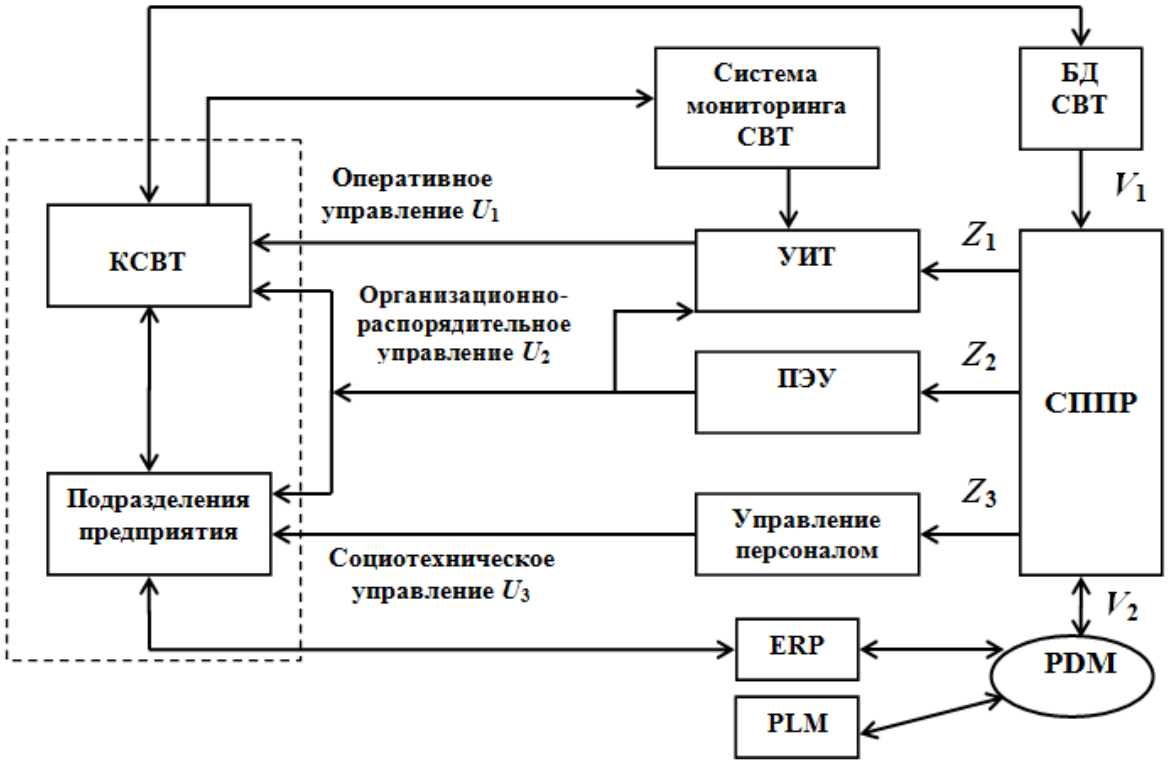


Рисунок 1.6 – Структура управления КСВТ на НПП

ЕИП предприятия представлено следующими компонентами:

- ERP, PLM и PDM системы, которые предоставляют информацию для СППР и сопровождают принимаемые решения,
- БД СВТ - единая база данных предприятия с информацией обо всех использующихся средствах вычислительной техники.

Реализованы следующие основные типы управления для функционирования КСВТ при выполнении бизнес-процессов предприятия.

1. Оперативное управление U_1. Поддерживает жизненный цикл СВТ и заключается в принятии решений об инсталляции СВТ, модернизации, техническом обслуживании, ремонте и выводе из эксплуатации.

2. Организационно-распорядительное управление U_2. Заключается в формировании электронного документооборота для сопровождения бизнес-процессов по реализации принятых с помощью СППР решений, касающихся КСВТ. Современный подход к построению таких систем в машиностроении описан в работе [66].

3. Социотехническое управление U_3. Оно направлено на обеспечение подразделений кадровым составом, обладающим необходимыми компетенциями для использования средств вычислительной техники, подбор эффективных команд исполнителей. Второй аспект этого типа управления – организация обучения и повышения квалификации персонала как УИТ, так и производственных подразделений в части работы с компьютерным и сетевым оборудованием, программным обеспечением всех подсистем ЕИП научно-производственного предприятия.

Оперативность всех типов управления КСВТ обеспечивается системами мониторинга, как текущего состояния средств вычислительной техники, так и ходом выполнения производственных задач.

1.7.2 Оптимизационно-имитационный подход при решении задач эффективного использования КСВТ на НПП

Как уже упоминалось ранее, актуальной задачей является оптимизация распределения компьютеров и сетевого оборудования и их регламентного технического обслуживания [116, 150].

В статье [125] внимание уделяется только финансовой стороне обеспечения производства средствами вычислительной техники.

На многих предприятиях принятие решений о распределении компьютеров между подразделениями происходит без учета производственной программы и

конкретных графиков производственных процессов. Отсутствует системный подход к использованию новых видов компьютерных ресурсов: облачных технологий, виртуальных сетей, хранилищ данных. Задача осложняется высокой степенью неопределенности при учете всех факторов, влияющих на эффективное использование компьютерного оборудования [107, 114].

Постановка и решение задачи дискретной оптимизации при распределении компьютерного оборудования рассмотрены в статье [129]. Там же предложен комплекс системных моделей, в состав которых входят оптимизационная модель в виде задачи дискретного программирования, имитационная дискретно-событийная модель и модель оценки эффективности функционирования на основе DEA.

В данном диссертационном исследовании предлагается использовать оптимизационно-имитационный подход, развиваемый А.Д. Цвиркуном [1, 87, 144]. В его основе лежит совместный анализ оптимизационной и имитационной моделей функционирования сложной системы. Рассматривается сложная организационно-техническая система, включающая компьютерное оборудование в подразделениях НПП, календарно-сетевые графики выполнения производственных задач, систему поддержки принятия решений.

В качестве методологической основы построения системных моделей использована алгебраическая модель сложной системы с гибкой структурой, развитая С.П. Орловым в работах [54 - 56].

Информационно-вычислительная система предприятия в виде КСВТ, предназначенная для обеспечения всех производственных и бизнес-процессов, изменяет свою структуру, адаптируясь к выполняемым задачам в течение жизненного цикла. Переменная структура КСВТ может быть представлена в виде графовой модели. Она должна отражать сложность системы КСВТ, взаимосвязь подсистем и изменение их во времени. В работе [54] была предложена методика структурного синтеза развивающейся информационной системы на основе алгебраических моделей.

Система комплекса СВТ предприятия называется решеточной, если ее модель есть тройка:

$$\Psi_L = \langle \Psi_a, \Psi_b, P_0(\Psi_a, \Psi_b) \rangle = \langle M_a, S_{a1}, ..., S_{an}, M_b, S_{b1}, S_{b2}, P_0(\Psi_a, \Psi_b) \rangle, \qquad (1.1)$$

где Ψ_a - модель, описывающая поведение системы,

Ψ_b - модель структуры системы;

предикат функциональной целостности $P_0(\Psi_a, \Psi_b) = 1$, если существует взаимно однозначное преобразование моделей $\Psi_a \to \Psi_b$, и равен нулю в противном случае,

M_a– множество-носитель модели Ψ_a,

$S_{a1}, ..., S_{an}$ - произвольные операции,

M_b - множество-носитель модели Ψ_b,

S_{b1}, S_{b2} - бинарные операции, для которых выполняются законы идемпотентности, ассоциативности, коммутативности и поглощения.

В большинстве решеточных моделей операции S_{b1}, S_{b2} есть операции объединения и пересечения. Таким образом, модель Ψ_a поведения КСВТ в первую очередь определяется множеством задач, поставленных на определенный период времени.

Задача управления КСВТ формулируется следующим образом: на множестве Z задач с календарно-сетевым графиком G, заданным в виде диаграммы Ганта, найти такое распределение задач и ресурсов R средств вычислительной техники, при которых будут обеспечены экстремумы некоторых критериев. В большинстве случаев следует минимизировать сроки выполнения групп задач и минимизировать стоимость КСВТ на планируемом периоде при ограничениях на технические, программные и трудовые ресурсы.

Для решения подобных задач структурного синтеза часто используют методы оптимизации дискретного программирования с булевыми переменными. Однако, при постановке оптимизационной задачи для модели (1.1), кроме

линейных алгебраических ограничений типа равенств и неравенств, появляются так называемые алгоритмические ограничения, связанные с использованием вычислительных ресурсов, например:

- запросы разными задачами одних и тех же вычислительных ресурсов,
- выполнение операций технического обслуживания или ремонта, прерывающих выполнение производственных задач,
- наличие исключительных состояний вычислительных процессов типа «блокировка», «зависание», «бесконечный цикл» и др.,
- ограничения на длины очередей сообщений,
- пропускные способности каналов.

В этом случае целесообразно применять оптимизационно-имитационный подход к структурному синтезу системы [40]. Он заключается в выполнении следующих этапов:

1. Формирование оптимизационной модели Ψ_b (ОМ) с аналитическими ограничениями, решение которой дает первое приближение варианта искомой структуры КСВТ.

2. Формирование на базе ОМ имитационной модели (ИМ) в виде дискретно-событийной системы Ψ_a.

3. Анализ поведения структуры Ψ_b КСВТ с помощью ИМ и проверка выполнения алгоритмических ограничений.

4. В случае если все алгоритмические ограничения ИМ не удовлетворены, проводится коррекция параметров оптимизационной модели Ψ_b и повторение пунктов 1 – 4.

5.Завершение процедуры при получении заданных значений критериев оптимизации.

В качестве дискретно-событийной модели Ψ_a целесообразно использовать сети Петри, которые эффективно осуществляют имитационное моделирование сценариев поведения системы и выявляют ее структурные свойства, приводящие к конфликтным ситуациям [57, 111, 131, 132].

1.7.3. Разработка системных моделей распределения и функционирования компьютерного оборудования на предприятии

В диссертации предлагается комплекс гетерогенных системных моделей, охватывающий различные стадии жизненного цикла информационной системы предприятия. Этот комплекс моделей положен в основу методики автоматизации управления КСВТ предприятия и показан на рисунке 1.7.

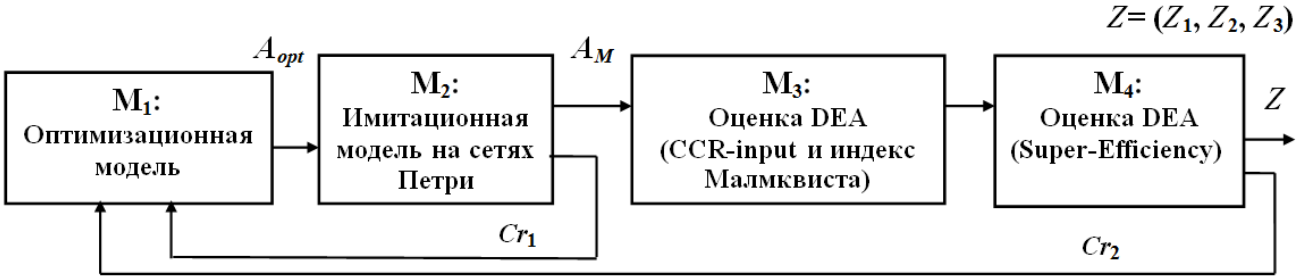


Рисунок 1.7 – Комплекс гетерогенных системных моделей для принятия решений при управлении средствами вычислительной техники

Свойство гетерогенности моделей определяется описанием разнородных, но взаимосвязанных объектов и процессов:

- состава средств вычислительной техники, находящихся в различных подразделениях предприятия;
- процессов обработки информации при выполнении производственных задач;
- сравнительной оценки количественных и качественных параметров КСВТ и подразделений предприятия с точки зрения заданных критериев.

Модель $\mathbf{M_1}$ реализована в виде оптимизационной задачи (ОМ) распределения СВТ по подразделениям. Решение A_{opt} этой задачи дает первоначальный вариант распределения СВТ по подразделениям предприятия. Модель $\mathbf{M_2}$ представляет собой имитационную модель (ИМ) на основе сетей Петри, решение A_M которой служит для исследования поведения полученной структуры информационной системы. В случае обнаружения конфликтных ситуаций, критических путей и других особенностей работы КСВТ проводится

коррекция Cr_1 оптимизационной задачи $\mathbf{M_1}$. Оценка эффективности решения проводится с использованием метода DEA (Data Envelopment Analysis), реализуемого с помощью моделей линейного программирования $\mathbf{M_3}$ и $\mathbf{M_4}$. Модель $\mathbf{M_3}$ Чарнеса – Купера - Роуда (CCR) предназначена для сравнительной оценки эффективности использования существующих средств вычислительной техники в различных подразделениях. Вторая модель $\mathbf{M_4}$ также относится к DEA и базируется на модели суперэффективности. Для оценки эффективности в различные периоды эксплуатации СВТ в диссертации использован индекс Малмквиста. Если анализ решения A_{DEA} на оценочной модели не отвечает условиям, то проводится коррекция Cr_2 задачи $\mathbf{M_1}$.

Окончательный набор решений $Z = (Z_1,Z_2,Z_3)$ является основой для выработки управляющих воздействий $U = (U_1,U_2,U_3)$ в системе управления КСВТ (рис. 1.6). При этом $Z_1 = f_1(A_{opt})$, $Z_2 = f_1(A_M)$, $Z_3 = f_1(A_{DEA})$.

Компонентами вектора U являются:

а) U_1 – оперативное управление комплексом СВТ в процессе его эксплуатации;

б) U_2 – организационно-распорядительное управление по закупке и распределению СВТ;

в) U_3 – социотехническое управление штатным составом подразделений и компетенциями сотрудников в области использования СВТ.

1.7.4. Методика принятия решений при управлении средствами ВТ на предприятии

В диссертации разработана методика поддержки принятия решений при управлении средствами вычислительной техники на научно-производственном предприятии.

В основе предлагаемой методики лежат описанные выше гетерогенные системные модели, которые реализованы в виде алгоритмов, выполняющихся в процессе поэтапной итерационной процедуры. Ниже описаны основные этапы, составляющие суть предлагаемой методики:

1. Формирование календарно-сетевых графиков основных производственных задач и определение ключевых показателей функционирования подразделений, учитывающих характеристики необходимых средств вычислительной техники.

2. Формулировка и решение задачи целочисленного программирования с булевыми переменными первоначального распределения компьютерного оборудования по подразделениям с учетом выполняемых производственных задач.

3. Имитационное моделирование процесса эксплуатации СВТ в подразделениях в соответствии с производственными графиками и с учетом вероятностных законов появления основных событий: запросов на техническое обслуживание и отказов оборудования.

4. Принятие решения о коррекции оптимизационной задачи при невыполнении условий эксплуатации, выявленных на этапе имитационного моделирования.

5. Решение задачи DEA сравнительной оценки по ключевым производственным индикаторам эффективности распределения СВТ.

6. В случае выполнения всех заданных условий вариант распределения СВТ передается в планово-экономическое подразделение предприятия.

7. При невыполнении части или всех условий повторяются пункты 1 и 2.

1.7.5. Структура системы поддержки принятия решений (СППР) в системе управления комплексом СВТ предприятия

Реализация разработанной методики выполняется в первой очереди системы поддержки принятия решений (СППР), ориентированной на проектную деятельность предприятия. Это вызвано тем, что именно в проектных группах применяется большое разнообразие конфигураций компьютерной техники: графические станции, инженерные компьютеры, серверы.

Основные задачи, решаемые в СППР:

• задача распределения СВТ по отделам и группам;

• задача согласования требуемых вычислительных ресурсов с выполняемыми проектами;

• обеспечение процессов технического обслуживания и ремонта;

• задача оценки эффективности использования вычислительных ресурсов;

• определение управляющих воздействий, обеспечивающих выполнение заданных критериев качества функционирования комплекса СВТ.

В основу разрабатываемой СППР положен комплекс системных моделей, описанный в п. 1.7.3 [129]. На рисунке 1.8 представлена общая структура СППР в составе системы управления комплексом СВТ для проектных групп предприятия.

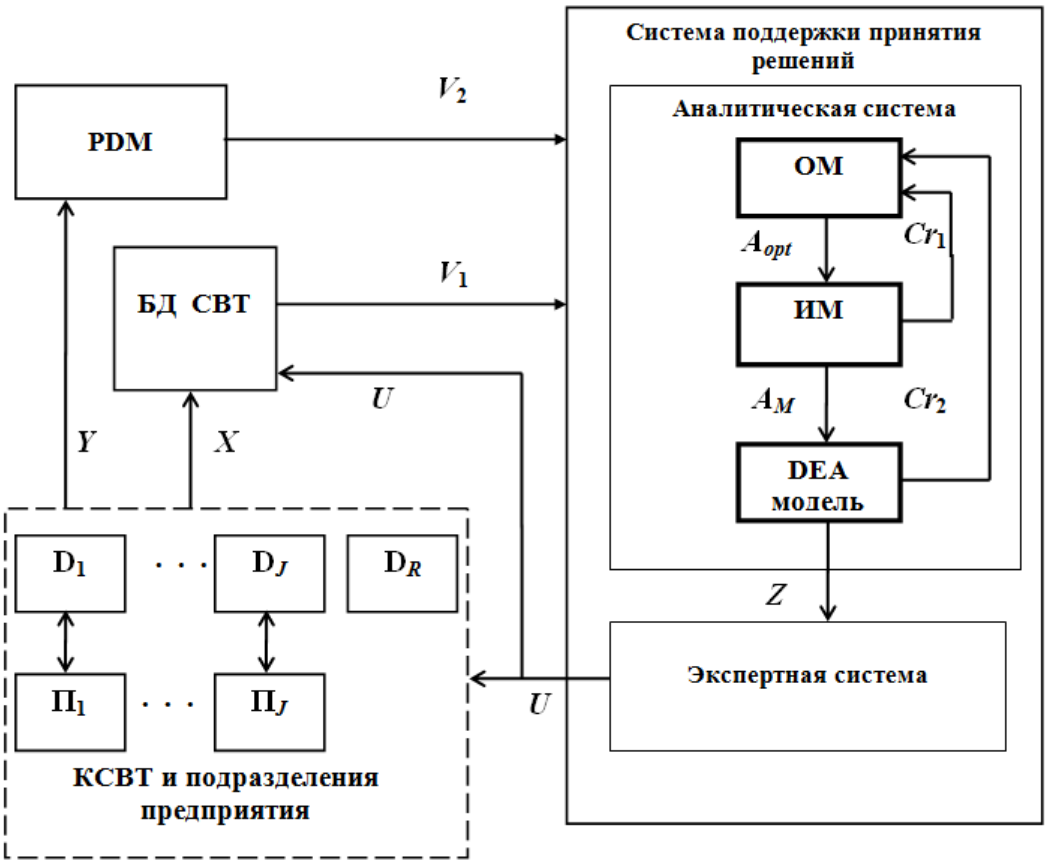


Рисунок 1.8 – СППР в системе управления КСВТ НПП

Множество $\{D_1, ..., D_J\}$ – комплексы средств ВТ в подразделениях $П_1$, ..., $П_J$ предприятия, J – число подразделений, D_R - резервный фонд компьютерного оборудования, создаваемый для замены при ремонте, регламентном обслуживании или возникновении срочной необходимости изменения конфигураций компьютеров в группах.

В состав аналитической системы СППР входят следующие блоки:

1. ОМ – оптимизационная модель распределения компьютерного оборудования по проектным группам, формулируемая в виде задачи целочисленного линейного программирования с булевыми переменными.

2. ИМ – имитационная модель на основе временных раскрашенных сетей Петри, которая описывает процессы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта СВТ при учете графиков выполнения задач проектов.

3. Оценка DEA – модель дробно-линейного программирования для интегральной оценки эффективности работы проектных групп.

4. БД СВТ – база данных по учету существующих СВТ.

5. PDM – система управления инженерными данными.

Экспертная система содержит базу фактов и базу правил логического вывода решений по прецедентам.

На рисунке 1.8 также обозначены информационные потоки и данные:

а) X –характеристики компьютерного оборудования;

б) Y – ключевые производственные показатели качества проектирования;

в) U – вектор управляющих воздействий, вырабатываемых экспертной системой;

г) V_1, V_2, – данные для оптимизационной, имитационной и оценочной моделей;

д) A_{opt} – решение оптимизационной задачи в виде бинарной матрицы назначений при распределении СВТ;

е) A_M – результаты имитационного моделирования;

ж) $Z = (Z_1,Z_2,Z_3)$ - решения, генерируемые СППР для выработки управления U;

з) Cr_1и Cr_2 – корректировки исходных данных оптимизационной задачи, если при анализе имитационной модели или оценочной модели выявлено невыполнение заданных критериев качества работы СВТ.

Вектор U управляющих воздействий имеет вид:

$$U = \varphi\ (A_{opt}, A_M, A_{DEA}). \qquad (1.2)$$

где φ – функция выработки управляющих воздействий в СППР на основе анализа системных моделей в соответствии с рисунком 1.7.

В таблице 1.2 раскрыто содержание управляющих воздействий, вырабатываемых при анализе гетерогенных системных моделей.

Таблица 1.2 - Виды задач и типы управляющих воздействий

Системная модель	Вид управления	Управляющие воздействия
Оптимизационная	Организационно-распорядительное,	-матрица назначений СВТ в подразделения; - приказы, распоряжения; - формирование бюджета; - платежи
Имитационная	Оперативное	- перераспределение СВТ; - корректировка графиков; - выполнение ТО и Р
Модель оценки эффективности	Социотехническое, Организационно-распорядительное	- формирование коллектива исполнителей; - проверка компетенций; - обучение и повышение квалификации; - корректировка планов назначения СВТ

Роль эксперта заключается в анализе решений и выработке корректировок для настройки параметров моделей. Менеджер на основе полученных решений формирует документы для распределения средств вычислительной техники по проектным группам, согласовывает их с планово-экономическими службами.

При использовании в экспертной системе СППР базы знаний необходимо контролировать качество принятия решений, выявлять ошибки в базе знаний. Для выбора критерия качества и процедур проверки базы знаний можно использовать методологию повышения качества интеллектуальных систем принятия решения, описанную в работах [24, 25].

Выводы

1. Развитие информационных технологий в производстве, проектировании и конструировании сложных промышленных изделий привело к внедрению сложных программных комплексов и, следовательно, к использованию большого числа компьютеров на научно-производственных предприятиях. В результате экономически эффективные решения по распределению средств вычислительной техники становятся все более актуальными, так как потери от неэффективно используемого компьютерного оборудования исчисляются миллионами рублей.

2. Распределение СВТ по подразделениям должно быть полностью увязано с характером выполняемых задач, учитывать сроки отдельных подзадач и имеющиеся ресурсы вычислительной техники. Анализ известных решений показал, что существуют методы, дающие, в основном, статическое распределение СВТ, без учета динамики производственных процессов. Необходимо разработать системные модели, которые обеспечат связь оптимизационной задачи о назначениях с исследуемыми производственными процессами.

3. Проведенный анализ предметной области показал, что решение выявленных проблем лежит на пути разработки гетерогенных системных моделей (оптимизационной, имитационной и оценочной), которые составляют научно-методологическую основу для функционирования системы поддержки принятия решений по распределению и управлению вычислительной техникой на крупном научно-производственном предприятии.

4. Разработана методика поддержки принятия решений при управлении СВТ, которая основана на предложенных гетерогенных системных моделях и обеспечивает всесторонний анализ взаимодействия средств вычислительной техники в процессе проектной, конструкторской и технологической разработки сложных изделий.

2 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ПРЕДПРИЯТИЯ

2.1 Выбор критериев и формирование данных для задачи оптимизации

Оперативное управление комплексом средств вычислительной техники проходит две стадии: стадию определения рационального состава СВТ и стадию распределения ресурсов вычислительной техники по конечным потребителям. Рассмотрим основные характеристики комплекса СВТ, определяющие способность выполнять множество поставленных производственных задач.

1. Техническая (аппаратная) совместимость новых средств ВТ по отношению к существующему парку СВТ на предприятии и к оборудованию, прогнозируемому для приобретения в дальнейшем. Практика показывает, что этот показатель – один из важнейших принимаемых во внимание при выборе СВТ. Тенденция приобретения средств ВТ, аппаратно совместимых с имеющимися, связана со многими объективными и субъективными причинами, где не последнее место занимает и психология заказчика, его чувство уверенности в успехе применения именно этого класса аппаратных средств.

2. Программная совместимость определяется совместимостью аппаратно-реализованной системы команд, совместимостью форматов представления данных, совместимостью трансляторов и т.д. Этот показатель оказывает значительное влияние на расход ресурсов, что вызвано большим объемом ранее подготовленных нормативных, архивных и статистических данных, а также специализацией подготовленного персонала на предприятии, имеющего опыт работы с конкретными средствами программного обеспечения.

3. Эксплуатационная совместимость компонентов комплекса средств вычислительной техники предприятия позволяет оперативно производить замену вышедшего из строя компьютерного оборудования, либо проводить передачу конкретных компьютеров из одного подразделения в другое, переназначать их с одной задачи на другую задачу.

Наиболее существенные показатели, влияющие на затраты трудовых и временных ресурсов при использовании конкретной конфигурации программно-технических средств комплексов автоматизированных рабочих мест (АРМ) и влияющие на их выбор:

• стоимость реализации «дружественного интерфейса» включает и программы обучения, и возможность быстрого получения результатов и их анализа специалистом в прикладной области;

• возможность изменения состава и содержания задач, реализуемых на конкретных компьютерах функций, в том числе перераспределения между персоналом;

• обеспечение требований защиты от несанкционированного доступа для баз знаний и баз данных, а также их «прозрачности» в случае необходимости;

• стоимость обеспечения программно-аппаратных связей во внутрицеховых комплексах СВТ, между внутрицеховыми СВТ с другими подразделениями предприятия;

• обеспечение указанных видов связей может быть также детализировано для локальных вычислительных сетей, а именно: передача данных, эмуляция терминалов, доступ к удаленным ресурсам, включая доступ к данным и запуск задач;

• возможность расширения комплексов ВТ за счет наращивания дополнительными техническими устройствами (блоками оперативной памяти, внешними запоминающими устройствами, дополнительными процессорами, принтерами и т.д.).

В параграфе 1.5.1 в процессе системного анализа комплекса СВТ крупного предприятия было установлено, что наиболее часто используются критерий стоимости КСВТ и критерий своевременного выполнения производственных задач. Для перехода от многокритериальной постановки к однокритериальной задаче в диссертации предложено минимизировать суммарную стоимость капитальных и эксплуатационных затрат на компьютерное оборудование. В этом случае, требования по срокам выполнения задач формулируются в ограничениях

оптимизационной задачи. Как правило, такие ограничения не всегда удается выразить в аналитическом виде. Они связаны с алгоритмическими свойствами задачи и анализируются с использованием имитационных моделей.

В данной главе выполняется постановка и решение задачи целочисленного линейного программирования (ЦЛП), относящейся к классу задач о назначениях [1]. Решение такой задачи дает статическое распределение компьютеров по производственным задачам, но без учета возможных алгоритмических ограничений. Согласно оптимизационно-имитационному подходу верификация таких ограничений будет выполнена на следующем этапе анализа.

Рассмотрим формирование оптимизационной модели дискретного программирования, решение которой определяет структуру комплекса СВТ Ψ_b , согласно выражению (1.1).

Критерий оптимизации: минимум затрат на закупку, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт компьютеров при распределении средств вычислительной техники по подразделениям.

Множество вычислительных задач, выполняемых в данный период на предприятии, обозначим, как $Z = \{z_k\}$, $k = \overline{1, K}$. Диаграмма Ганта описывает временную последовательность выполнения Z в различных подразделениях. Для назначения задач подразделениям используется информация, приведенная в таблице 1.1.

Пусть на предприятии имеется множество подразделений $P_j, j = \overline{1, J}$, оснащенных средствами вычислительной техники. Множество типов средств ВТ равно $Q = \{q_m\}, m = \overline{1, I^{TS}}, I^{TS}$ – число всех типов компьютеров, входящих в СВТ предприятия.

Тип вычислительного средства q_m может иметь набор различных конфигураций D_{mn}, $n = \overline{1, I_m}$, где I_m – число возможных конфигураций данного типа СВТ. Каждая конфигурация описывается вектором параметров

$(d_{m,n,1},...,d_{m,n,L(n)})$, где $L(n)$ - число параметров. Экземпляр СВТ - это отдельное техническое средство ВТ, находящееся в подразделении.

В соответствии с содержанием решаемых задач эксперты определяют для них конкретные типы СВТ и количество экземпляров каждого типа. Тогда имеем для подразделения j множество назначенных задач $Z_j = \{z_k\}, k \in I_j^Z$, где I_j^Z – соответствующее индексное множество.

Для каждой конфигурации СВТ m –го типа задается ресурс H_{ml} - количество доступных к распределению экземпляров, при этом h_{kjmn} – число экземпляров m–го типа СВТ с конфигурацией n в подразделении j, назначенного для задачи k. На рисунке 2.1 показаны ресурсы СВТ одного типа. Пунктирной окружностью выделены кратные выделяемые экземпляры одной конфигурации.

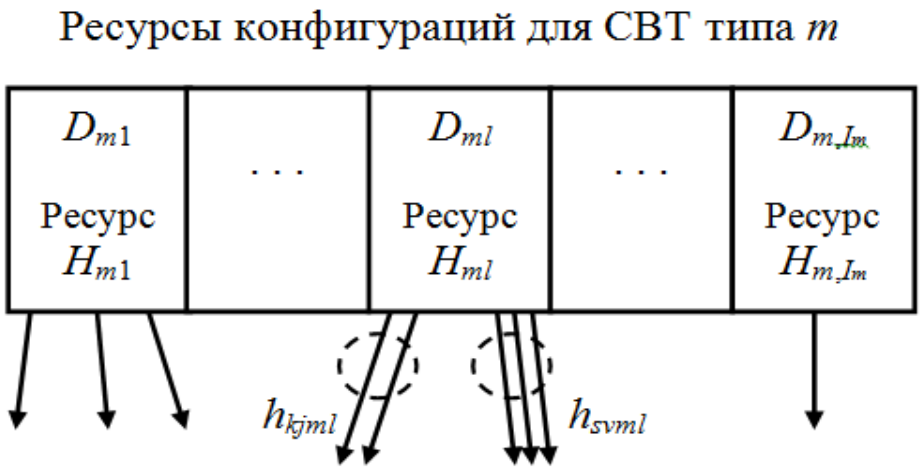


Рисунок 2.1 - Распределяемые ресурсы единиц компьютерного оборудования

Группа СВТ, установленных в j-м подразделении, представляет собой набор используемых экземпляров компьютеров с заданными типами m и конфигурациями D для решения задач, назначенных этому подразделению:

$$S_j = \{q_{jm}, D_{mn}, h_{kjmn}\},\ m \in I_j^{TS} \subseteq I_{TS},\ n \in I_m,\ j = \overline{1,J}, \tag{2.1}$$

где I_j^{TS} - индексное подмножество, содержащее номера выбранных типов компьютеров, а I_{jm}^{D} - индексное подмножество возможных конфигураций для *m*-го типа СВТ.

На рисунке 2.2 приведена графовая модель данных для оптимизационной задачи, в которой показаны взаимные отношения между единицами данных, описывающих характеристики компьютерного оборудования при назначении его в различные подразделения.

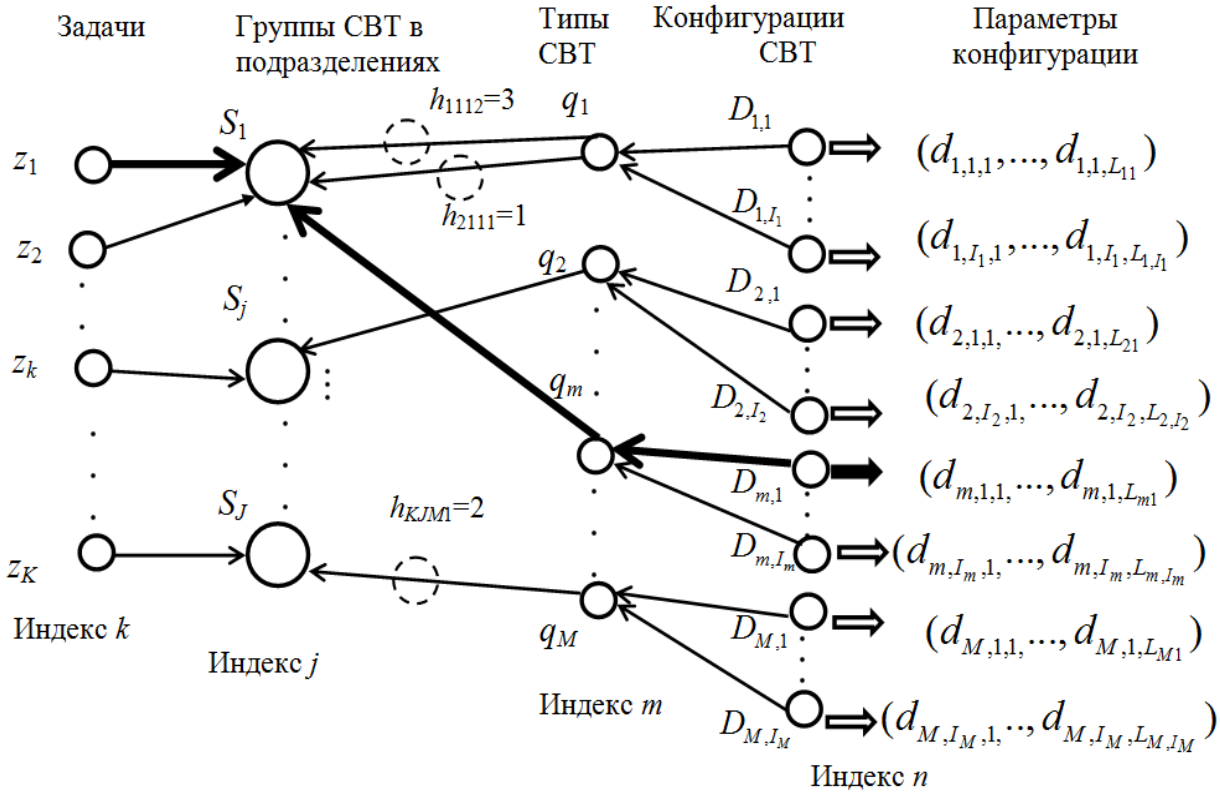


Рисунок 2.2 - Графовая модель структуры данных задачи оптимизации

2.2. Постановка задачи целочисленного программирования с булевыми переменными для назначения СВТ

Введем следующие обозначения для переменных задачи оптимизации:

- C_{kjmn} – стоимость экземпляра СВТ *n*-й конфигурации *m*– го типа в *j*-м подразделении для решения *k* – й задачи;

- C^{Z}_{kjmn} – затраты на программное обеспечение для решения *k*-й задачи в *j*-м подразделении при наличии СВТ *m*-го типа *n*-й конфигурации;
- C^{E}_{kjmn} – эксплуатационные затраты на решение *k*-й задачи в *j*-м подразделении при наличии *m*-го СВТ *n*-й конфигурации;
- P_{jmn} – надежность технического средства при решении задачи, определяемая вероятностью безотказной работы.

Булева переменная оптимизации определяется, как:

$$x_{kjmn} = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \text{если для решения } k\text{-й задачи в } j\text{-м подразделении} \\ \quad \text{для экземпляра СВТ } m\text{-го типа выбрана } n\text{-я конфигурация,} \\ 0 \text{ - в противном случае.} \end{array} \right\}.$$

Рассмотрим задачу минимизации стоимости КСВТ предприятия при решении заданного множества задач *Z*. Тогда целевая функция *F* выглядит следующим образом:

$$F = \min\left\{C + C^{E}\right\}, \tag{2.2}$$

где *C* – капитальные затраты на КСВТ, C^{E} – эксплуатационные затраты на КСВТ.

Компоненты целевой функции определяются следующим образом:

а) капитальные затраты *C*, включающие в себя стоимость СВТ в подразделении, стоимость создания каналов связи между ними, затраты на разработку алгоритмов выполнения задач:

$$C = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{m}^{I^{TS}}\sum_{n}^{I_m} C_{kjmn} x_{kjmn} \le C_b, \ \forall m, n, \tag{2.3}$$

где C_b - заданная верхняя граница капитальных затрат;

б) эксплуатационные затраты C^{E}, включающие в себя затраты на выполнение задачи, затраты на передачу информации между СВТ подразделений, стоимость технического обслуживания и ремонта компьютерного оборудования:

$$C^E = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{m}^{I^{TS}}\sum_{m}^{I_m} \le C_b^E, \quad \forall m,n, \tag{2.4}$$

где C_b^E - заданная верхняя граница эксплуатационных затрат.

Ограничения для задачи (2.2) определяются следующим образом.

1. Назначение каждой задаче k не менее одного экземпляра СВТ

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{I^{TS}}\sum_{n}^{I_m} x_{kjmn} \ge 1, \qquad k=\overline{1,K}. \tag{2.5}$$

2. Назначение каждому подразделению j не менее одного экземпляра СВТ

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{I^{TS}}\sum_{n=1}^{I_m} x_{kjmn} \ge 1, \qquad j=\overline{1,J}. \tag{2.6}$$

3. Необходимо учитывать ограниченность количества средств вычислительной техники нужных конфигураций в данный момент при проведении распределения СВТ. Условие ограничения на ресурсы экземпляров СВТ:

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{kjmn} \le H_{mn}, \quad \forall m,n \ , \tag{2.7}$$

где H_{mn} – количество экземпляров СВТ m-го типа и n -й конфигурации, доступных к распределению.

4. Параметры средств вычислительной техники имеют определенные допустимые значения, которые задаются величинами границ $d_{mnv}^{\min}$ и $d_{mnv}^{\max}$. Тогда при решении задачи z_k соответствие параметров конфигурации СВТ заданным границам определяется набором неравенств:

$$d_{mnv}^{\min} \le d_{mnv} x_{kjmn} \le d_{mnv}^{\max}, \quad \forall k,j,m,n, \quad v=\overline{1,L_{mn}}, \tag{2.8}$$

5. Один из важнейших показателей, который надо принимать во внимание - это надежность компьютерного оборудования. В диссертации предлагается использовать комплексный показатель надежности средств ВТ:

$$S_G P_{KSVT}(x_{kjmn}) P_{PZ}^j \ge P_b, \quad j=\overline{1,J}, \quad k \in I_j^Z, \forall m,n, \tag{2.9}$$

где P_b - заданный уровень надежности, S_G – коэффициент готовности комплекса СВТ, P_{KSVT} – вероятность безотказной работы КСВТ при выполнении множества задач Z, P_Z^j – вероятность правильной обработки задач Z программными средствами подразделения j за заданное время.

На рисунке 2.2 в графовой модели данных оптимизационной задачи значению булевой переменной $x_{kjmn} = 1$ соответствует только один из путей на графе. Для примера показан путь $x_{11m1} = 1$, который выделен утолщенными дугами графа. Пунктирная окружность при дуге на графе показывает число экземпляров СВТ, распределенных одной задаче.

2.3 Методы решения задачи оптимального распределения компьютерного оборудования

Задача оптимизации (2.2) – (2.9) с ограничениями относится к классу задач дискретного программирования с булевыми переменными. Одними из первых методов для решения таких задач были алгоритмы, основанные на методе отсечений: первый, второй и третий алгоритмы Гомори, алгоритмы Данцига, Дальтона - Ллевелина, В-алгоритм Ю. Финкельштейна [36, 80].

В последующие годы широкое применение нашли алгоритмы, реализующие метод ветвей и границ [3, 69].

Для многих задач целочисленной оптимизации эффективно использовать вероятностные методы и метаэвристические алгоритмы [20 - 22]:

- поиск с запретами,
- генетические алгоритмы,
- метод муравьиных колоний,
- метод имитации отжига.

Поиск с запретами (tabu search, Ф. Гловер) – модификация локального поиска. Алгоритм позволяет продолжить поиск, осуществляя переход к решению из окрестности, даже если значение целевой функции при новом решении хуже. Это позволяет «выскакивать» из локальных экстремумов. Недостаток - возможное

зацикливание, когда происходит возврат к уже просмотренному ранее решению. Чтобы избежать зацикливания, некоторые решения или переходы от решения к решению объявляются запрещенными (табу). Для этого создается и хранится «список запретов», в который помещается информация о последних решениях или последних изменениях решений [20].

В методе «имитация отжига» (simulated annealing) точка из окрестности выбирается случайно. Переход происходит всегда, когда в окрестности находится лучшее решение, и с некоторой вероятностью, если текущее решение – локальный экстремум. К точке x_i применяется оператор А , который случайным образом модифицирует соответствующую точку, в результате чего получается новая точка x^* . Точка x^* становится точкой x_{i+1} с вероятностью P, которая вычисляется в соответствии с распределением Гиббса. Вероятность $P= e^{-\Delta E/T}$ пропорциональна параметру T, т.н. «температуре», и обратно пропорциональна величине потерь - ΔE от перехода к новому решению. Для сходимости метода на каждом шаге температура уменьшается (имитация остывания) [20].

В генетических алгоритмах стараются комбинировать «хорошие» решения, чтобы получить еще «лучшее». В генетике также пытаются скрещивать разные биологические виды (или особей одного вида), чтобы полученное потомство обладало полезными качествами своих родителей. Метод муравьиных колоний основан на следующем наблюдении из жизни муравейника. Муравьи пытаются отыскать пищу поближе к муравейнику. О том, где находится ближайшая пища, они сообщают друг другу следующим образом. При своем передвижении муравьи оставляют на поверхности “феромонные следы”, “запах” которых могут чувствовать другие муравьи. Очередной муравей при поиске пищи ориентируется на феромонный след других муравьев и старается с небольшими отклонениями следовать в том направлении, куда ведет большинство следов. Небольшие отклонения от общего направления позволяют строить новые маршруты и находить новую пищу, а накопление феромона позволяет двигаться в разумном (локально оптимальном) направлении [20].

Для решения поставленной в диссертационном исследовании задачи оптимизации был использован пакет программ MATLAB Optimization Toolbox. В нем предоставляются функции для поиска параметров, которые минимизируют или максимизируют цели при заданных ограничениях. Набор инструментов включает в себя решатели для линейного программирования (LP), смешанного целочисленного линейного программирования (MILP), квадратичного программирования (QP), нелинейного программирования (NLP), метода наименьших квадратов с линейными ограничениями, нелинейного метода наименьших квадратов и решатели для нелинейных уравнений.

2.4 Пример решения задачи оптимального распределения СВТ для проектных подразделений

Решение оптимизационной задачи $\mathbf{M_1}$ на этапе экспериментов проводилось для подразделений Управления по проектированию. Это связано с тем, что такие задачи требуют использования нескольких типов СВТ: графических, инженерных, офисных, серверных. Информация о возможных типах и конфигурациях компьютеров находится в общей базе данных КСВТ. Сокращенный пример оформления таких данных показан в таблице 2.1, в которой использованы обозначения: C – стоимость вычислительного средства, W – потребляемая мощность компьютера, P – производительность процессора, RAM – емкость оперативной памяти, HDD – емкость жестких дисков компьютера.

Размерность задачи для рассматриваемого случая:

- число подразделений в управлении по проектированию J=35;
- число задач проектирования K=50;
- число типов средств вычислительной техники M= 7;
- число различных конфигураций СВТ L=80.

Отметим, что ограничения (2.3) – (2.9) описывают некоторые заранее известные фиксированные связи и соотношения между типами и конфигурациями компьютерной техники и задачами, назначенными подразделениям, Это

обеспечивает сокращение объема перебора вариантов при использовании метода ветвей и границ.

Таблица 2.1 – Исходные данные для задачи оптимизации распределения СВТ в проектных подразделениях

m	Тип СВТ	*n*	Модель и конфигурация СВТ	Параметры конфигурации				
				C, тысяч руб.	*W*, Вт	*P*, GFLOPS	RAM, GB	HDD GB
				$d_{mn,1}$	$d_{mn,2}$	$d_{mn,3}$	$d_{mn,4}$	$d_{mn,5}$
1	Графическая рабочая станция	1.1	HP Z230	63,0	400	109	16	1000
		1.2	HP Z240	95,0	400	120	32	1000
2	Офисная рабочая станция	2.1	HP 260	33,37	65	50	4	500
		2.2	HP 260	35	65	80	4	1000
		2.3	HP 260 G3	38,5	65	95	8	500
3	Инженерная рабочая станция	3.1	HP 800 G3	55,0	180	230	8	1000
		3.2	HP 800 G4	60,0	180	300	8	500
4	Тонкий клиент	4.1	HP T510	21,75	45	45	2	16
		4.2	HP T520	28,3	45	53	2	16
		4,3	HP T530	29,1	45	55	4	8
5	Ноутбук	5.1	HP Pro Book 450 G3	33,4	100	60	4	500
		5.2	HP Pro Book 450 G4	36,2	100	72	8	500
		5.3	HP Pro Book 470 G5	80,0	100	120	8	1000
6	Сервер	6.1	HP ProLiant 1	1920	1000	800	512	10^4
		6.2	HP ProLiant 2	2560	1000	1100	1024	10^4

Было выполнено тестовое решение для периодов 2017 – 2018 годов для сравнения с фактическим распределением СВТ на предприятии в эти периоды. Результаты приведены в таблице 2.2. Видно, что использование предложенной методики позволило бы снизить в среднем капитальные затраты на 7,5 % и эксплуатационные затраты на 11 %.

Таблица 2.2 – Результаты тестового решения

	Стоимость СВТ, млн. руб.		Эксплуатационные расходы, млн. руб.	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.
Фактическое распределение СВТ	12,1	14,6	3,16	3,89
Оптимальное решение	11,37	13,28	2,86	3,41
Эффективность оптимального решения	6%	9%	9,5%	12,3%

Выводы

1. Применение оптимизационно-имитационного подхода позволяет повысить эффективность использования вычислительной техники в подразделениях предприятия и снизить затраты на эксплуатацию.
2. Системная модель в виде задачи целочисленного линейного программирования с булевыми переменными оптимизирует структуру распределения СВТ на определенном периоде. При этом предполагается, что кардинальных изменений в составе работ и графике их выполнения не происходит.
3. Решение оптимизационной задачи распределения КСВТ для предыдущих периодов работы предприятия показало, что оптимальное решение обеспечивает уменьшение капитальных затрат на 7,5 % и эксплуатационных затрат на 11 %.
4. Направление дальнейших исследований связано с постановкой задачи оптимизации на календарно-сетевом графике и нахождением переменной структуры комплекса вычислительной техники, которая модифицируется при изменении и завершении задач, а также при появлении новых работ. Такая модель должна базироваться на дискретно-событийных представлениях, например, с использованием сетей Петри.

3 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВТ ПО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1 Моделирование дискретно-событийных систем с помощью сетей Петри

В разделе 1 был описан оптимизационно-имитационный подход к решению поставленных в диссертационном исследовании задач. В связи с этим необходимо выбрать математический аппарат для имитационного моделирования процессов эксплуатации и обслуживания средств вычислительной техники.

Совокупность процессов выполнения проектных, конструкторских и технологических задач и процессов обработки информации компьютерным оборудованием представляет собой дискретно-событийную систему. Этот факт определяет круг средств имитационного моделирования, подходящих для решения поставленной задачи.

Модели, основанные на сетях Петри (PN), используются для описания дискретно-событийных систем с параллельно-последовательной природой процессов. Причина выбора PN заключается в том, что, в отличие от традиционных моделей моделирования дискретных событий (DE), модель PN обеспечивает интуитивно понятное графическое представление исследуемой сложной системы и, как было доказано, является более гибким и эффективным инструментом [104, 135, 141]. Среди множества практических приложений сетей Петри выделяются работы, связанные с моделированием гибких производственных систем (FMS).

В последующий период были созданы новые инструменты моделирования для исследования производственных систем, которые описывают процесс деградации и износа оборудования [113, 134]. В [102, 147] были разработаны высокоуровневые сети Петри, соответствующие иерархической организации производственных структур. Этим объясняется постоянный интерес исследователей, который привел к созданию различных расширений сетей Петри.

В результате наиболее широко используемыми моделями являются цветные (CPN) [111, 112, 121], временные (TCPN) [108, 118] и стохастические (SCPN) [123] сетевые модели Петри.

Среди широкого круга тем для практического использования PN следует выделить построение стохастических сетей Петри для изучения процессов деградации, старения и износа различных узлов, приборов и устройств. Изучение этих явлений и процессов необходимо для организации технического обслуживания и ремонта. Обзор существующих исследований в этой области показывает, что многие исследователи успешно используют аппарат сетей Петри для проектирования надежных и обслуживаемых промышленных систем в различных областях техники.

Стратегии ремонта и профилактического обслуживания используются в технологических процессах. Однако существуют расхождения между используемыми математическими моделями и фактическими действиями по техническому обслуживанию. Одна из основных причин этого - недостаточность методов математического моделирования для точного описания взаимодействия компьютерного оборудования во время обслуживания. В связи с этим активно развивается использование имитационных моделей на сетях Петри.

Технологические процессы являются стохастическими из-за воздействия некоторых внешних случайных факторов. Соответственно, было проведено множество исследований по созданию сетей Петри для моделирования случайных событий с заданным распределением плотности вероятности. Для этих целей были разработаны различные модификации стохастических раскрашенных сетей Петри (SCPN). В [136] Santos и др. разработали обобщенные сети SCPN с предикатами для моделирования методом Монте-Карло. Время до отказа компонентов считается распределением Вейбулла.

Марсан [122] предложил моделировать случайные процессы на переходах PN с помощью задержек с отрицательными экспоненциальными функциями плотности вероятности. Стохастические цветные сети Петри используются для обширного класса объектов, особенно при оценке ремонтопригодности и

надежности. Лу и др. в работах [120, 121] также исследовали применение кортежей SCPN и вычисление требуемых ресурсов в соответствии с уравнениями состояния модели. Расходные и повторно используемые ресурсы представлены в виде мультимножеств в местах SCPN. Моделирование технического обслуживания позволяет оценить потребности в ресурсах на каждом этапе.

Таким образом, для решения задач моделирования процессов функционирования, обслуживания и ремонта компьютерного оборудования в подразделениях предприятия целесообразно использовать аппарат сетей Петри.

Решение задачи распределения вычислительной техники по подразделениям предприятия базируется на оптимизационно-имитационном подходе, который реализуется в виде итерационной процедуры с двумя последовательными этапами:

1) решение оптимизационной модели (ОМ) с аналитическими ограничениями R_{AN} ,

2) исследование имитационной модели (ИМ) с алгоритмическими ограничениями R_{AL} (рисунок 3.1).

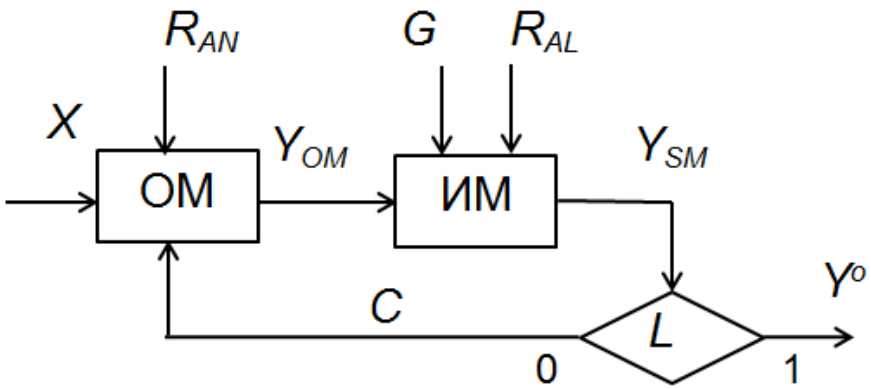


Рисунок 3.1 – Оптимизационно-имитационная процедура решения задачи распределения СВТ

Оптимизационная модель позволяет получить статическое распределение компьютеров по подразделениям или производственным участкам предприятия при задании критерия минимальной стоимости оборудования и его эксплуатации.

На имитационной модели проверяется корректность назначения компьютеров на различные задачи.

В результате первоначального планирования работы определяется диаграмма Ганта, согласно которой задаются времена и последовательность выполнения отдельных задач

$$G = (Z_p, T_p, V_G),$$

где $Z_P = \{z_1, ..., z_{M_Z}\}$ – конструкторские (проектные, технологические, производственные) задачи; $T_P = \{\tau_1, ..., \tau_{M_Z}\}$ – множество заданных сроков окончания задач и длительностей их выполнения; V_G – связи между задачами.

3.2 Процедура построения сети Петри по диаграмме Ганта

Таким образом, после получения решения Y_{OM} оптимизационной задачи (2.2) – (2.9) и используя диаграмму Ганта G, следует найти отображение $(G, Y_{OM}) \rightarrow \Psi_{SM}$ в имитационную модель с учетом алгоритмических ограничений R_{AL}.

Искомое распределение Y^0 компьютерного оборудования в подразделении есть матрица с булевыми переменными $\{y_{ij}\}$, при этом $y_{ij}=1$, если компьютер с индексом i назначен работе z_j; $y_{ij}=0$ – в противном случае.

Условие L проверяет, удовлетворяет ли решение Y_{SM} алгоритмическим ограничениям, и при необходимости передает управление на коррекцию оптимизационной модели ОМ.

Сети Петри эффективно осуществляют имитационное моделирование сценариев поведения системы и выявляют ее структурные свойства, приводящие к конфликтным ситуациям [100].

Формальное определение классической сети Петри (PN):

$$N = (P, T, W, \omega, M_0),$$

где P – множество позиций, T – множество переходов, W – множество дуг между позициями и переходами (отношение инцидентности), ω – весовая функция на дугах сети и M_0 - начальная разметка сети.

В диссертации используется расширение классической сети Петри, которое называется раскрашенной или цветной сетью Петри (CPN). Определение раскрашенной сети задается следующим образом в виде кортежа [107]:

$$CPN = (P, T, A, C, V, S, G, E, I), \quad (3.1)$$

где:

1. P - конечное множество позиций.
2. T - конечное множество переходов, $P \cap T = \varnothing$.
3. $A \subseteq P \times T \cup T \times P$ - множество направленных дуг.
4. C – конечное непустое множество цветов.
5. V - конечное множество типов переменных, таких что Type $[v] \in C$ для всех $v \in V$.
6. S: $P \rightarrow C$ - это функция назначения набора цветов для каждой позиции.
7. G: $T \rightarrow$ EXPR – функция условий, которая назначает защиту каждому переходу так, что Type $[G(t)]$ = Bool.
8. E: $A \rightarrow$EXPR - функция, которая присваивает каждой дуге выражение такое, что Type $[E(a)] = C(p)$, где p - позиция, соединенная с дугой a.
9. I: $P \rightarrow$EXPR - это функция инициализации, которая назначает выражение инициализации каждой позиции p такое, что Type $[I(p)] = C(p)$.

Выбор раскрашенных сетей определяется удобством представления комплекса параметров и характеристик моделируемых объектов в виде мультимножеств, которым приписываются соответствующие цвета. На самом деле, в современных моделях CPN потеряла свою физическую интерпретацию и используется как идентификатор мультимножеств.

Временная цветная сеть Петри есть кортеж:

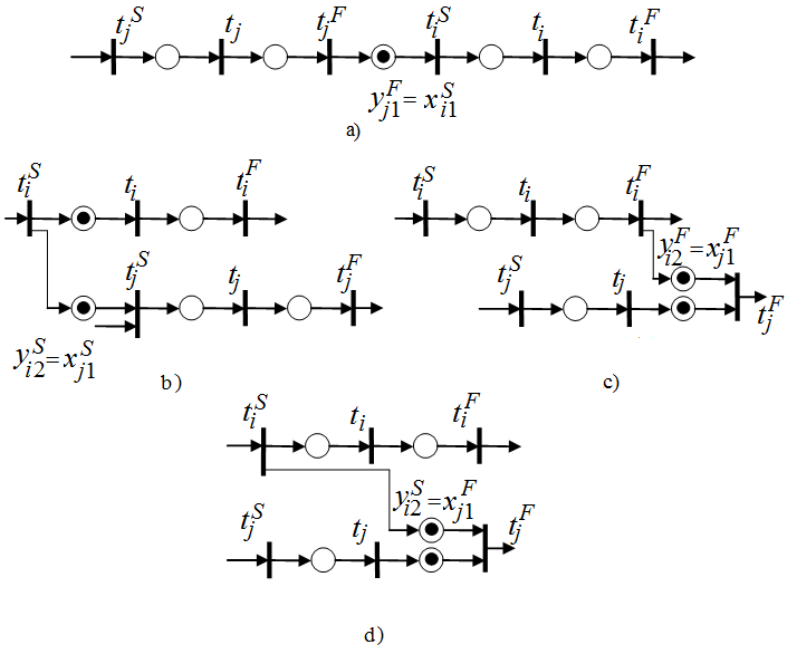
$$TCPN = (CPN, \Theta 1, \Theta 2, \Theta 3), \quad (3.2)$$

где CPN – основная раскрашенная сеть Петри, $\Theta 1$, $\Theta 2$, и $\Theta 3$ - временные задержки, приписанные позициям, дугам и переходам сети соответственно.

Достоинство временной сети Петри заключается в том, что заключение о корректности моделируемого процесса может быть сделано по структуре сети без

непосредственной имитации срабатывания переходов. С другой стороны, проведение статистического эксперимента на временной сети Петри методом Монте-Карло позволяет получить статистические характеристики исследуемых стохастических процессов.

Еще одно преимущество в том, что временная сеть Петри позволяет четко определить взаимодействие задач [57]. На рисунке 3.2 представлены базовые фрагменты сети для всех четырех случаев связи между задачами.



a) «Финиш-Старт»; b) «Старт-Старт»; c) «Финиш-Финиш»; d) «Старт-Финиш»

Рисунок 3.2 – Базовые фрагменты сетевой модели Петри

Элементарный фрагмент сети Петри содержит: t_j - переход, моделирующий процесс выполнения задачи $z_j \in G$ с длительностью срабатывания τ_i; t_i^S, t_i^F - начальный и конечный переходы, у которых длительности срабатывания либо равны нулю, либо зависят от одного из значений $\tau_j^{ES}, \tau_j^{LS}, \tau_j^{EF}, \tau_j^{LF}$ [4].

Используя базовые фрагменты и заменяя ими элементы диаграммы Ганта, нетрудно построить полную сетевую модель Петри $N_{ПР}$. Полная сеть Петри служит для имитации выполнения производственных заданий в подразделениях и анализа использования прикрепленных СВТ.

3.3 Пример имитационной модели для распределения компьютерного оборудования

Рассмотрим в качестве примера множество из шести компьютеров $u_1,...,u_6$, которые назначаются для выполнения проекта из пяти задач $z_1,...,z_5$. Предположим, что было проведено решение оптимизационной модели ОМ и получен булев вектор распределения компьютеров для задач. На рисунке 3.3 представлена графовая модель, отражающая график проекта и распределение оборудования. Видно, что компьютер u_6 находится в резерве.

Следует отметить две критические ситуации.

1. Компьютер u_2 выходит из строя, выводится из эксплуатации и передается в ремонт (дуга *Out*). Резервный компьютер u_6 передается в подразделение для выполнения задачи z_2 (дуга *Rp*). Компьютер u_2 после ремонта переводится в резерв (дуга *Rt*).

2. Компьютер u_3 выводится на техническое обслуживание согласно установленному регламенту профилактических работ (дуга *Out*). Для исключения срыва выполнения задачи z_3 необходимо использовать другой компьютер. Однако в резерве свободных компьютеров в данный момент нет. Тогда для задачи z_3 используется компьютер u_4 (дуга *Rp*) при условии, что задача z_4 еще не начиналась. Компьютер u_3 возвращается из технического обслуживания и, соответственно, компьютер u_4 возвращается для выполнения задачи z_4.

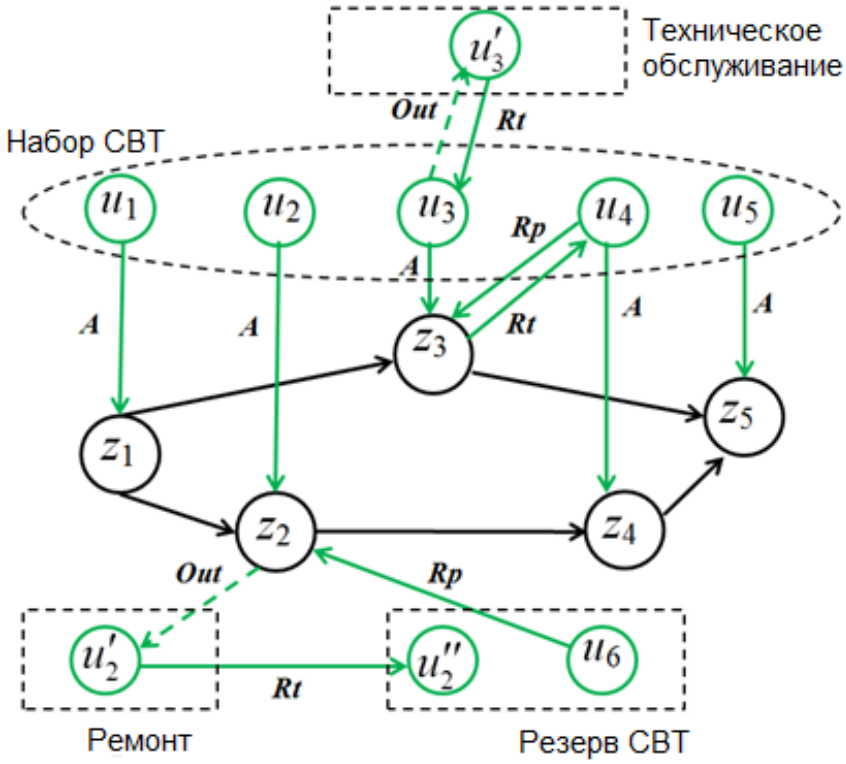


Рисунок 3.3 – Графовая модель распределения компьютерного оборудования с учетом ремонта и обслуживания.

Такая схема распределения вычислительных ресурсов будет работать корректно при соблюдении определенных временных условий. Например, при задержке времени обслуживания компьютера u_3 задача z_4 не получит в нужный момент ресурс компьютера u_4. Можно было бы использовать компьютер u_2 , но задержка при его ремонте может помешать этому.

Таким образом, приведенный пример показывает, что при сложном сетевом графике работ и большом числе компьютеров возникают конфликтные ситуации.

Потребуем выполнения следующих алгоритмических ограничений в графовой модели на рисунке 3.3.

1. Для любого компьютера u_k события «Отказ (Failure)» и «Обслуживание (Maintenance)» не происходят одновременно, т.е. $\tau_k^F \neq \tau_k^M, \forall k$.

2. Интервал времени технического обслуживания любого компьютера u_kне должен пересекаться с временным интервалом его ремонта:

$$\left\{\tau_1^{Rp}, \tau_2^{Rp}\right\} \cap \left\{\tau_1^M, \tau_2^M\right\} = \varnothing.$$

Представленная на рисунке 3.3 графовая модель носит упрощенный характер. В реальных условиях каждой задаче может быть назначен набор различных компьютерных единиц.

Поставим в соответствие каждой задаче в графовой модели фрагмент временной сети Петри, который описывает вывод компьютера в ремонт или перевод на техническое обслуживание (рисунок 3.4).

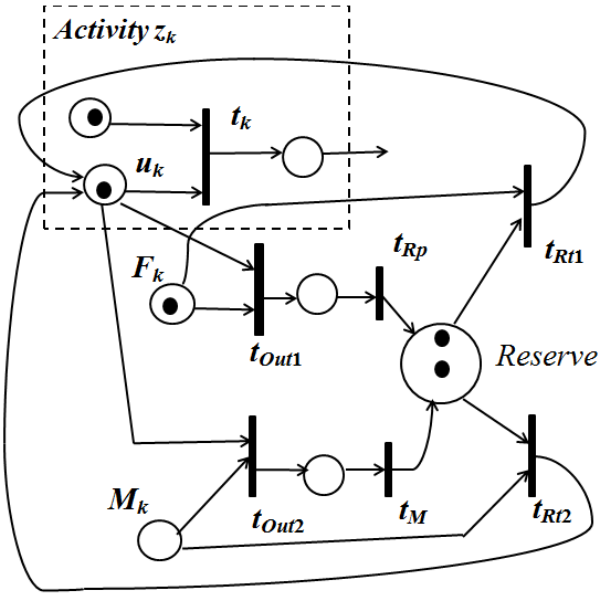


Рисунок 3.4 – Фрагмент сети Петри для графовой модели на рисунке 3.3

После окончания этих операций компьютер помещается в позицию «Резерв». Из этой позиции компьютер может быть возвращен для выполнения такой задачи, для которой подходит его конфигурация. Совокупность фрагментов составляет полную сеть Петри для имитации процесса выполнения задач и ремонта и обслуживания компьютеров.

3.4 Раскрашенные сети Петри при имитационном моделировании технического обслуживания компьютерного оборудования

При изучении объектов, описываемых мультимножествами параметров, целесообразно применять временные раскрашенные сети Петри. С этой целью будем использовать инструментальную программную систему CPNTools [100, 101].

В соответствии со структурой данных, принятой при постановке задачи оптимального распределения, будем описывать компьютер с помощью кортежа (*n*, *conf*, *type*). Здесь *n* - индивидуальный номер, *type* - модель (тип) компьютера и *conf* - конфигурация заданного типа компьютера. Тогда набор компьютеров для некоторой задачи z_k может быть представлен мультимножеством

$$U_k = \{(n_{1k}, conf_{1k}, type_{1k}), ..., (n_{jk}, conf_{jk}, type_{jk})\}, \tag{3.3}$$

причем элементы U_k могут повторяться.

Структуры мультимножеств хорошо моделируются в раскрашенных сетях Петри.

На рисунке 3.5 показан фрагмент Z_k раскрашенной сети Петри, которая имитирует выполнение работы **Activity** с назначенным ей набором компьютеров U_k и процессами технического обслуживания Maintenance и ремонта Repair.

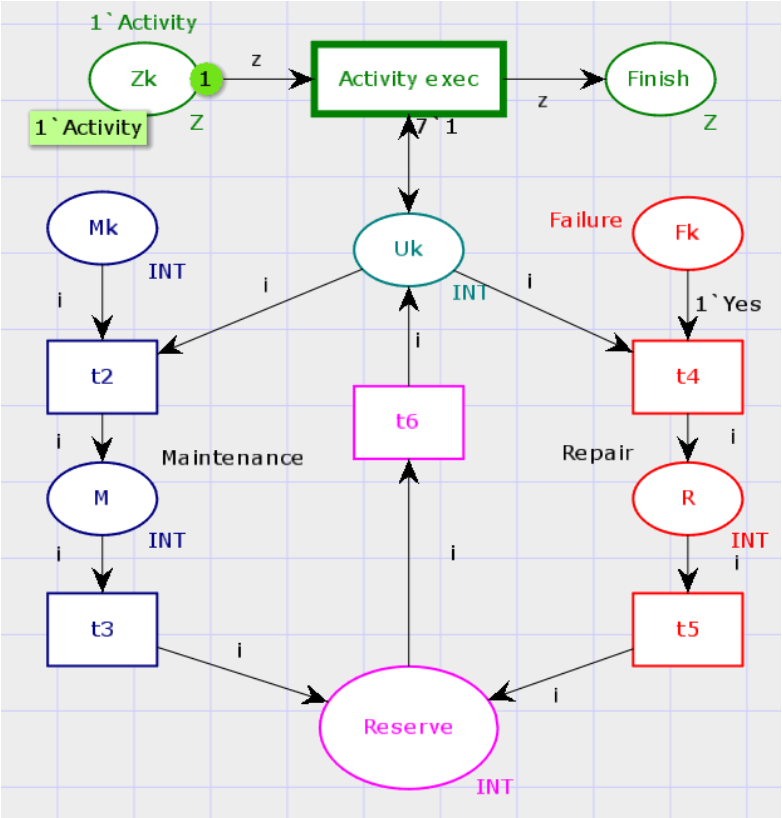


Рисунок 3.5 – Фрагмент задачи с набором компьютеров и организацией ремонта или технического обслуживания

Из таких фрагментов конструируется вся сеть для производственного процесса с множеством задач Z.

Поскольку моделируемый производственный процесс циклически повторяется, то имитация в модели сети Петри выполняется многократно. Однако в определенные моменты времени в позициях появляются маркеры, соответствующие событиям: M - вывод компьютера на техническое обслуживание или F - отказ компьютера и вывод на ремонт. Вывод компьютера из позиции **Uk** приводит к остановке процесса **Activity** до завершения обслуживания и возврата компьютера из позиции резерва **Reserve**.

Сеть Петри на рисунке 3.6 включает позицию **Uk** с определенным мультимножеством цветов и описывает процесс случайного выбора компьютера, в котором происходит отказ (Failure).

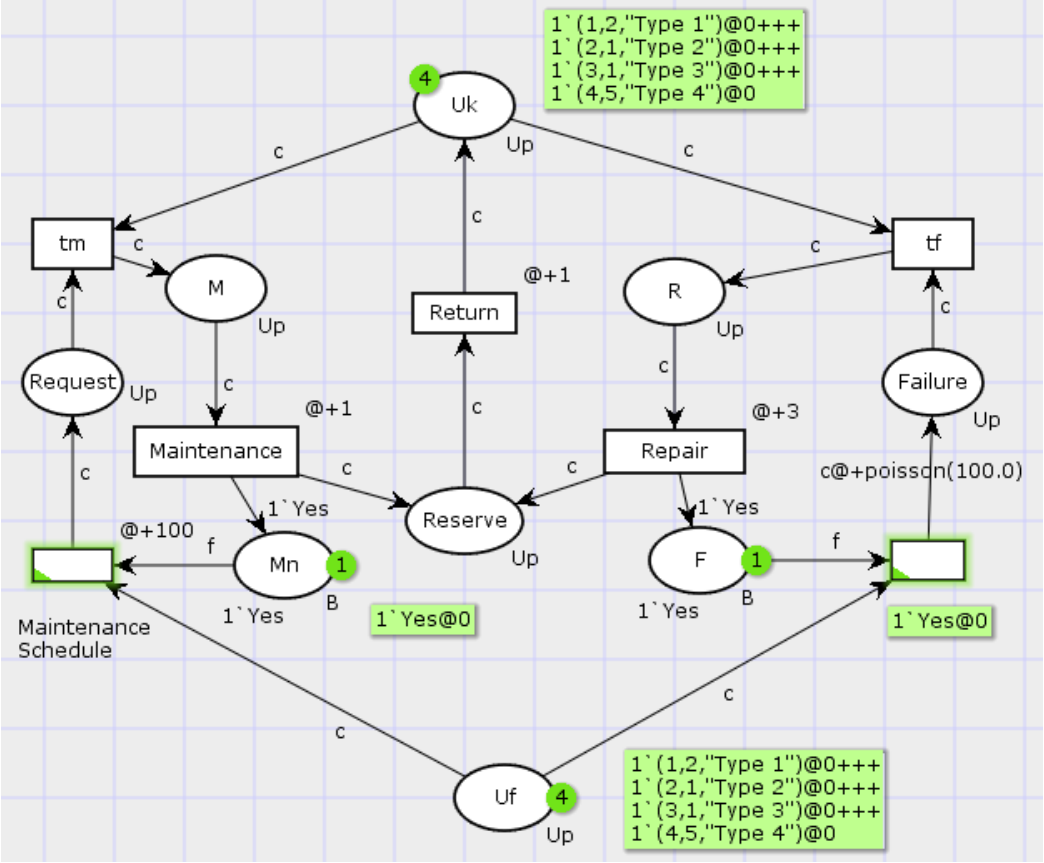


Рисунок 3.6 – Начальная маркировка позиций набора компьютеров **Uk** и позиций обслуживания и отказов **Uf**

В приведенном примере предполагается, что задаче назначен набор из четырех компьютеров. В нотации CPN Tools эта информация записывается в виде:

1`(1,2,”Type 1”)@0+++1`(2,1,”Type 2”)@0+++

+++1`(3,1,”Type 3”)@0+++1`(4,5,”Type 4”)@0,

где @ - признак временной метки, знак +++ - операция сложения временных мультимножеств.

Случайный характер появления отказов компьютеров имитируется функцией распределения Пуассона на входной дуге, принимающей маркеры в позицию **Failure**. Предположим, что техническое обслуживание компьютеров выполняется каждые 100 дней (ежеквартальное ТО). На рисунке 3.7 показано состояние сети Петри через 186 дней.

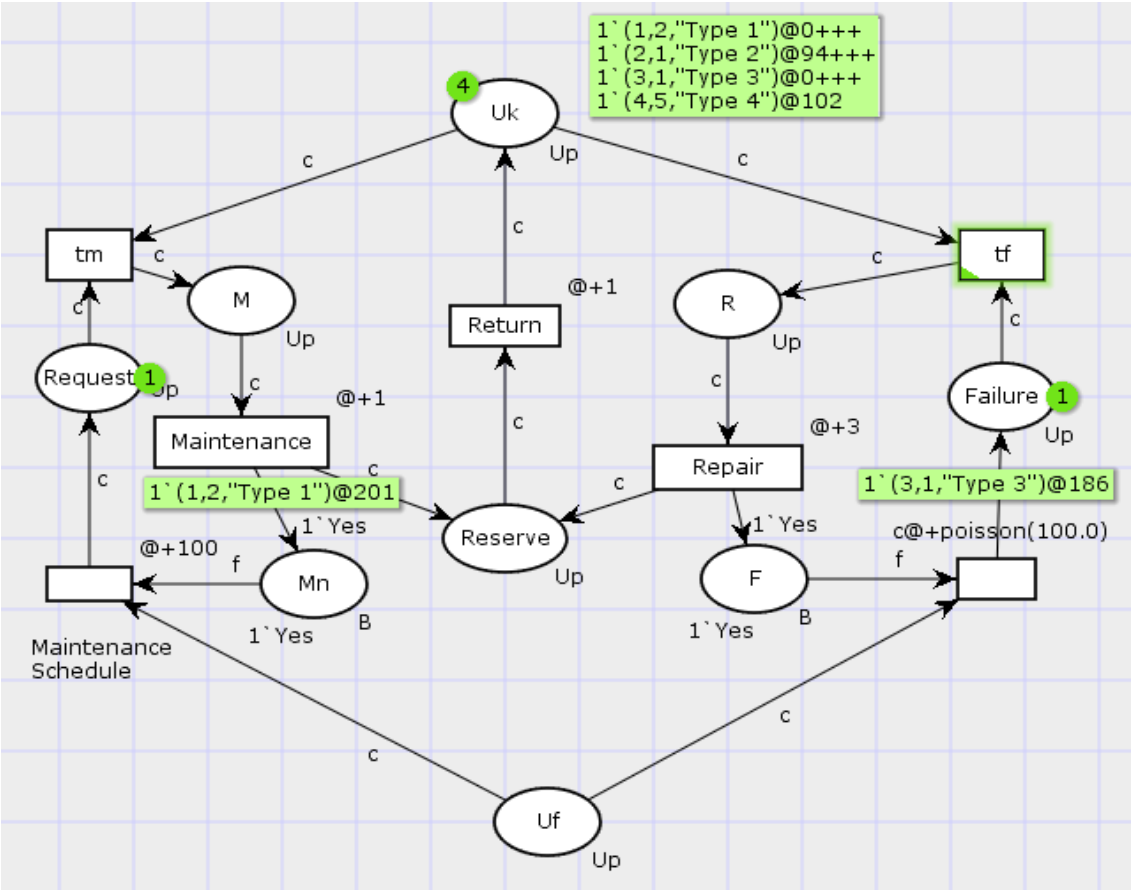


Рисунок 3.7 – Генерация отказов и вывод компьютеров на ремонт и техническое обслуживание

На 90-й день произошел отказ компьютера (2,1,”Type 2”) , а через 4 дня он был отремонтирован и возвращен в эксплуатацию.

Компьютер (4,5,”Type 4”) на 100-й день выведен на техническое обслуживание и возвращен в **Uk** через 2 дня, а компьютер (1,2,”Type 1”) на 201-й день был выведен на техобслуживание и переведен в резерв (позиция **Reserve**).

Такая структура модели на раскрашенной сети Петри соответствует однократному отказу любого компьютера за период наблюдений. Аналогичная логика сети Петри использована при имитации процесса технического обслуживания компьютеров. Отличие состоит в том, что вывод компьютеров на обслуживание производится не случайным образом, а по заранее известному графику. Рассмотренные фрагменты раскрашенных сетей Петри использованы при построении общей имитационной модели для конкретного производственного процесса.

3.5 Имитационная модель производственного процесса

Предлагаемая модель ориентирована на использование на крупном машиностроительном предприятии, на котором существует большое число проектных, конструкторских и производственных процессов.

Рассмотрим процесс Z конструкторской отработки выпуска некоторого изделия. Пусть в результате иерархической декомпозиции работ получена совокупность частных задач z_k и определена диаграмма Ганта G. Соответствующие данные приведены в таблице 3.1.

В группу компьютеров, обеспечивающих производственный процесс Z, входят следующие типы: графические рабочие станции Тип 1, Тип 2 и Тип 3 и инженерный компьютер Тип 4. Каждый тип компьютера может иметь несколько конфигураций, различающихся производительностью, объемом памяти и другими характеристиками.

Таблица 3.1 – Данные задач производственного процесса

Задача	τ, дни	Содержание работы	Набор назначенных компьютеров
z_1	20	Анализ образцов изделия	Тип 1, конфигурация 1 Тип 2, конфигурации 1 и 2
z_2	10	Выбор оптимального технического решения	Тип 1, конфигурация 1 Тип 2, конфигурация 1 Тип 4, конфигурация 1
z_3	10	Выбор конструктивных элементов изделия	Тип 1, конфигурация 1 Тип 2, конфигурация 2 Тип 3, конфигурация 1 Тип 4, конфигурация 2
z_4	5	Выбор материалов для изготовления	Тип 4, конфигурации 1 и 2
z_5	20	Разработка конструкции изделия	Тип 1, конфигурация 1 Тип 2, конфигурации 1 и 2 Тип 4, конфигурация 2
z_6	10	Выполнение технической документации и сдача изделия в производство	Тип 1, конфигурация 1 Тип 4, конфигурация 2 Тип 4, конфигурация 2

На основе рассмотренных ранее фрагментов сетей Петри сконструирована общая модель процесса Z, представленная на рисунке 3.8.

Реализация имитационной модели выполнена средствами системы CPNTools, в соответствии с языком которой описаны типы множеств цветов и переменных:

```
colset Z=unit with Task timed;
var z: Z;
colset B = bool with (No, Yes) timed;
var b: B;
colset INT=int timed;
colset N= INT;
```

```
colset Conf=INT;
colset TYPE=string;
colset Up=product N*Conf*TYPE timed;
var n:N;
var conf: Conf;
var tp: TYPE;
var v: Up.
```

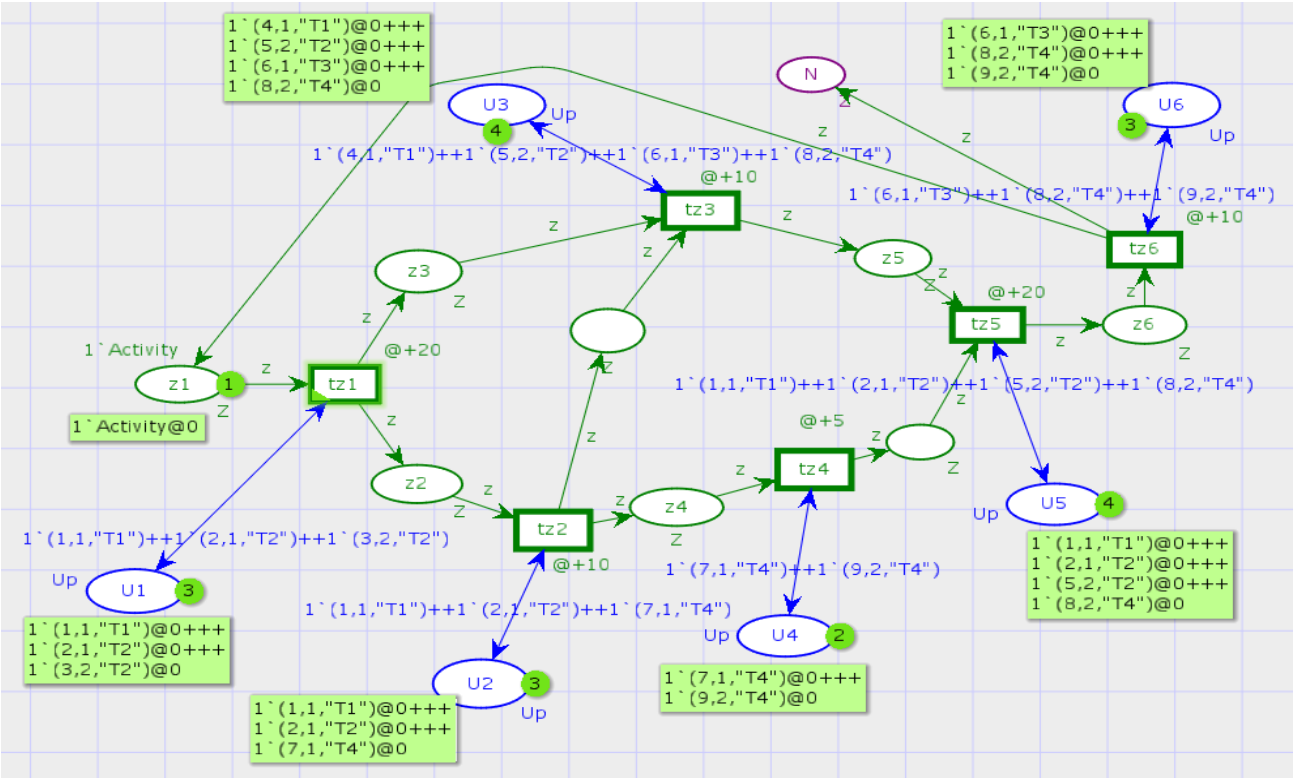


Рисунок 3.8 – Имитационная модель на временной раскрашенной сети Петри *Z*

Решение Y_{OM} оптимизационной задачи (2.2) – (2.9) дает распределение компьютеров из таблицы 3.1 по задачам с условием выполнения необходимых ограничений. Это распределение на модели отражается в виде мультимножеств в позициях **Uk**.

Переходы tz1,...,tz6 имитируют выполнение соответствующих задач z_1,...,z_6. Для этого каждому переходу назначена задержка срабатывания τ из таблицы 3.1. Начальные разметки позиций **U1**,...,**U6** содержат маркеры компьютеров,

распределенных на соответствующие задачи. Дуги, соединяющие позиции компьютеров с переходами, двунаправленные, что обеспечивает постоянство маркеров в этих позициях. В результате осуществляется циклический процесс выполнения задач. Кроме того, дугам приписаны условия, показывающие, какие компьютеры должны участвовать в выполнении данной задачи.

Если происходит отказ компьютера или вывод его на техническое обслуживание, то маркер этого компьютера изымается из разметки позиции **Uk**. Условие на дуге уже не выполняется и переход не сработает, т.е. выполнение задачи заблокируется до возвращения компьютера в эксплуатацию.

В данной модели используется иерархическая организация сети Петри. Позиции **Uk** компьютеров, в свою очередь, представлены фрагментами временной раскрашенной сети, показанными на рисунке 3.6. Эти сетевые фрагменты моделируют случайный пуассоновский поток отказов, а также расписание технического обслуживания компьютеров. Позиция **N** служит для подсчета количества циклов выполнения совокупности задач $z_1,...,z_6$.

3.6 Иерархические сети Петри для имитационного моделирования технического обслуживания комплекса средств вычислительной техники

Исследуемый объект представляет собой совокупность выполняемых производственных задач и комплекс назначенных компьютерных средств и имеет ярко выраженную иерархическую структуру. Это было отмечено и при рассмотрении предыдущего примера и построении сети Петри на рисунке 3.8. В связи с этим в диссертации была разработана сложная иерархическая модель с глубокой детализацией имитируемых процессов. Основной акцент был сделан на введение в модель временных параметров, описывающих вероятностные процессы, которые приводят к появлению отказов и дефектов в компьютерном оборудовании или вызывают необходимость немедленного технического обслуживания.

Иерархическая структура моделей на сетях Петри реализуется подстановкой вместо отдельных переходов более сложных модулей. Эти модули, в свою очередь, могут представлять собой сети Петри любой сложности. Для рассматриваемой в диссертации задачи характерно использование отдельных единиц компьютерного оборудования: серверов, графических станций, офисных компьютеров и др. Каждый такой компьютер имеет не только индивидуальные характеристики, но и индивидуальные временные параметры, связанные с эксплуатацией и обслуживанием. К таким параметрам относятся: остаточный ресурс, время до профилактического обслуживания, время наработки на отказ, время выработки (время активной работы компьютера).

3.6.1 Иерархическая организация имитационных моделей

Имитационную модель, описанную в пункте 3.4, можно развивать и детализировать, используя возможности иерархических временных раскрашенных сетей Петри. В данном пункте изложены результаты, полученные и описанные автором в работе [127]. На рисунке 3.9 показана структура основных модулей иерархической модели HPN (Hierarchical Petri Net).

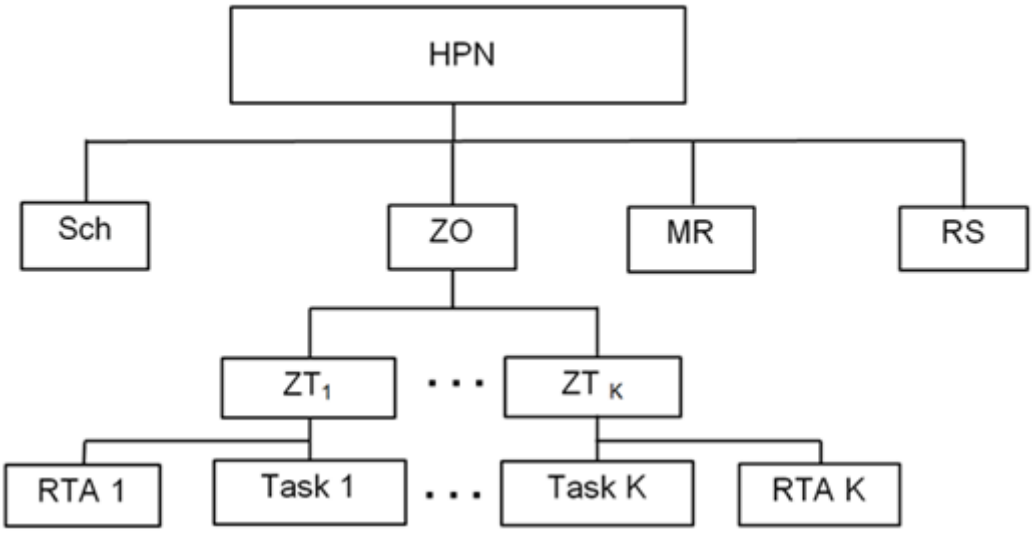


Рисунок 3.9 – Структура HPN

Иерархическая сеть включает три уровня модулей. Первый уровень состоит из следующих модулей:

1. Модуль Sch обрабатывает планирование задач и назначение компьютеров для задач.

2. Модуль ZO обрабатывает операции с производственными задачами.

3. Модуль MR имитирует процессы технического обслуживания и ремонта.

4. Модуль RS моделирует ресурсы для обслуживания и ремонта.

Для каждой задачи в подразделении используется индивидуальный модуль ZT. Совокупность модулей $ZT_1,\ldots, ZT_K$ образует второй уровень иерархии модели. На третьем уровне находятся модули Task и RTA. Модуль Task соответствует диаграмме Ганта данной задачи, а модули RTA – описывают конкретные компьютеры, выполняющие эту задачу. Структура и функционирование этих модулей будут раскрыты ниже.

Иерархичность в сетях Петри реализуется функцией подстановки вместо отдельных переходов соответствующих модулей, которые, в свою очередь, являются сложными сетями Петри. В диссертации приводится описание основных имитационных модулей ZT и RTA.

3.6.2 Основной модуль моделирования производственной задачи

Основной набор цветов U определяется в модели HPN как кортеж

$$U = (id, md, rt, rl, mt, ti, ta), \tag{3.4}$$

где id – идентификатор компьютера,

md – модель и конфигурация компьютера,

rt – время работы компьютера после последнего обслуживания или ремонта,

rl – остаточный ресурс (RUL),

mt – оставшееся время до технического обслуживания по расписанию,

ti - начальный момент времени нового периода эксплуатации,

ta - суммарное время наработки компьютера.

Уникальный номер id и модель md связывают компьютер с выполняемыми задачами. Временные параметры rt, rl, mt, ti и ta используются для управления остаточным сроком службы компьютера. Остаточный ресурс учитывается только для активного компьютера, т.е. участвующего в процессе выполнения производственной задачи (параметр rl). В периоды обслуживания или ремонта компьютера время rt не меняется.

Отличие этого описания компьютера от выражения (3.3) во введении в кортеж характеристик обслуживания.

Глобальные наборы цветов и переменные иерархической модели приведены в таблице 3.2.

На рисунке 3.10 представлена структура модуля ZT, реализованного в виде временной раскрашенной сети Петри.

В таблице 3.3 описаны действия, которые имитируют переходы сети ZT.

В построенной сети Петри использованы функции newRT(u) и newTI(u), которые проводят операции по сохранению или восстановлению временных параметров обслуживания компьютеров.

Таблица 3.2 – Глобальные наборы цветов модели

Набор цветов	**Переменные цветов**	**Значение**
ID	id	Идентификационный номер компьютера
Model	md	Модель компьютера
RT	rt	Время работы компьютера t_{rt}
RL	rl	Остаточный ресурс life t_{RL}
MT	mt	Время до обслуживания t_{MT}
TI	ti	Начало периода эксплуатации компьютера
TA	ta	Время наработки t_{ta}

Набор цветов	**Переменные цветов**	**Значение**
U = product ID*Model*RT*RL*MT*TI*TA	u, upd_u	Параметры компьютера
Z	z	Задача
BOOL	b	События отказов и запросов обслуживания
ModelZ	mdz	Модели компьютера, назначенные задаче z

Таблица 3.3 - Переходы модуля ZT.

Переходы	**Действие**
T_0	Выбор компьютера из основного множества AU доступных компьютеров
T_1	Начало выполнения задачи
T_2	Возврат компьютера в позицию AU после завершения задачи
T_3, T_4	Выбор модели компьютера для замещения при выводе другого компьютера на ремонт или обслуживание
T_5, T_6	Замена компьютера в позиции UPZ
T_7	Разблокировка выполнения задачи

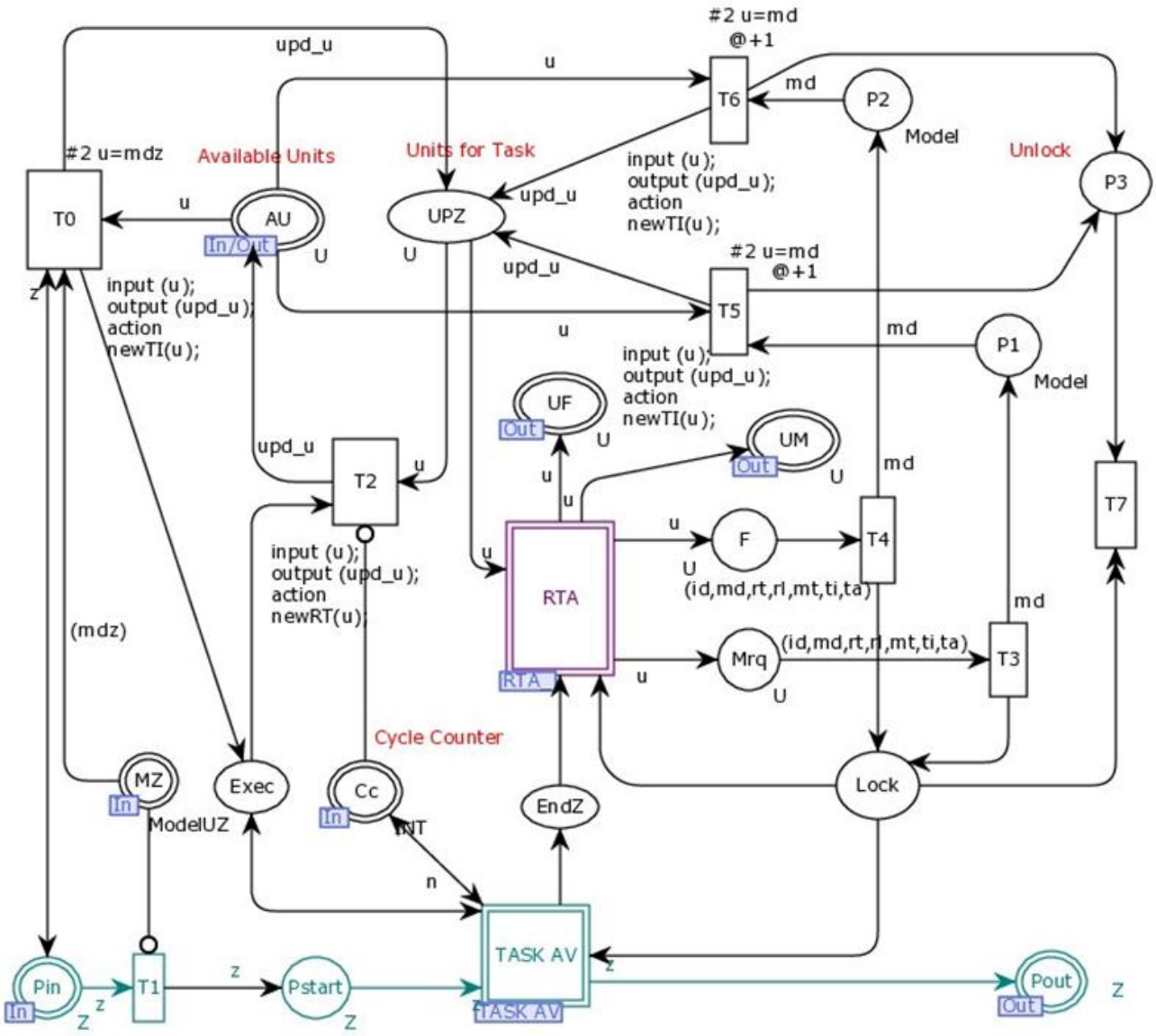


Рисунок 3.10 – Реализация модуля ZT в составе модели HPN

Позиция AU содержит мультимножество, которое описывает параметры и характеристики единиц компьютеров, доступных для данной задачи z. В позиции MZ находится мультимножество моделей и конфигурации компьютеров, которые могут использоваться при выполнении задачи z. Появление маркера в позиции Pin запускает процесс имитации назначения и перемещения компьютеров и последующее выполнение z. Модули нижнего уровня иерархии Task и RTA представлены подстановочными переходами в сети. При появлении отказа или запроса на техническое обслуживание компьютер изымается из позиции UPZ и помещается в позиции UF и UM для дальнейшего обслуживания. После этого

переходы T5 и T6 переводят резервные компьютеры из позиции AU для продолжения работы задачи. После завершения задачи z маркер появляется в выходной позиции модуля Pout.

3.6.3 Модуль анализа временных параметров моделируемого вычислительного средства

Каждый модуль RTA назначается одной задаче z_k и связан с соответствующим модулем ZT. Структура модуля RTA изображена на рисунке 3.11. Значения позиций и переходов модуля кратко раскрыты в таблицах 3.4 и 3.5.

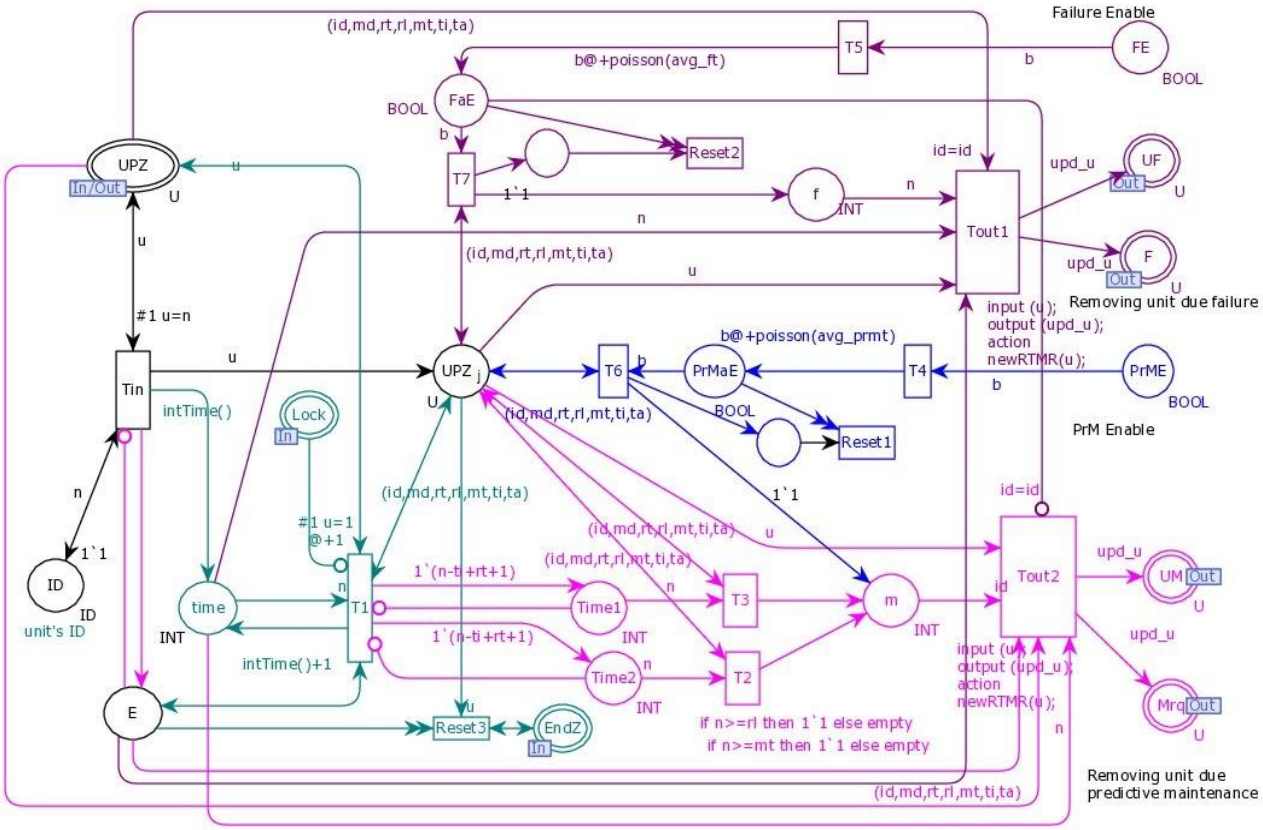


Рисунок 3.11 – Сеть Петри, реализующая модуль RTA для имитации временных процессов эксплуатации и обслуживания компьютера

Таблица 3.4 - Позиции модуля RTA.

Позиция	**Описание**	**Набор цветов**
UPZ j	Компьютер с идентификационным номером ID = j	U
ID	Идентификатор компьютера	INT
E	Разрешение анализа временных параметров	UNIT
time	Текущее модельное время	INT
Time1, Time2	Текущее время для проверки компьютера	INT
m	ID компьютера, предназначенного для технического обслуживания	INT
FE	Появление отказа компьютера	BOOL
f	ID ремонтируемого компьютера	INT
PrMAe	Появление запроса на прогнозное обслуживание компьютера	BOOL
UM, UF, F, Mrq	Компьютеры, перемещаемые на обслуживание или ремонт	U
EndZ	Завершение производственной задачи и сброс установок в модуле RTA	UNIT

Таблица 3.5 - Переходы модуля RTA.

Переходы	**Описание**
Tin	Ввод данных компьютера u_j для позиции UPZ
T1	Формирование текущего модельного времени
T2, T3	Проверка условий остановки компьютера
T4, T5	Генерация случайных событий
T6, T7	Передача выходных данных о компьютере в модуль обслуживания и ремонта

Переходы	Описание
Tout1	Компьютер u_j выводится на обслуживание
Tout2	Компьютер u_j выводится на ремонт

Основные операции, выполняемые в модуле RTA:

• Выбор компьютера с заданным ID = j из позиции UPZ и перемещение в позицию UPZ j;

• Установка в поле E статуса «Активность компьютера» и запуск внутреннего счетчика времени;

• Проверка условий $n \geq$ rl (остаточный ресурс) и $n \geq$ mt (время до обслуживания), выполняемая на выходных дугах переходов T2 и T3 на каждом временном шаге;

• Если выполняется хотя бы одно условие, компьютер передается в модуль обслуживания и ремонта при срабатывании перехода Tout2;

• Формирование запроса на прогнозное обслуживание на выходной дуге перехода T4 в соответствии с распределением Пуассона с заданной интенсивностью λ_M и перемещение компьютера в позицию UM;

• Формирование события отказа на выходной дуге перехода T5 согласно распределению Пуассона, с заданной интенсивностью λ_F, и перемещение компьютера в позицию UF;

• Перемещение компьютера из позиции UPZ j, если он переходит в неактивное состояние;

• Установка новых значений накопленного времени работы t_{ta} и $t_{rt} = 0$ с использованием сегментов кода функции newRTLM (u);

• Сброс маркировки модуля в исходное состояние по окончании работы по сигналу в позиции EndZ.

Исследователь-аналитик может изучить влияние случайных процессов в моделируемом оборудовании. Маркеры в позициях FE и PrME модуля RTA позволяют запускать переходы T4 и T5. Выражения выходной дуги для этих переходов генерируют случайное время отказа или запросы от системы

прогнозного обслуживания. Программа CPN Tools предоставляет функции случайного распределения: нормальное, пуассоновское, вейбулловское, гамма, экспоненциальное и другие. В примере реализации модуля RTA на рисунке 3.11 показано формирование пуассоновского потока отказов с интенсивностью $\lambda = 3$. Следует отметить, что значения параметров случайного распределения зависят от соотношения модельного и реального времени проектного или технологического процесса, которому назначен контролируемый компьютер.

Выводы

1. Системная имитационная модель должна описывать жизненный цикл эксплуатации комплекса средств вычислительной техники предприятия. Выбор аппарата временных раскрашенных сетей Петри обеспечивает описание различных факторов, влияющих на совместное выполнение производственного процесса и обработки данных и управления с помощью компьютерной техники.

2. В результате системного анализа производственных процессов и процессов обработки информации построена иерархическая модель на сетях Петри с несколькими уровнями различной детализации. Показано, что такой подход позволяет уточнять и развивать общую модель КСВТ, в первую очередь, описывая процессы появления отказов, технического обслуживания и ремонта компьютерного оборудования.

3. Разработан ряд базовых модулей иерархической имитационной модели, использующих раскрашенные стохастические сети Петри. Сделан вывод о необходимости постоянного сопровождения процесса эксплуатации СВТ, выполняя на сетях Петри, как на цифровых двойниках, различные сценарии функционирования компьютеров при реализации производственных процессов.

4. На основе исследования разработанных имитационных моделей предложен набор показателей качества функционирования КСВТ: коэффициент невыполнения работ в срок, остаточный ресурс, оставшееся время до прогнозного технического обслуживания.

5. Дальнейшие исследования предполагается вести в направлении детализации моделей на сетях Петри. В частности, большое значение имеет исследование взаимной связи между предшествующими периодами эксплуатации компьютеров и прогнозируемыми отказами. Другой важный вопрос для перспективных исследований – оптимальный состав компьютерной техники, который следует держать в резерве.

4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

4.1 Задача оценки эффективности использования СВТ в подразделениях предприятия

Для оценки эффективности использования средств вычислительной техники в подразделениях предприятия предлагается использовать метод анализа среды функционирования - Data Envelopment Analysis (DEA), позволяющий проводить сравнительный анализ гетерогенных производственных единиц и определять направления достижения заданных показателей работы.

Основополагающим моментом метода DEA является эффективность, которая в общем случае определяется как отношение суммы всех выходных параметров к сумме всех входных параметров. Для каждого исследуемого объекта определяется величина эффективности. Сравнение происходит с помощью метода линейного программирования при использовании различных базовых моделей и их вариантов. DEA определяет из количества задействованных объектов наиболее эффективные путем построения границы эффективности, а для всех остальных - меру их неэффективности. Эта эффективность рассчитывается как соотношение суммы взвешенных результатов деятельности предприятия к сумме взвешенных использованных средств:

$$\text{Техническая эффективность} = \frac{\sum \text{взвешенных выходных параметров}}{\sum \text{взвешенных входных параметров}}$$

Оценка соответствующих величин происходит с помощью оптимизации.

Предприятие является в теории производства эффективным, если в данный момент времени при заданной технологии и оснащенности ресурсами невозможно произвести большее количество по крайней мере одного вида изделия при одновременном изготовлении того же количества других видов изделий. Это означает, что комбинация используемых производственных процессов оптимальна [30].

Состояние эффективности по Чарнесу, Куперу и др. определяется соответственно этому следующим образом: предприятие является на 100 % эффективным, если: ни один из выходных параметров не может быть повышен без повышения одного или более входных факторов либо понижения других выходных параметров; или ни один из входных факторов не может быть уменьшен без понижения одного или более выходных параметров либо повышения других входных факторов [30].

Данное определение применительно только к понятию относительной эффективности, так как истинная эффективность в большинстве случаев неизвестна. 100 % относительной эффективности предприятия может быть достигнуто только тогда, когда в сравнении с другими соответствующими предприятиями не существует оснований для неэффективности по отношению к одному или нескольким входным или выходным факторам. В связи с этим, в основе представленной методики лежит идея относительной эффективности [30].

4.2 Математические модели метода DEA

Модели метода DEA можно классифицировать по следующим критериям:

1. Вид функции (линейный на участках или частично нелинейный).
2. Выбранный вид ориентации:
   a) модели, ориентированные на выход (output-ориентированные),
   b) модели, ориентированные на вход (input-ориентированные),
   c) модели без ориентации.
3. Эффект масштаба:
   a) постоянный (constant returns to scale, CRS),
   b) переменный (variable returns to scale, VRS).

На рисунке 4.1 представлены основные модели DEA [40].

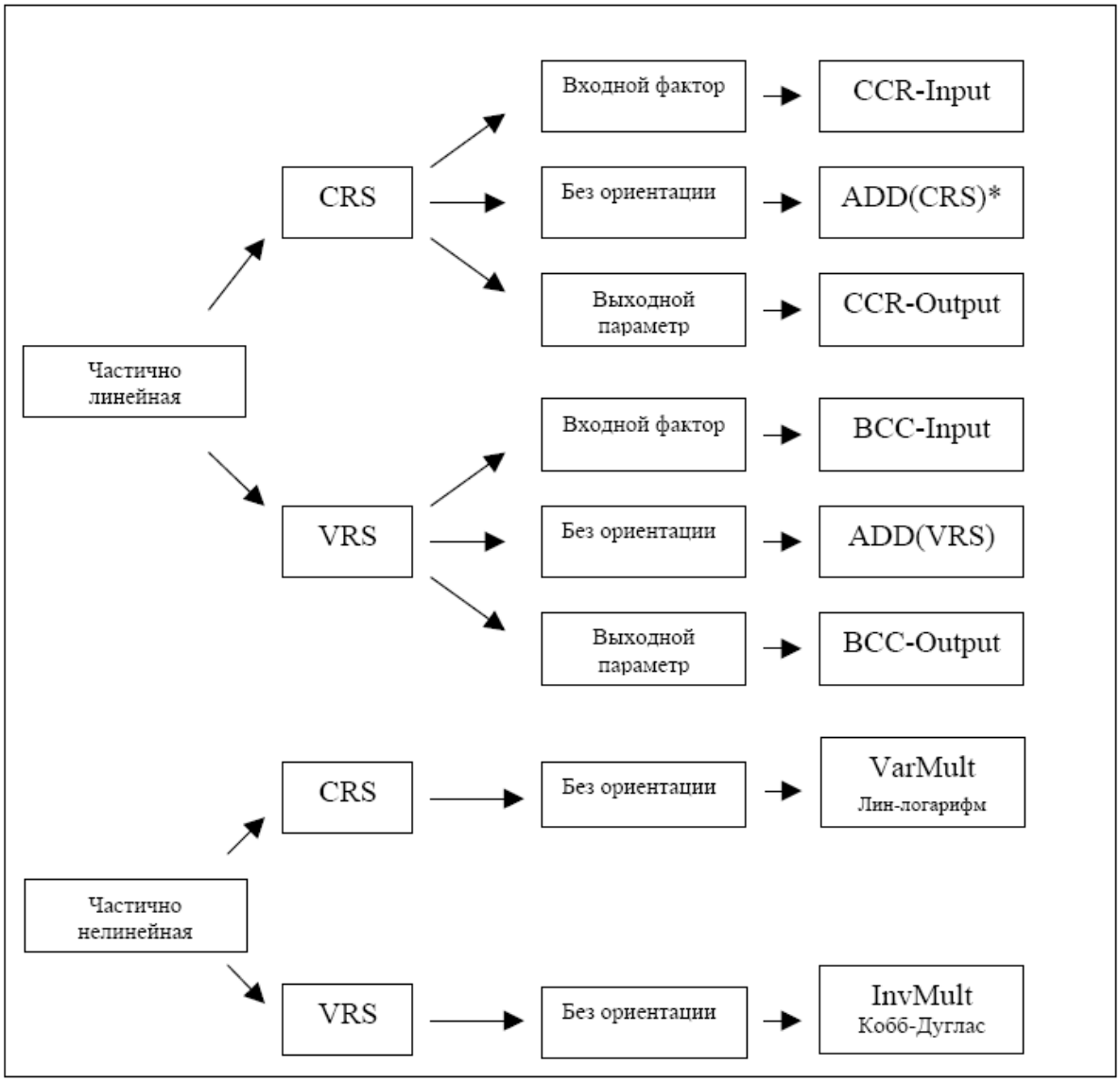


Рисунок 4.1 - Основные модели метода DEA

Базовая модель CCR была предложена Чарнесом, Купером и Роудсом и направлена на нахождение границы эффективности в многомерном пространстве параметров исследуемых объектов. Позиция объекта относительно границы дает возможность не только оценить его эффективность, но и найти величину изменений параметров, которые выводят объект на границу эффективности.

Бэнкер, Чарнес и Купер разработали модели BCC-Output и BCC-Input, также ориентированные на выход и вход, которые отличаются от CCR-моделей принятием переменного эффекта масштаба. Эти модели позволяют опознавание возрастающего либо снижающегося эффекта масштаба для каждого рассматриваемого предприятия или подразделения, а также разделение

эффективности на техническую эффективность и эффективность в зависимости от эффекта масштаба.

В суммарных моделях ADD применяется одновременно input- и output-ориентированная эффективность. Такие модели называются input- и output-ориентированными моделями, или моделями без ориентации. В литературе эти модели рассматриваются в большинстве случаев только с принятием переменного эффекта масштаба ADD (VRS), хотя посредством формально наглядной трансформации, как например, трансформации между CCR-моделями и BCC-моделями, возможен переход к суммарной модели ADD (CRS) с постоянным эффектом масштаба [30, 93]. Параллельно с суммарными моделями были созданы так называемые "мультипликативные модели" без ориентации VarMult и InvMult, где используется частично логарифмическая функция или производственная функция Кобба-Дугласа вместо частично линейной функции моделей CCR, BCC и ADD.

Дальнейшее развитие DEA базируется на этих четырех основных моделях. Последние разработки в этой области занимаются как различиями и взаимосвязями этих основных моделей, чувствительностью результатов, компонентами значений эффективности, так и устранением проблем при практическом применении DEA, как например, принятие во внимание порядковых, категорических и экзогенно фиксированных входных и выходных параметров [40].

Модели CCR и BCC представляют собой задачи линейного программирования, которые находят весовые коэффициенты известных входных и выходных показателей для каждого анализируемого подразделения. Эти коэффициенты позиционируют подразделения в пространстве показателей относительно границы эффективности. Вектор перемещения объекта на границу эффективности определяет целевые изменения параметров подразделений для повышения качества их работы.

4.3 Алгоритм сравнительной оценки СВТ в подразделениях

Основой для разработки оценки эффективности распределения и использования СВТ являлся опыт исследований в области оценки эффективности различных предприятий с помощью метода DEA.

На рисунке 4.2 приведен разработанный алгоритм для сравнительной оценки эффективности использования средств вычислительной техники в подразделениях для различных вариантов распределения СВТ.

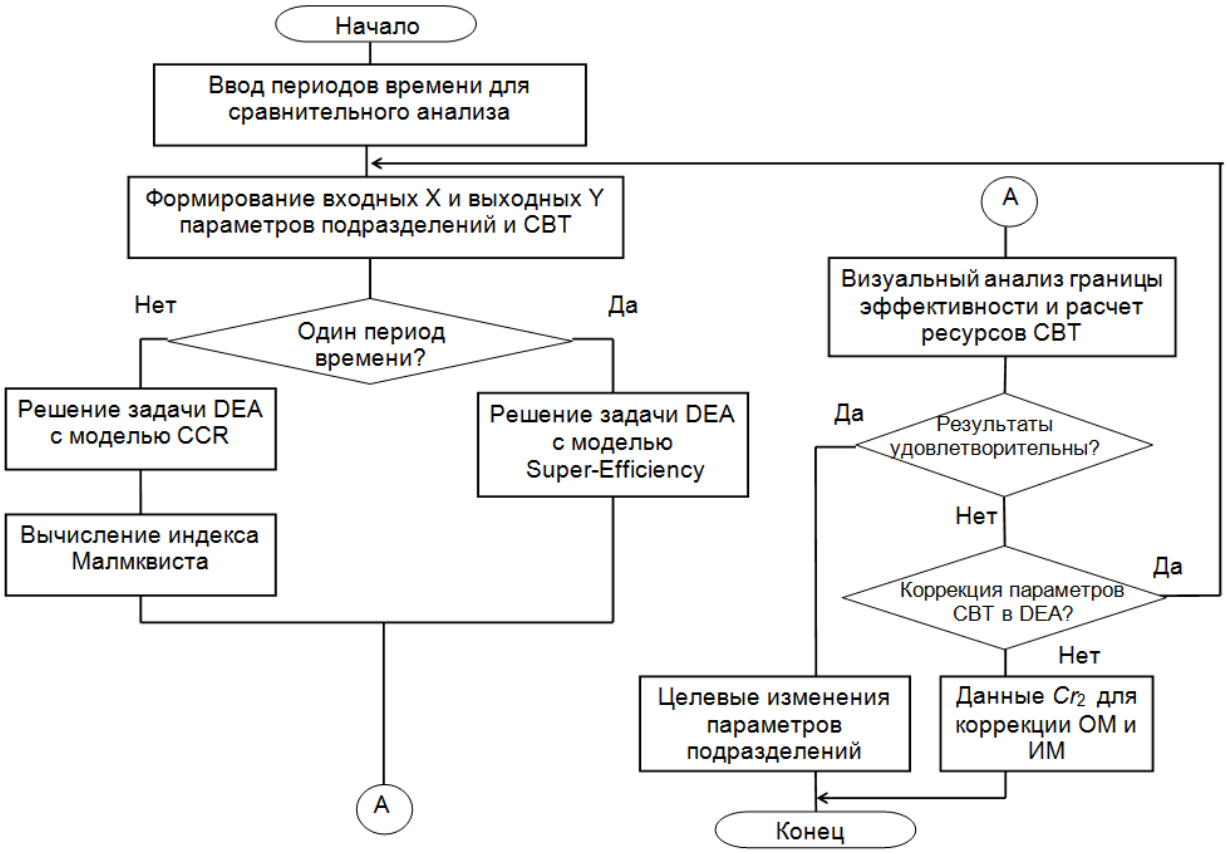


Рисунок 4.2 - Схема алгоритма оценки на основе метода DEA

Подробное описание реализации этапов алгоритма раскрыто в следующих пунктах.

4.4 Формирование входных и выходных параметров для оцениваемых объектов

В качестве примера расчета и анализа эффективности распределения и эксплуатации КСВТ предприятия рассмотрим совокупность из двух конструкторских К1 и К2 и трех проектных подразделений П1, П2 и П3. Эти подразделения оснащены компьютерами различных конфигураций и решают различные задачи, которые будут оцениваться условными объемами выполняемых операций.

Целесообразно рассматривать следующие ключевые показатели эффективности KPI (Key Performance Indicators):

Y1 – суммарная стоимость компьютерной техники в отделе (тыс. рублей);

Y2 – удельный объем выполняемых задач на одного сотрудника.

Входные параметры оцениваемых подразделений описывают степень оснащения компьютерной техникой, сложность конструкторских, проектных и производственных процессов:

X1 - количество сотрудников в подразделении;

X2 - количество компьютеров в подразделении;

X3 - средняя производительность компьютеров (GFlops);

X4 - объем задач, выполняемых в подразделении;

X5 - количество графических рабочих станций конфигурации №1;

X6 - количество графических рабочих станций конфигурации №2;

X7 - количество рабочих станций инженерной конфигурации.

Данные параметры рассматриваются за годовой период.

В таблицах 4.1 и 4.2 приведены значения параметров за два года. Это позволяет применить методику DEA для оценки развития подразделений в течение этого времени.

Таблица 4.1 – Входные параметры для оценки конструкторских и проектных подразделений в период 2017 г. и 2018 г.

Входные параметры	К1		К2		П1		П2		П3	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
X1	40	44	32	29	40	51	90	81	44	54
X2	48	52	32	32	40	54	82	93	45	59
X3	6886	7213	4800	4762	6455	7705	10200	11891	7550	8890
X4	5	7	5	5	8	15	10	12	12	16
X5	13	15	5	5	9	20	30	30	20	25
X6	23	25	12	12	23	20	39	50	11	15
X7	12	12	15	15	8	14	13	13	14	19

Таблица 4.2 – Выходные параметры для оценки конструкторских и проектных подразделений в период 2017 г. и 2018 г.

Выходные параметры	К1		К2		П1		П2		П3	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Y1	3664	4040	2280	2355	3192	4000	6310	7420	3075	4140
Y2	6	8,27	5	5,52	8	15,88	9,11	13,78	12,27	17,48

4.5 Методика оценки эффективности СВТ с использованием моделей DEA и критерия Малмквиста

Методика основывается на постановке задачи дробно-рационального программирования и сведения ее затем к задаче линейного программирования. На первом этапе определяется набор из n подразделений предприятия (DMU_i, i=1,...,n), векторы их входных параметров (входных факторов) $x_i = (x_1^i, ..., x_m^i)$ и выходных параметров $y_i = (y_1^i, ..., y_r^i)$. Технические характеристики компьютеров в подразделении напрямую влияют на способность выполнять определенную работу. Поэтому в векторы x_i и y_i должны входить, как элементы, показатели качества рабочего процесса и параметры компьютерного оборудования. В

результате образуются матрицы X размером $m \times n$ и Y размером $r \times n$, которые содержат данные для дальнейшего анализа.

Измерение эффективности проводится путем нахождения оптимального взвешенного соотношения между выходными параметрами и входными факторами совокупности рассматриваемых DMU. При этом критерий эффективности наблюдаемого подразделения лежит на отрезке [0, 1]. Базовая модель CCR направлена на нахождение границы эффективности в многомерном пространстве параметров подразделений. Позиция подразделения относительно границы дает возможность не только оценить его эффективность, но и найти величину изменений параметров для достижения границы эффективности.

Используются две основные модели:

- CCR_{output} - ouput-ориентированная модель, в которой целевая функция пытается пропорционально увеличить выходной параметр DMU в направлении границы эффективности.
- CCR_{input} - input-ориентированная модель, в которой целевая функция пытается пропорционально уменьшить входной фактор DMU до границы эффективности.

Модель CCR_{input} с постоянным эффектом масштаба (CRS) представлена следующим образом:

$$\left.\begin{array}{l} \min_{\theta,\lambda} \theta, \\ -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ \lambda \geq 0, \end{array}\right\} \qquad (4.1)$$

где θ - интегральный критерий эффективности исследуемого подразделения, X - матрица входов, Y - матрица выходов, x_i и y_i – вектор-столбцы индивидуальных входов и выходов для i-го подразделения в X и Y соответственно, λ - вектор (фактор) взвешивания, $\lambda_i \geq 0, \ \forall i = 1,...,n.$

В BCC модели принимается переменный эффект масштаба (VRS). При этом изменение входного фактора может привести к непропорциональному изменению

выходного параметра и тогда большее число DMU может быть обозначено как эффективные.

Эта модель отличается от модели CCR (4.1) тем, что добавлено ограничение $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i = 1$, которое можно записать в виде $e\lambda = 1$, где e - вектор-строка с единичными элементами, а λ - вектор–столбец искомых весовых коэффициентов.

Модель BCC_{output} представлена в виде:

$$\left.\begin{array}{l} \min_{\theta_B,\lambda}\theta_B, \\ -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ \theta_B x_i - X\lambda \geq 0, \\ e\lambda = 1, \\ \lambda \geq 0. \end{array}\right\} \qquad (4.2)$$

В процессе проведенных исследований была использована программа PIMDEA Soft версии V3.0 [130], которая выполняет решение задач линейного программирования для моделей CCR и BCC различных модификаций [99]:

- с постоянным эффектом масштаба(CRS);
- с переменным эффектом масштаба (VRS);
- с не уменьшаемым эффектом масштаба (NDRS);
- с применением анализа суперэффективности;
- с использованием переменной резерва.

Исследование эффективности проектных и конструкторских подразделений предприятия проводилось на input-ориентированной модели CCR_{input} с не уменьшаемым эффектом масштаба (NDRS), а также на модели BCC_{input} с переменным эффектом масштаба (VRS). При этом использовался режим нахождения границы суперэффективности (Simple Super Efficiency).

Метод DEA предполагает построение границы эффективности в виде поверхности в многомерном пространстве входных и выходных параметров. В данном случае, это девятимерное пространство, и граница образована пересечением гиперплоскостей. Для удобства анализа программа PIMDEA Soft

предоставляет возможность анализировать различные сечения этого пространства параметров:

- один вход – один выход;
- два входа – один выход;
- два выхода – один вход.

Различие моделей CCR с постоянным эффектом масштаба и BCC с переменным эффектом масштаба иллюстрируется на рисунке 4.3, где показана связь входа X3 (производительность компьютеров) с выходом Y2 (удельный объем выполняемых задач).

В первом случае (рисунок 4.3,а) в 2017 году граница эффективности образуется подразделением П3, а в 2018 году - подразделением П1. Используя модель BCC, можно повышать эффективность путем непропорционального изменения входных параметров.

На рисунке 4.3,б для 2017 года граница образована подразделениями К2 и П3, а в 2018 году – подразделениями К2, П1 и П3.

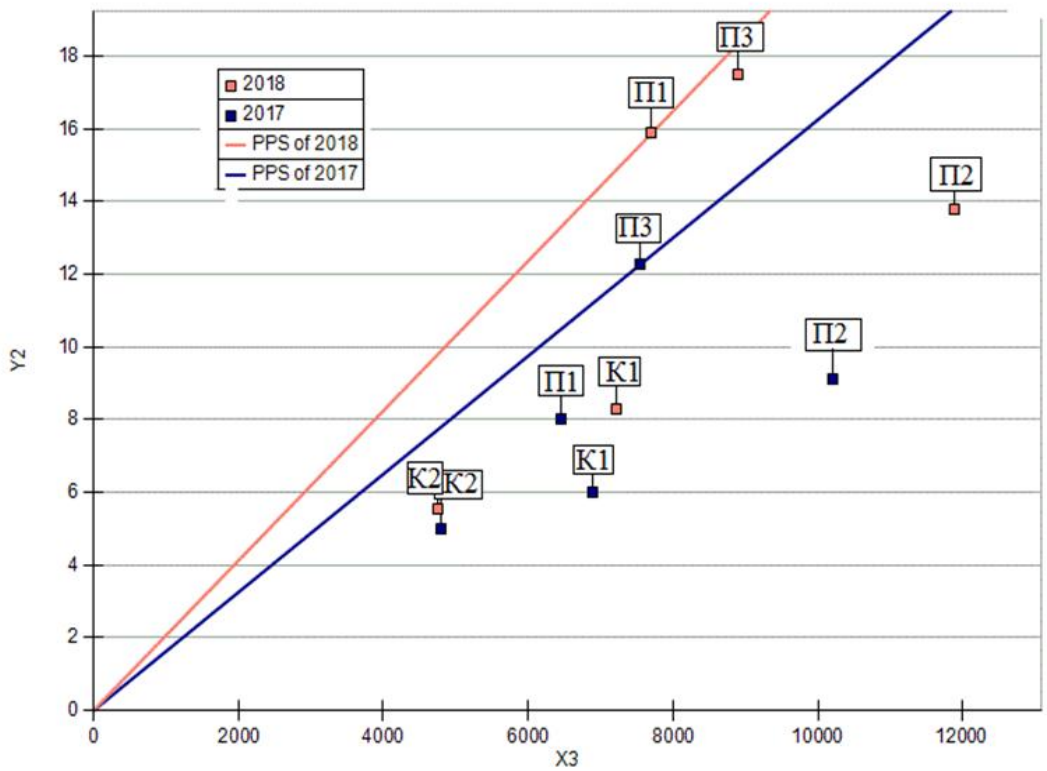
Очевидно, что наименее эффективны те подразделения, которые расположены далеко от границы: конструкторское подразделение К1 и проектное подразделение П2.

Для оценки развития подразделений был рассчитан индекс Малмквиста.

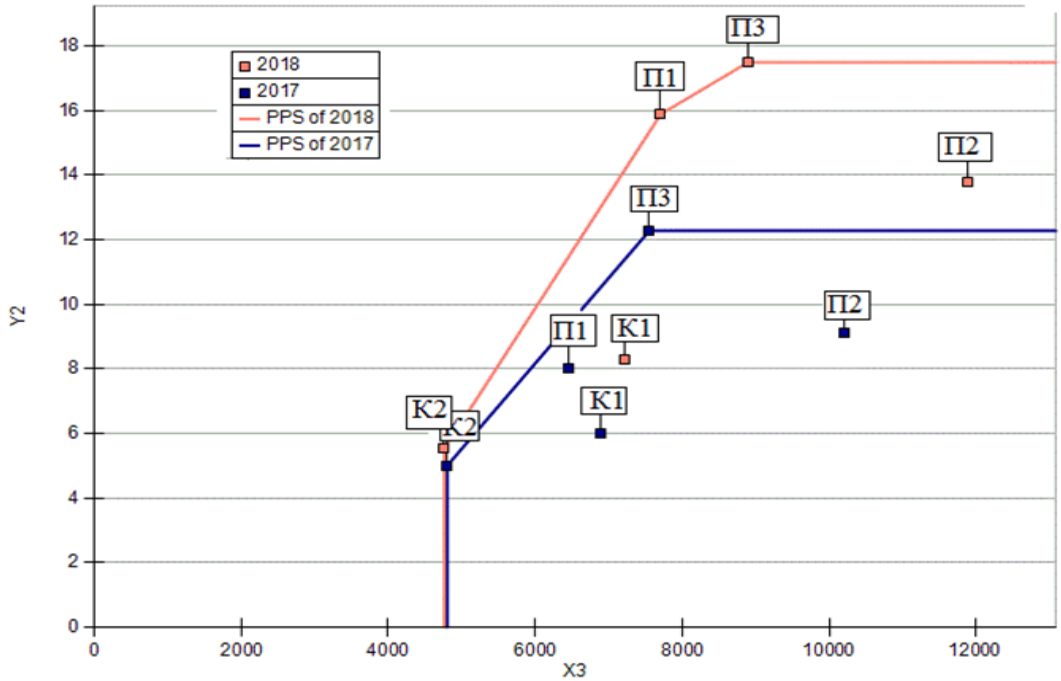
Индекс Малмквиста для input-ориентированной CCR модели формируется следующим образом:

$$MI(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, y_t) = \frac{D_{CRS}^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})}{D_{CRS}^{t}(y_t, x_t)} \left[\frac{D_{CRS}^{t}(y_{t+1}, x_{t+1})}{D_{CRS}^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})} \times \frac{D_{CRS}^{t}(y_t, x_t)}{D_{CRS}^{t+1}(y_t, x_t)} \right]^{1/2}, \quad (4.3)$$

где x_t и x_{t+1}- входные векторы, y_t и y_{t+1} - выходные векторы в периоды t и t+1, $D_{CRS}^{t}, D_{CRS}^{t+1}$ – input-ориентированные функции дистанции по отношению к технологии производства в периоды времени t и t+1, CRS показывает, что рассматривается постоянный эффект масштаба. Функции дистанции определяются по методике, изложенной в работах [37, 93].



а)



б)

а) модель CCR_{input} с NDRS и суперэффективностью; б) модель BCC_{input} с VRS

Рисунок 4.3 - Диаграмма положения отделов относительно границ эффективности в зависимости от удельных объемов выполняемых задач (Y2) и производительности компьютеров (X3)

Индекс Малмквиста (4.3) может быть также представлен в виде произведения

$$MI = EC \cdot TC, \tag{4.4}$$

где TC – технические изменения (технический прогресс или инновации на двух периодах времени), EC– изменение эффективности.

В таблице 4.3 приведены полученные значения MI, TC и EC.

Таблица 4.3 – Индекс Малмквиста (2017 – 2018 гг.)

DMU	TC	EC	TFPG(MI)
К1	0,96	1	0,96
К2	0,82	1	0,82
П1	0,95	1	0,95
П2	1,1	1	1,1
П3	1,23	1	1,23

Величина индекса $MI > 1$ свидетельствует о прогрессе в производительности рассматриваемого DMU в период от t до t+1. $MI = 1$ или $MI < 1$ соответствуют неизменному состоянию или снижению фактора производительности.

Это подтверждает сделанный ранее вывод о неэффективном использовании вычислительной техники в некоторых подразделениях (К1, К2, П1) при переходе от 2017 к 2018 г.

4.6 Анализ результатов моделирования

Проведенное исследование позволяет определить стратегию развития конструкторских и проектных подразделений предприятия в следующих аспектах:

- оптимизация численности сотрудников в соответствии с объемом задач;

- определение необходимого количества единиц компьютерной техники для выполнения задач в подразделении и уточнение количества конфигураций компьютеров;
- перераспределение компьютерного оборудования между подразделениями;
- увеличение или уменьшение загрузки подразделений в целом и оптимизация удельного объема выполняемых задач на одного сотрудника.

Моделирующая программа PIMDEA Soft предоставляет графическую информацию в виде диаграмм расположения параметров подразделений в многомерном пространстве. Имеется возможность анализировать все объекты и различные сочетания входных и выходных параметров. В качестве примера рассмотрен анализ эффективности для конструкторского подразделения К2.

На рисунке 4.4 изображены две границы эффективности (2017 и 2018 г.).

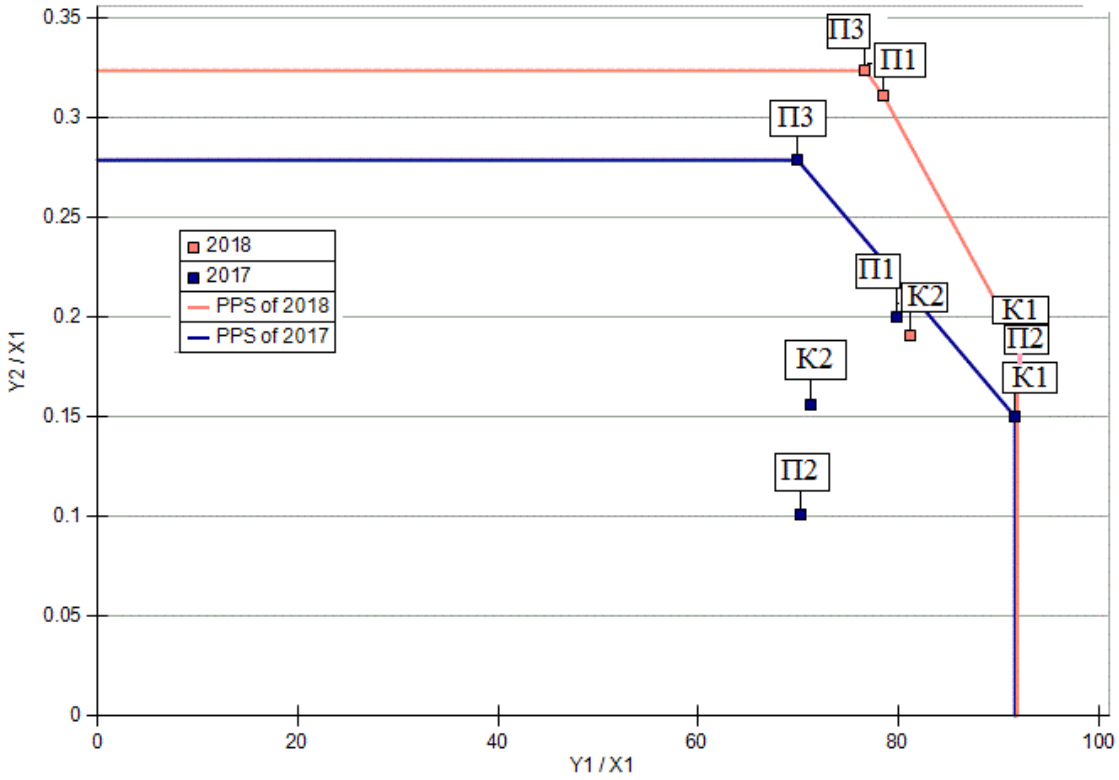


Рисунок 4.4 - Положение подразделения К2 относительно границ эффективности в 2017 и 2018 годах в зависимости от параметров X1, Y1 и Y2

При этом во внимание принимаются значения: X1 – число сотрудников в подразделении, Y1 – суммарная стоимость компьютеров, Y2 – удельный объем задач в подразделении.

Подразделения, расположенные на границах, являются эффективными на рассматриваемых периодах. В 2017 году это были подразделения К1 и П3, а в 2018 году – подразделения К1 и П1, П2, П3. В то же время подразделение К2 не улучшило свое положение, несмотря на увеличение числа сотрудников в 2018 г.

Показателен также результат для входного параметра X7 – количество рабочих станций инженерной конфигурации (рисунок 4.5).

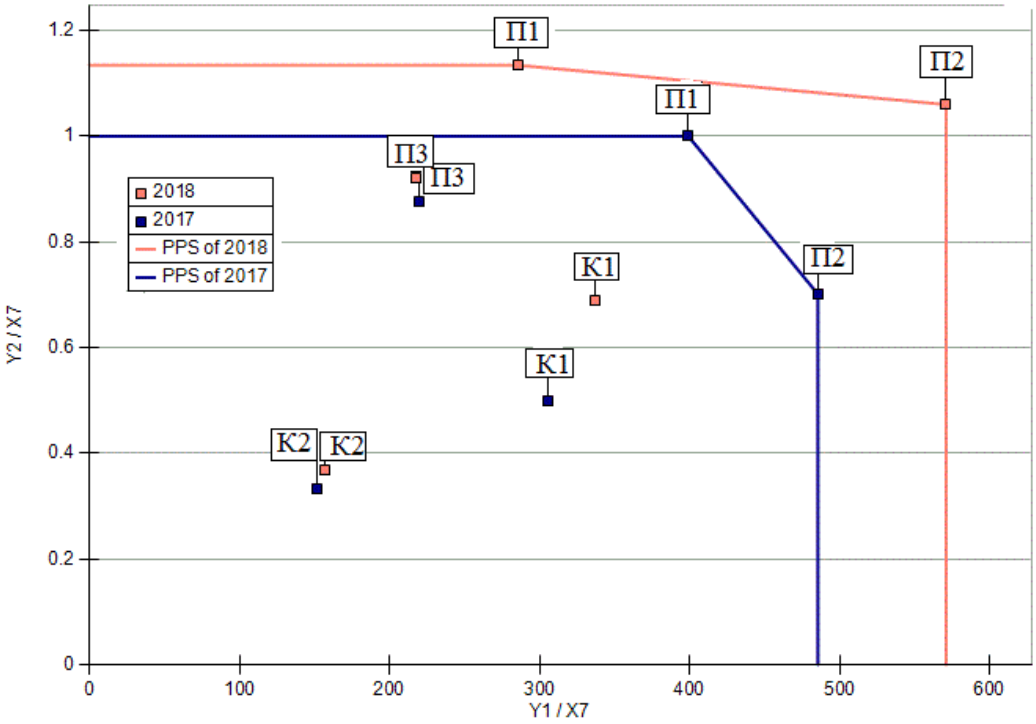


Рисунок 4.5 - Положение подразделения К2 относительно границ эффективности в 2017 году и 2018 году в зависимости от параметров X7, Y1 и Y2

Видно, что выходные параметры подразделения К2 практически не изменились, но расстояние до границы эффективности в 2018 году увеличилось.

Можно сделать вывод о неэффективности использования в подразделении К2 рабочих станций инженерной конфигурации.

Для выведения подразделения К2 на границу эффективности следует изменить ряд параметров. На рисунке 4.6 показана граница для подразделений в

2018 году плоскости параметров: Y2 - удельный объем выполняемых задач и X7 – количество рабочих станций инженерной конфигурации.

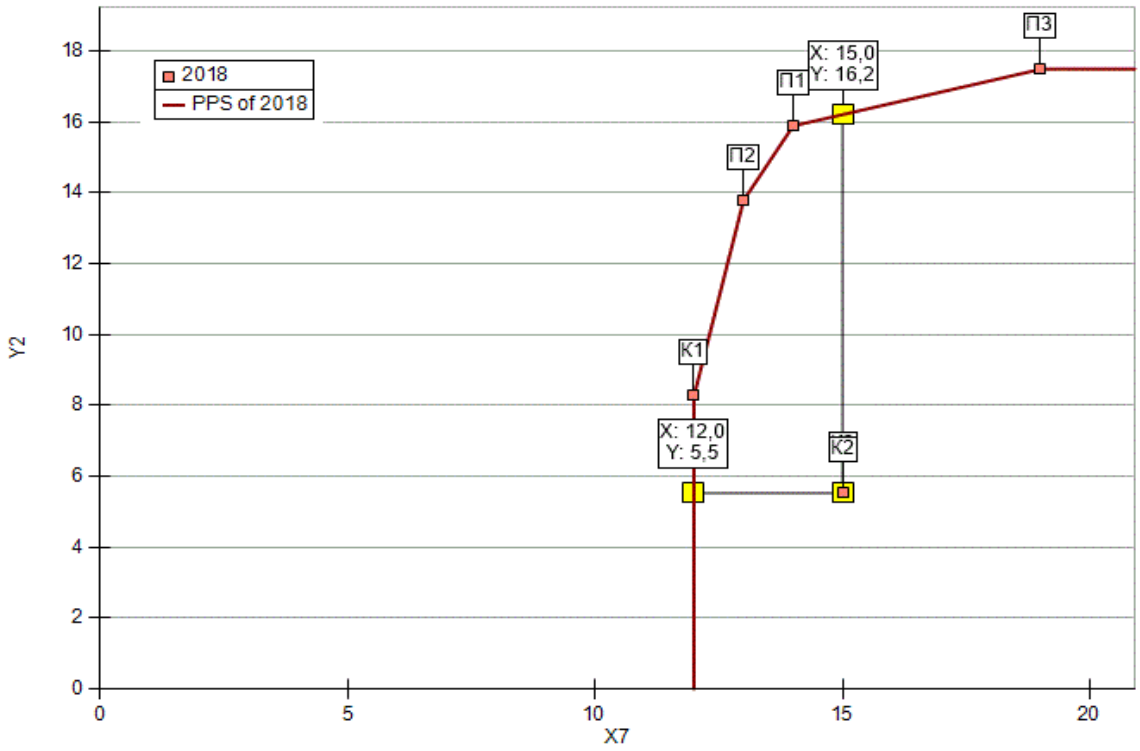


Рисунок 4.6 - Целевые изменения параметров X7 и Y2 подразделения К2 для выхода на границу эффективности

Наилучшие положения К2 на границе показывают, какие целевые изменения должны быть сделаны. Первый вариант – уменьшение количества рабочих станций инженерной конфигурации с 15 до 6 при неизменном объеме выполняемых работ. Второй вариант – оставлять то же количество рабочих станций инженерной конфигурации и значительно загружать подразделение новыми задачами. При этом удельный объем задач должен возрасти почти в 3 раза. Второй вариант в условиях существующей производственной программы предприятия не реален, в связи с этим принимается первый вариант.

Аналогичная информация имеется и для других подразделений предприятия, что позволяет получить данные о целевых значениях всех параметров всех рассматриваемых подразделений.

В результате анализа на DEA - моделях были получены целевые значения параметров подразделений, которые необходимо реализовать для повышения эффективности использования компьютерного оборудования (таблица 4.4). В таблице приняты обозначения: «Цель» - значение параметра, которое следует планировать, δ – процентная величина изменения данного параметра по отношению к существующему значению.

Таблица 4.4 – Целевые значения параметров подразделений по результатам анализа CCR модели эффективности в 2018 г.

Входные параметры	К1		К2		П1		П2		П3	
	Цель	δ,%	Цель	δ,%	Цель	δ,%	Цель	δ,%	Цель	δ,%
X1	46	4,7	27	-6,15	55	7,37	81	0	56	3,9
X2	49	-5,3	30	14	60	12	95	2,7	59	0
X3	7051	-2,2	4160	-12,6	8800	14	13247	11,4	8481	-4,6
X4	7	0	6	8	14	-4	13	7,14	16	0
X5	16	11	11	9,4	24	21	27	-8,17	22	-11,9
X6	25	0	14	13,8	19	-3,6	46	-8,1	22	46,7
X7	13	11	6	-60	17	21	22	69,5	15	18,9
Y1	4040	0	2355	0	4377	9,45	7420	0	4403	6,35
Y2	8,27	0	6,05	9,6	16	0	15	10,2	17,48	0

В частности, для рассматриваемого конструкторского подразделения К2 предлагается следующий план развития:

- уменьшение числа сотрудников с 29 до 27 человек;
- уменьшение количества инженерных рабочих станций до 6 шт.;
- увеличение количества графических рабочих станций до 20 шт. при сохранении суммарной стоимости техники;

- увеличение количества выполняемых задач и, следовательно, увеличение удельного объема работ.

Решение для системной модели DEA в виде таблицы 4.4 дает информацию для планирования распределения ресурсов. Рассмотрим обеспеченность всех отделов компьютерами с одинаковыми конфигурациями. Введем переменную, описывающую резерв компьютерной техники

$$R^m = -\sum_{n=1}^{N} d_n^m, \quad m \in \{5, 6, 7\},$$

где d_n^m – целевое изменение единиц ресурсов (X5, X6 или X7),

N – количество отделов.

Если $R^m = 0$, то возможно перераспределение ресурсов между отделами. При значении $R^m < 0$ следует приобретать оборудование, а при $R^m > 0$ - образуется резерв.

Анализ таблицы 4.4 показывает, что R^5 = R^7=0, а $R^6 = -4$. Таким образом, компьютерные графические станции с конфигурацией № 1, а также инженерные компьютеры могут быть перераспределены между отделами без приобретения новой техники. Графические станции с конфигурацией № 2 перераспределяются между отделами П1, П2 и П3, причем необходимо приобрести еще 4 компьютера.

Расчет резерва средств вычислительной техники, назначаемой подразделениям предприятия, реализован в виде блока в схеме алгоритма на рис. 4.2 .

Выводы

1. Для комплексной оценки работы КСВТ предложена системная модель, основанная на использовании метода DEA. Показано, что разработанная модель дает возможность получить обоснованную оценку эффективности эксплуатации компьютерного оборудования, анализируя множество ключевых показателей и характеристик СВТ и подразделений предприятия. Основной научный результат заключается в построении границ эффективности в пространстве параметров компьютерного оборудования. Это дает возможность

определять пути дальнейшего повышения эффективности для каждого подразделения предприятия.

2. Для проектных групп предприятия сформирован представительный набор основных параметров. Эти параметры позволяют оценить влияние на эффективность производственной деятельности, как технических характеристик оборудования, так и показателей численности и компетентности сотрудников, выполнения производственных графиков, количества ошибочных проектных решений.

3. Визуальный анализ положения проектных групп относительно границы эффективности обеспечивает обоснованный выбор целевых изменений определяющих параметров КСВТ для достижения этой границы. В результате формируется набор данных для системы принятия решений по коррекции плана распределения средств вычислительной техники между подразделениями предприятия.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ КСВТ В ПРОЕКТНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

5.1 Области использования результатов диссертационного исследования

Разработанные системные модели и алгоритмы могут быть использованы на машиностроительных предприятиях с полным жизненным циклом выпуска изделий для управления вычислительной техникой, использующейся при автоматизации бизнес-процессов. Такие предприятия представляют собой сложную структуру, в которую входят производственные цеха, технологические, конструкторские и проектные подразделения, решающие сложные и многообразные задачи:

1. Создание новых образцов изделий.
2. Модернизация выпускаемых изделий.
3. Разработка новых проектов по совершенствованию конструкции изделий и улучшению технологических процессов.
4. Разработка технологических процессов производства продукции предприятия.
5. Технологические задачи по изготовлению блоков, устройств и изделий в целом.

Предполагаемые отрасли применения:

1. производство ракетно-космической техники,
2. авиастроение,
3. автомобилестроение,
4. производство оборудования для нефтегазовой отрасли промышленности,
5. производство оборудования для химических предприятий,
6. производство продукции народно-хозяйственного значения.

В целом, предлагаемые системные модели и методика управления средствами вычислительной техники носят общий характер. При их использовании можно проводить декомпозицию множества производственных задач, разбивая его на слабо связанные группы и применяя предложенную методику для ограниченного числа СВТ.

Результаты диссертационного исследования используются на научно-производственном предприятии АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара. Для проектных групп этого предприятия было выполнено тестовое решение задачи оценки эффективности использования СВТ в различных подразделениях. В процессе экспериментов был проведен анализ оснащенности вычислительной техникой конструкторских, проектных и производственных подразделений этого предприятия. Выполнено сравнение эффективности использования СВТ в различных подразделениях. В результате были выявлены подразделения, неэффективно использующие вычислительную технику.

Для таких подразделений на основе системных моделей были даны рекомендации по организации использования СВТ, изменению ключевых производственных параметров, способствующих повышению качества работы, экономному использованию ресурсов компьютерного оборудования.

5.2 Практическое использование системных моделей и методики распределения КСВТ на предприятии

Экспериментальное исследование предлагаемой методики проводилось для множества из семи проектных групп (ПГ) ПГ1,..., ПГ7 предприятия. Такой выбор обусловлен сравнительной однородностью производственных задач, выполняемых в этих группах.

Виды наиболее характерных задач приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Виды работ в проектных группах предприятия

Проектная группа	Производственная деятельность
ПГ1	Проектирование конструкции изделия
ПГ2	Проектирование основного корпуса изделия
ПГ3	Прочностные расчеты
ПГ4	Расчеты динамических режимов функционирования изделия
ПГ5	Проектирование электроснабжения
ПГ6	Проектирование электронных блоков
ПГ7	Проектирование технологической оснастки для изготовления изделия

5.2.1 Решение задачи назначения СВТ в проектные подразделения предприятия

Системная модель $\mathbf{M_1}$ (рисунок 1.7) для семи проектных групп построена на основе сформулированной оптимизационной задачи (2.2) – (2.9).

При решении задачи для крупного предприятия возникает проблема, связанная с большой размерностью задачи:

а) для булевых переменных вида x_{kjmn} число комбинаций равно $k \times l \times m \times n$ и достигает $10^4 – 10^5$,

б) задача связана с обработкой разреженной матрицы.

Преодоление этих трудностей обеспечивается предварительным отсечением заведомо неиспользуемых вариантов распределения СВТ.

Пусть на начальном этапе экспертная группа специалистов предприятия определяет, какие задачи могут быть назначены определенным проектным группам, и какие типы компьютерного оборудования могут использоваться для решения этих задач.

В рассматриваемом примере для семи ПГ назначаются 8 задач. Возможные варианты назначения задач, отобранные экспертами, приведены в таблице 5.2. В постановке задачи (2.2) – (2.9) использованы четыре индекса при булевых переменных. Крайний столбец таблицы 5.2 содержит обозначения булевых переменных с индексами k и j. Учитывалась специализация проектных групп и их компетентность.

Таблица 5.2 – Варианты назначения задач для проектных групп

Номер задачи	Тип задачи	Номер ПГ	Булевая переменная с двумя индексами x_{kj}
1	Проектная	1	x_{11}
1	Проектная	2	x_{12}
2	Расчетная	3	x_{23}
3	Расчетная	3	x_{33}
3	Расчетная	4	x_{34}
4	Расчетная	5	x_{45}
5	Проектная	5	x_{55}
5	Проектная	6	x_{56}
6	Проектная	2	x_{62}
7	Расчетная	4	x_{74}
8	Конструкторская	3	x_{83}
8	Конструкторская	7	x_{87}

На следующем этапе эксперты по использованию компьютерного оборудования и программного обеспечения определяют, какие типы компьютеров и их конфигурации могут быть использованы для решения заданного набора задач. Результаты сведены в таблицу 5.3. Они иллюстрируют принцип преобразования булевой переменной оптимизации из формы с четырьмя

индексами k, j, m, n в переменную с линейным индексом i. В таблице 5.3 каждому виду компьютера соответствуют стоимость C и производительность P в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 5.3 – Предварительные варианты использования компьютеров для решения задач

Задача	Тип компьютера	Конфигурация компьютера			Булева переменная x_{kjmn}	Булева переменная с линейным индексом x_i
			C т. руб	p_{mn} GFLOPS		
1	1	1.1	63	109	x_{1111} x_{1211}	x_1 x_2
		1.2	95	120	x_{1112} x_{1212}	x_3 x_4
	2	2.2	35	80	x_{1122} x_{1222}	x_5 x_6
		2.3	38,5	95	x_{1123} x_{1223}	x_7 x_8
2	3	3.1	55	230	x_{2331}	x_9
		3.2	60	300	x_{2332}	x_{10}
3	1	1.1	63	109	x_{3311} x_{3411}	x_{11} x_{12}
		1.2	95	120	x_{3312} x_{3412}	x_{13} x_{14}
	3	3.1	55	230	x_{3331} x_{3431}	x_{15} x_{16}
		3.2	60	300	x_{3332} x_{3432}	x_{17} x_{18}
4	3	3.1	55	230	x_{4531}	x_{19}
		3.2	60	300	x_{4532}	x_{20}
5	1	1.1	63	109	x_{5511} x_{5611}	x_{21} x_{22}
		1.2	95	120	x_{5512} x_{5612}	x_{23} x_{24}
	3	3.2	60	300	x_{5532} x_{5632}	x_{25} x_{26}
6	1	1.1	63	109	x_{6211}	x_{27}

Задача	Тип компьютера	Конфигурация компьютера			Булева переменная x_{kjmn}	Булева переменная с линейным индексом x_i
			C т. руб	p_{mn} GFLOPS		
		1.2	95	120	x_{6212}	x_{28}
	3	3.1	55	230	x_{6231}	x_{29}
		3.2	60	300	x_{6232}	x_{30}
7	2	2.2	35	80	x_{7422}	x_{31}
	3	3.1	55	230	x_{7431}	x_{32}
		3.2	60	300	x_{7432}	x_{33}
8	1	1.1	63	109	x_{8311} x_{8711}	x_{34} x_{35}
		1.2	95	120	x_{8312} x_{8712}	x_{36} x_{37}
	2	2.1	33,4	50	x_{8321} x_{8721}	x_{38} x_{39}
	3	3.2	60	300	x_{8332} x_{8732}	x_{40} x_{41}

Тогда задача нахождения предварительного оптимального распределения средств вычислительной техники в семи проектных группах формулируется на основе выражений (2.2) – (2.9), при этом коэффициенты при булевых переменных берутся из таблицы 5.3.

Целевая функция имеет вид:

$$F = \min \sum_{i=1}^{41} C_i x_i, \tag{5.1}$$

где C_i – суммарные капитальные и эксплуатационные затраты для i–го экземпляра СВТ.

Ограничения:

1. Назначение для каждой задачи и каждой проектной группы не менее одного компьютера (соответственно выражениям (2.5) и (2.6)):

$$\sum_i x_i \geq 1,\ i \in I_k^C,\quad k = \overline{1,K}\ , \tag{5.2}$$

$$\sum_i x_i \geq 1,\ i \in I_j^G, j = \overline{1,J}\ , \tag{5.3}$$

где I_k^C - индексное множество компьютеров, подходящих для выполнения задачи k, I_j^G - индексное множество компьютеров, которые могут быть распределены в группу j.

2. Ограниченность выбора числа экземпляров СВТ:

$$\sum_i x_i \le H_{mn}; \quad i \in I_{mn}, \tag{5.4}$$

где H_{mn} – количество имеющихся экземпляров СВТ m-го типа и n -й конфигурации, доступных к распределению, I_{mn} – множество индексов i, соответствующих экземплярам СВТ одного типа и одной конфигурации (на основе таблиц 5.2 и 5.3).

3. Суммарная производительность компьютеров в j-й проектной группе не должна быть меньше заданной величины $p_j^{\min}$:

$$\sum_i p_i x_i \ge p_j^{\min}, \; i \in I_j^d, \; j = \overline{1, J}, \tag{5.5}$$

где p_i – производительность i-го компьютера, I_j^d - индексное множество компьютеров, предназначенных для выполнения задач в j-й проектной группе.

Булева переменная:

$$x_i = \begin{cases} 1 - \text{если для решения задачи } k \text{ в назначенном подразделении} \\ \quad \text{для } i\text{-го экземпляра СВТ выбран соответствующий тип} \\ \quad \text{и конфигурация компьютера,} \\ 0 \text{ - в противном случае.} \end{cases} \tag{5.6}$$

Для приведения к стандартному виду правые и левые части в выражениях в ограничениях (5.2), (5.3) и (5.5) умножаются на -1.

Правые части ограничений (5.4) и (5.5) задаются следующим образом:

а) предельные значения ресурсов

H_{11}=5; H_{12}=3; H_{21}=2; H_{22}=4; H_{23}=5; H_{31}=4; H_{32}=6,

б) минимальные значения суммарных производительностей компьютеров в проектных группах (GFLOPS):

$p_1^{\min}$=300; $p_2^{\min}$=400; $p_3^{\min}$=900; $p_4^{\min}$=700; $p_5^{\min}$=600; $p_6^{\min}$ = 300; $p_7^{\min}$ = 500.

Решение получено в виде вектора единичных значений переменной x_i:

$$\{x_i \,|\, \forall i : x_i = 1\} = (x_1, x_3, x_5, x_{10}, x_{16,} x_{17}, x_{18}, x_{20}, x_{25}, x_{26}, x_{29}, x_{30}, x_{32,} x_{35}, x_{37}, x_{40}, x_{41}).$$

Результаты решения задачи приведены в таблице 5.4. В таблице 5.4 для сравнения показано плановое распределение компьютеров по рассматриваемым проектным группам, которое было выполнено в 2019 году без применения разработанной в диссертации методики. Каждый экземпляр СВТ в таблице обозначен парой (*m*,*n*).

Таблица 5.4 – Результаты решения задачи оптимизации

Проектные группы	Назначение компьютеров в проектные группы			
	Плановое распределение СВТ в 2019 году	Производительность СВТ в проектных группах, GFLOPS	Оптимальное решение задачи распределения СВТ	Производительность СВТ в проектных группах, GFLOPS
ПГ1	(1.1), (1.2), (2.3)	324	(1.1), (1.2), (2.2)	309
ПГ2	(1.1), (2.2), (2.3), (3.1)	434	(3.1), (3.2)	530
ПГ3	(1.1), (1.2), (2.1), (3.1) (3.2), (3.2),	1109	(3.2), (3.2), (3.2)	900
ПГ4	(1.1), (2.2), (3.1), (3.2)	719	(3.1), (3.2), (3.2)	760
ПГ5	(1.2), (3.1), (3.2)	650	(3.2), (3.2)	600
ПГ6	(1.1), (3.2)	409	(3.2)	300
ПГ7	(1.1), (1.2), (2.1), (3.2)	579	(1.1), (1.2), (3.2)	529
Суммарная стоимость СВТ, тыс. рублей	1360,3		1056	

Капитальные затраты на приобретение новой техники по оптимальному варианту на 22,3% меньше затрат, рассчитанных по плану 2019 года, когда решения принимались без учета многих важных факторов. В то же время суммарные производительности в проектных группах не меньше заданных пороговых значений. Положительный эффект достигнут за счет исключения избыточного количества компьютеров, назначенных, в первую очередь, подразделения ПГ2, ПГ3 и ПГ7.

Полученное решение является основой для построения в дальнейшем имитационных моделей для проверки и уточнения параметров функционирования компьютерного оборудования в совокупности с графиками выполняемых задач.

5.2.2 Имитационное моделирование производственных проектных задач для верификации распределения СВТ

Системная имитационная модель **M_2** (рисунок 1.7) построена на основе подходов, описанных в главе 3.

В процессе имитации для проектных групп фиксировался коэффициент невыполнения задач в срок :

$$K_Z = \Theta_S(\lambda, t_M, t_O, t_R) / \Theta_Z,$$

где Θ_Z – плановый срок выполнения всей задачи Z, рассчитанный по диаграмме Ганта, Θ_S - время выполнения задачи Z на имитационной модели, t_M - период между техническим обслуживанием оборудования, t_O - время технического обслуживания, t_R - время ремонта компьютера.

Выход из строя любого компьютера, назначенного задачам на критических путях, приводит к сдвигу срока выполнения всей работы. Аналогично, вывод компьютера на техническое обслуживание в момент выполнения задачи, находящейся на критическом пути по графику, также задерживает завершение работы. Эти ситуации моделируются на рассматриваемой имитационной модели.

Моделирование отказов компьютеров проводится в предположении о стационарности, ординарности и отсутствия последействия в потоке событий. Тогда можно использовать распределение Пуассона с интенсивностью λ.

Исходные данные для имитационного эксперимента показаны в таблице 5.5.

На рисунке 5.1 приведен один из графиков, полученных по результатам имитации процесса. Допустимое значение сдвига срока выполнения работы было принято K_Z = 1,03. Таким образом, при плановом сроке равном 100 дням допускается сдвиг не более, чем на три дня.

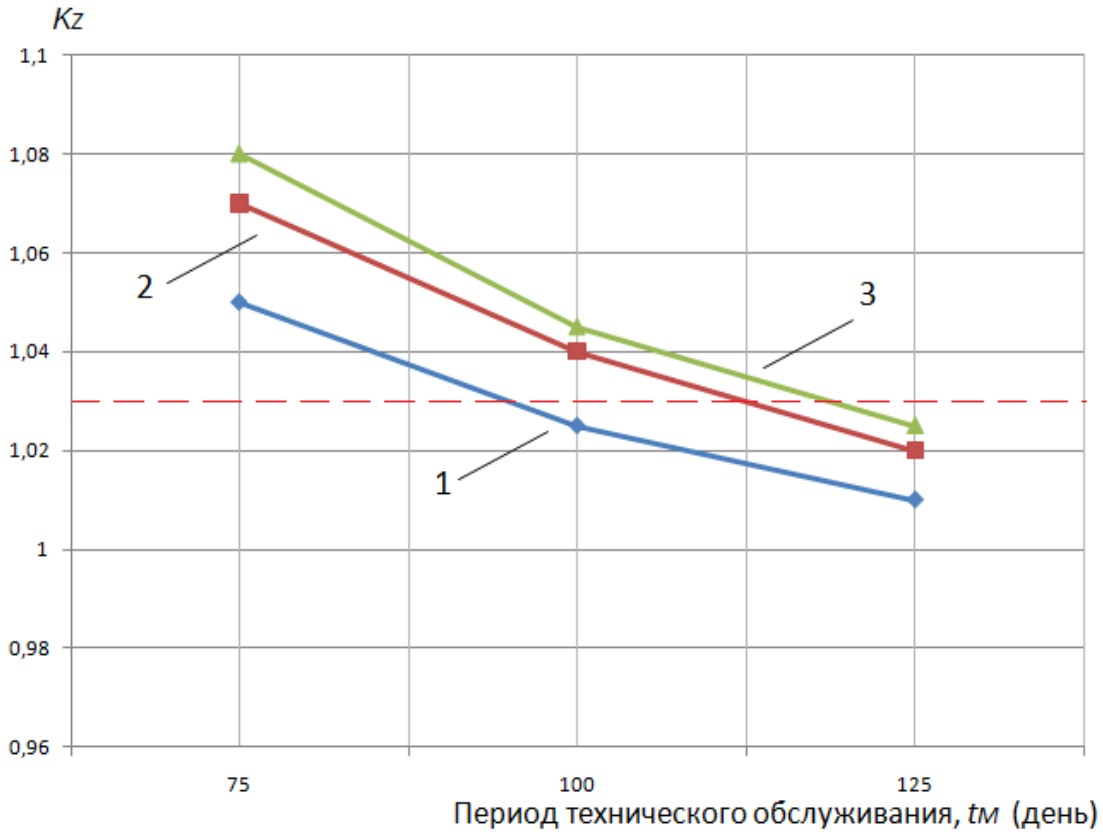
Анализ графиков на рисунке 5.1 показывает, что наибольшее влияние имеет частота повторения технического обслуживания. Это обусловлено тем, что при высокой надежности компьютеров слишком частое техническое обслуживание становится причиной приостановки выполнения отдельных задач.

Таблица 5.5 – Исходные данные для имитационного моделирования

Параметр	Значения параметров		
λ	0.015	0.022	0.03
m	66.6	45.5	33.3
t_M ,день	75	100	125
t_O, день	1	2	3
t_R, день	2	4	6

Полный анализ результатов имитационного эксперимента позволяет определить:

- наилучшее значение периода технического обслуживания;
- максимально допустимое время ремонта компьютеров различных конфигураций;
- задачи, которые наиболее часто останавливались по причине ремонта или обслуживания компьютеров, и скорректировать предварительное распределение компьютеров.



1) t_R=2 дня; 2) t_R = 4 дня; 3) t_R = 6 дней

Рисунок 5.1 – Диаграмма зависимости коэффициента K_Z от периода технического обслуживания t_M и времени ремонта компьютеров t_R при λ=0,022.

5.2.3 Оценка эффективности распределения СВТ для группы проектных подразделений

Системные модели $\mathbf{M_3}$ и $\mathbf{M_4}$ (рисунок 1.7) для оценки распределения СВТ могут применяться двумя способами.

1. Исследование существующих распределений СВТ на предприятии для заданных периодов времени с целью выявления наиболее удачных конфигураций и принятия решений об их улучшении.

2. Верификация предлагаемых решений по распределению СВТ путем анализа различных сценариев приобретения, перераспределения СВТ и вывода компьютерного оборудования из эксплуатации.

В примере, рассматриваемом в данной главе, в качестве входных параметров, использованы следующие характеристики компьютеров:

$p_1, p_2, ..., p_L$ – производительности компьютеров каждой конфигурации,

$v_1, v_2, ..., v_L$ – число компьютеров с данной конфигурацией в проектной группе.

Суммарная производительность всех компьютеров в проектной группе считается выходным параметром оценочной модели. Будем рассматривать две базовые графические конфигурации компьютеров и одну инженерную конфигурацию. Они имеют следующие значения производительности: p_1 = 109 GFlops, p_2 = 120 GFlops и p_3 = 230 GFlops. Производительность p_3 инженерного компьютера значительно выше за счет того, что в нем установлены 6-ти ядерные 12-поточные микропроцессоры Intel Core i7-8700K.

Полный набор анализируемых показателей проектных групп приведен в таблице 5.6. Ключевые параметры, которые описывают качество проектирования: коэффициент ошибочных проектных решений, коэффициент изменения планового срока проекта, удельный объем работы на одного сотрудника. Параметры X5, X6, X7 и Y4 определяются методами экспертных оценок.

Таблица 5.6 - Входные и выходные параметры для оценочной модели DEA

Параметр	Описание	Диапазон значений
X1	Число компьютеров с графической конфигурацией Тип 1	1 - 10
X2	Число компьютеров с графической конфигурацией Тип 2	1 - 10
X3	Число компьютеров с инженерной конфигурацией Тип 3	1 - 10
X4	Количество сотрудников в группе	5 - 20
X5	Коэффициент ошибочных проектных решений, %	< 20
X6	Сумма штрафных баллов проектной группы за невыполнение в срок этапов работ	1 - 20

Параметр	Описание	Диапазон значений
X7	Коэффициент досрочного завершения или превышения планового срока проекта	0,8 – 1,2
Y1	Суммарная производительность графических станций в группе, GFlops	500 – 6000
Y2	Количество одновременно выполняемых проектных задач	1 -20
Y3	Удельная производительность компьютеров в группе на одного сотрудника, GFlops/чел	25 - 1200
Y4	Уровень средней компетенции сотрудников в группе, баллы	0 - 100
Y5	Удельный объем работы на сотрудника, задачи/чел	0,05 – 4,0

В таблице 5.7 приведены характеристики проектных групп, полученные на основе анализа их деятельности во втором полугодии 2019 года.

Для обработки данных оценочной модели DEA, как и в первом примере, была использована программа PIMDEASoft 3.0. Программа выполняет решение модели с различными модификациями режимов и начальных условий. В результате определяется набор целевых изменений параметров анализируемых объектов относительно границы эффективности.

Таблица 5.7 – Значения параметров модели DEA (второе полугодие 2019 года)

Параметр	Проектные группы						
	ПГ1	ПГ2	ПГ3	ПГ4	ПГ5	ПГ6	ПГ7
X1	2	3	4	4	1	3	3
X2	2	6	0	6	2	4	1
X3	2	1	4	4	1	4	1
X4	7	8	10	9	5	8	6
X5	7	0	5	10	3	0	4

Параметр	Проектные группы						
	ПГ1	ПГ2	ПГ3	ПГ4	ПГ5	ПГ6	ПГ7
X6	15	0	0	10	0	0	0
X7	1,15	1	1	1,1	0,8	1	1
Y1	908,8	1248	1356,8	2048	569,6	1708,8	672
Y2	5	8	15	12	4	9	3
Y3	129,8	156	135,68	227,55	113,9	213,6	112
Y4	65	85	85	70	80	90	75
Y5	0,7	1	1,5	1,2	0,8	1,12	0,5

Кроме того, большое значение имеет визуальный контроль объектов на диаграммах PPS. Это позволяет аналитику оперативно определить наиболее рациональные способы повышения эффективности путем изменения значимых характеристик компьютерного оборудования и проектного процесса.

На рисунке 5.2 показана диаграмма для двух периодов времени (первое и второе полугодие 2019 года), характеризующая положение проектных групп относительно границ эффективности.

В частности, синими стрелками показано перемещение двух проектных групп: во втором полугодии 2019 года группа ПГ6 улучшила свои показатели, тогда как группа ПГ1 переместилась в пространстве параметров дальше от границы. Это связано с тем, что для ПГ1 во 2-м полугодии следовало установить компьютеры: Тип 1 – 4 шт., Тип 2 – 3 шт., Тип 3. - 3 шт. Тогда достигалась бы суммарная производительность Y1= 1470 GFlops.

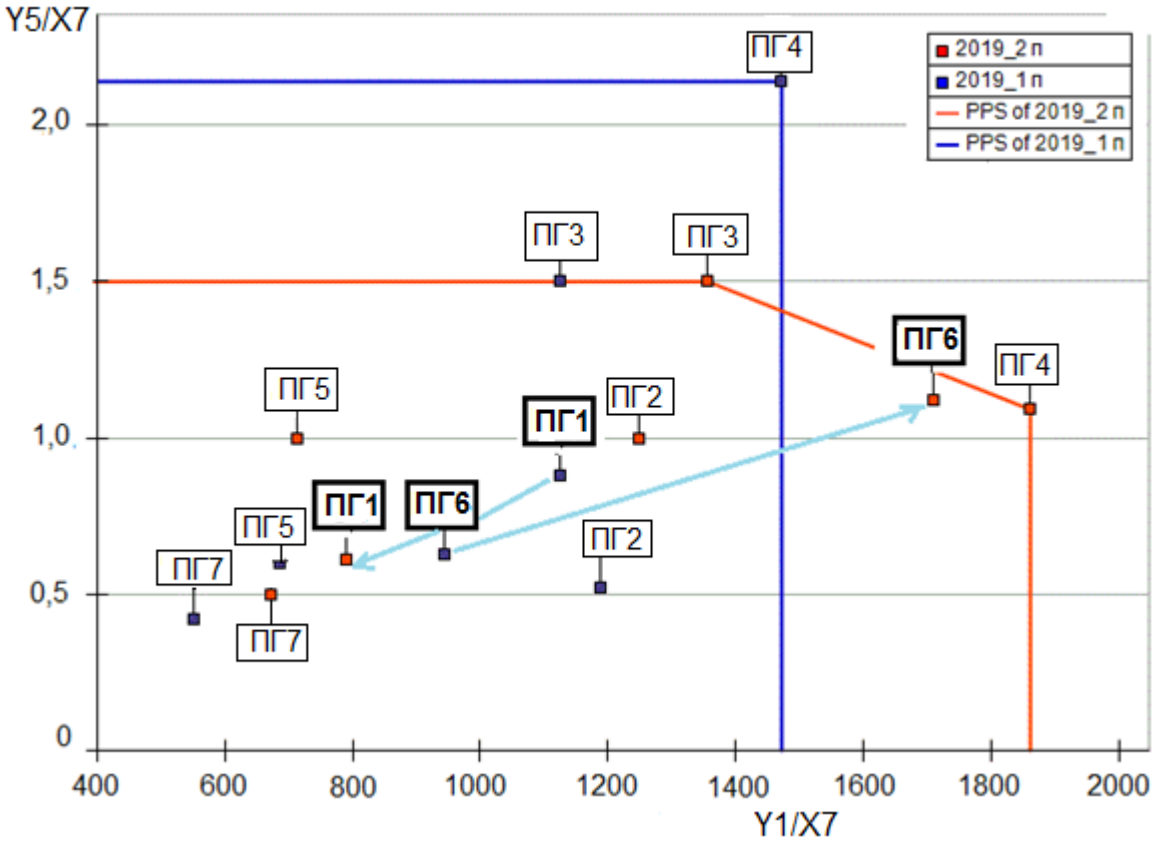


Рисунок 5.2 - Диаграмма положения проектных групп в зависимости от суммарной производительности компьютеров Y1, удельного объема работ на сотрудника Y5 и коэффициента изменения срока проектов X7

В действительности в группу ПГ1 было распределено по 2 компьютера каждого типа соответственно. Это обеспечило только Y1 = 908 GFlops, в результате чего снизился удельный объем работ Y5 с 2,14 до 0,7. Кроме того, коэффициент изменения срока проекта X7 вырос до 1,15, что означает задержку выполнения проекта на 15% и увеличение штрафных баллов X6 до 15.

Также для примера приведена диаграмма (рисунок 5.3), показывающая целевые изменения параметров для группы ПГ2, которые выводят ее на границу, обеспечивая экстремум критерия эффективности.

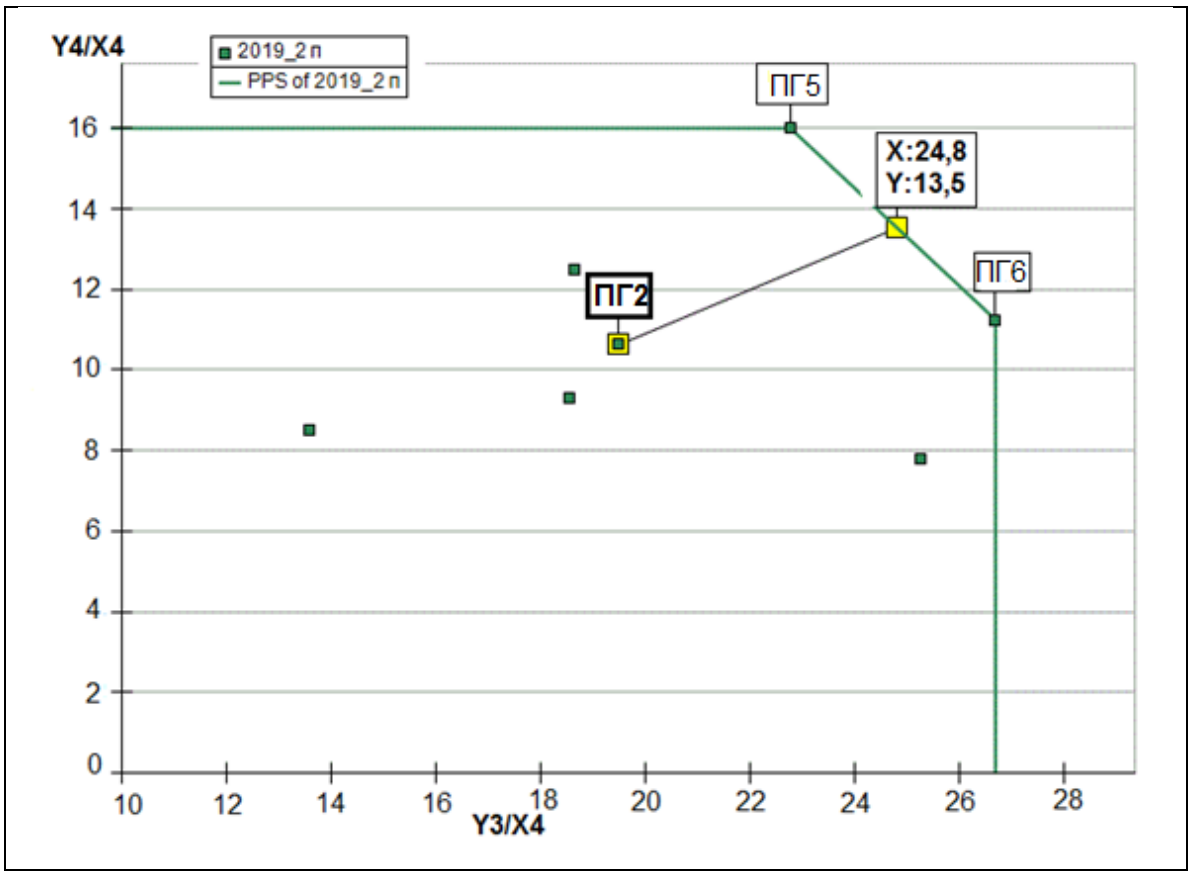


Рисунок 5.3 - Диаграмма с целевыми изменениями параметров X4, Y3 и Y4 группы ПГ2

Если число сотрудников группы принять равным семи, то следует повысить их компетентность с 85 до 95 баллов и увеличить удельную производительность компьютеров с 156 до 173,6 GFlops. Тогда группа ПГ2 становится эффективной наравне с группами ПГ5 и ПГ6.

На рисунках 5.4 – 5.6 показаны примеры разных диаграмм PPS, иллюстрирующих взаимную связь параметров объектов и границы эффективности.

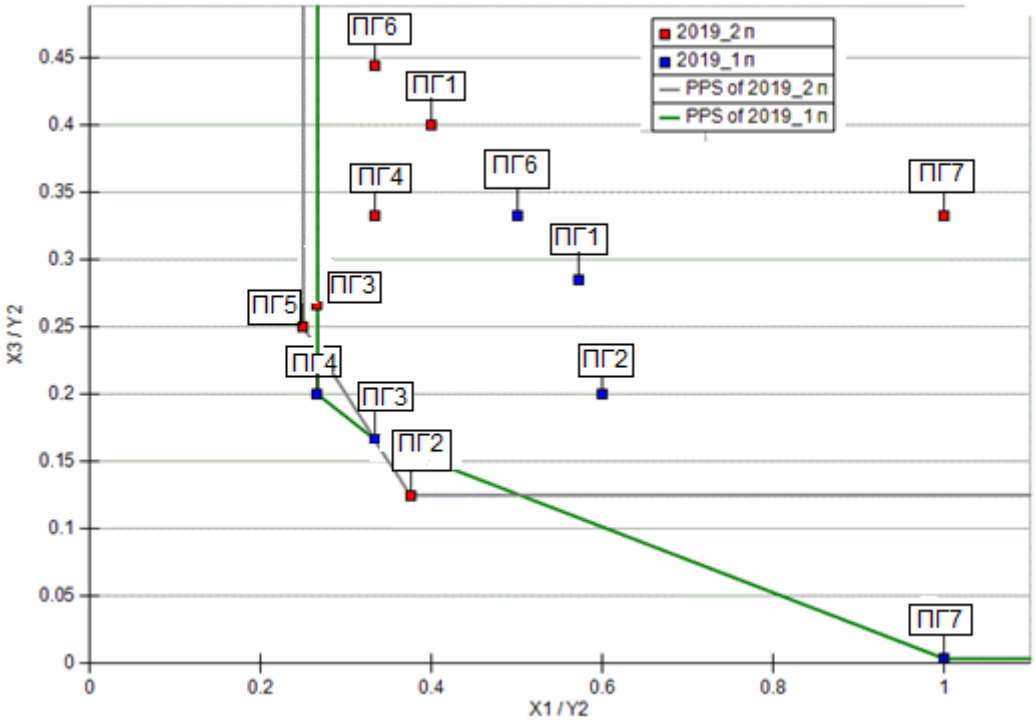


Рисунок 5.4 – Диаграмма границ эффективности (два полугодия), показывающая связь числа одновременно выполняемых задач (Y2) с количеством компьютеров типа X1 и типа X3

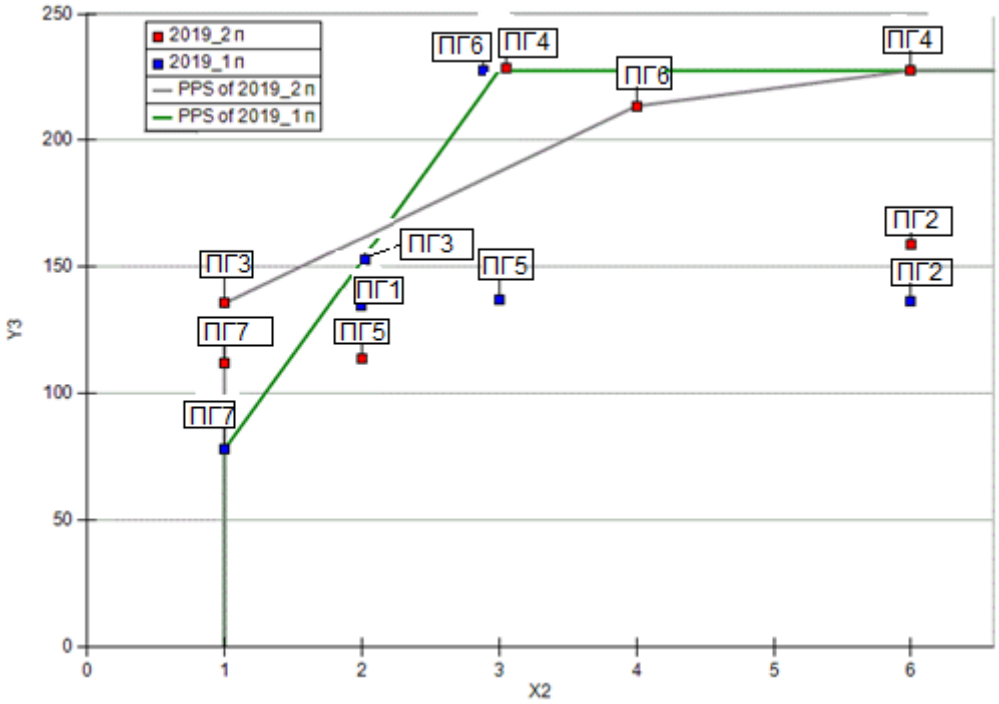


Рисунок 5.5 – Диаграмма границ эффективности (два полугодия), удельная производительность в проектной группе на человека (Y3) и количество компьютеров типа X2

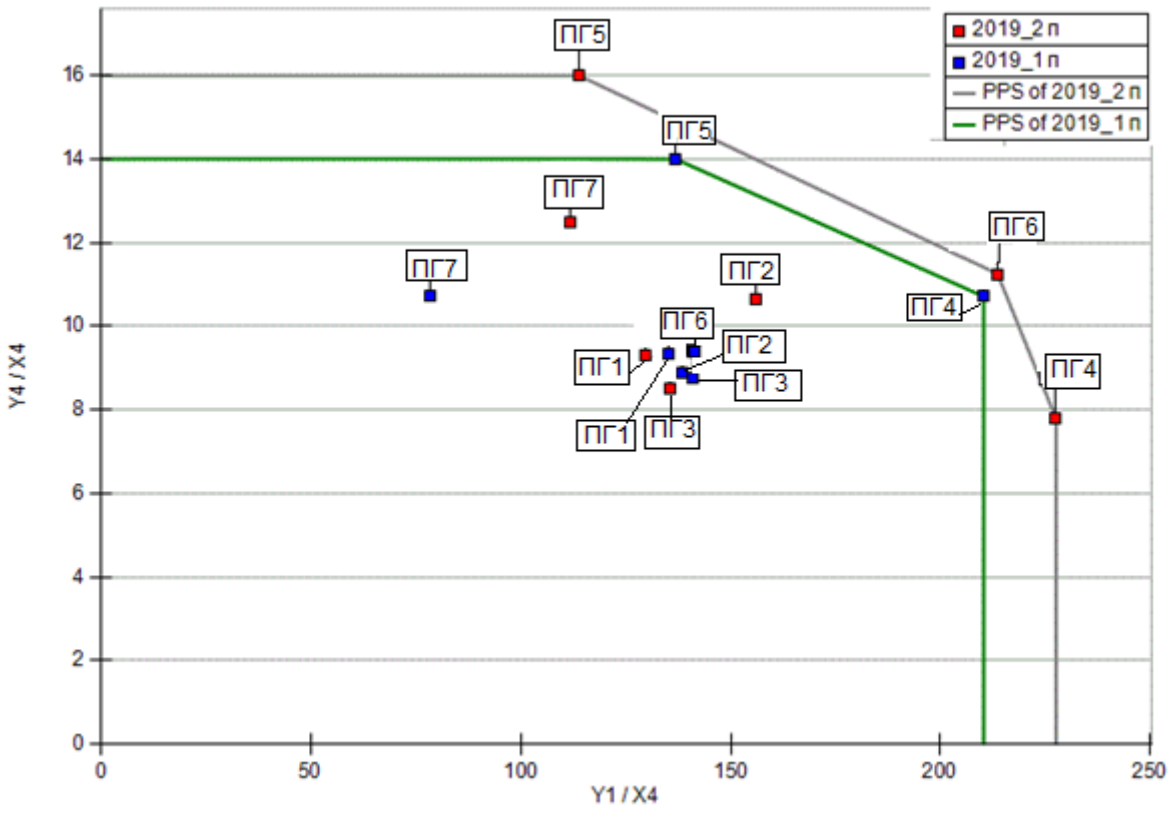


Рисунок 5.6 – Диаграмма границ эффективности (два полугодия), показывающая влияние количества сотрудников (X4) в ПГ, суммарной производительности СВТ (Y1) в проектной группе и уровня компетентности (Y4)

В приложении А приведены полные результаты оценки использования СВТ в проектных подразделениях. Показаны целевые изменения параметров, необходимые для достижения ПГ границы эффективности.

В связи с тем, что лицензионная программа PIMDEA Soft предоставляет решения в виде изображений границ эффективности, была разработана программа VKR для визуализации и анализа эффективности СВТ [73]. Программа обеспечивает импорт и экспорт данных для метода DEA и позволяет формировать план изменения параметров СВТ, а также перераспределения моделей компьютеров между подразделениями.

На рисунках 5.7 – 5.9 приведены экранные формы программы визуализации для аналитика системы принятия решений по распределению СВТ.

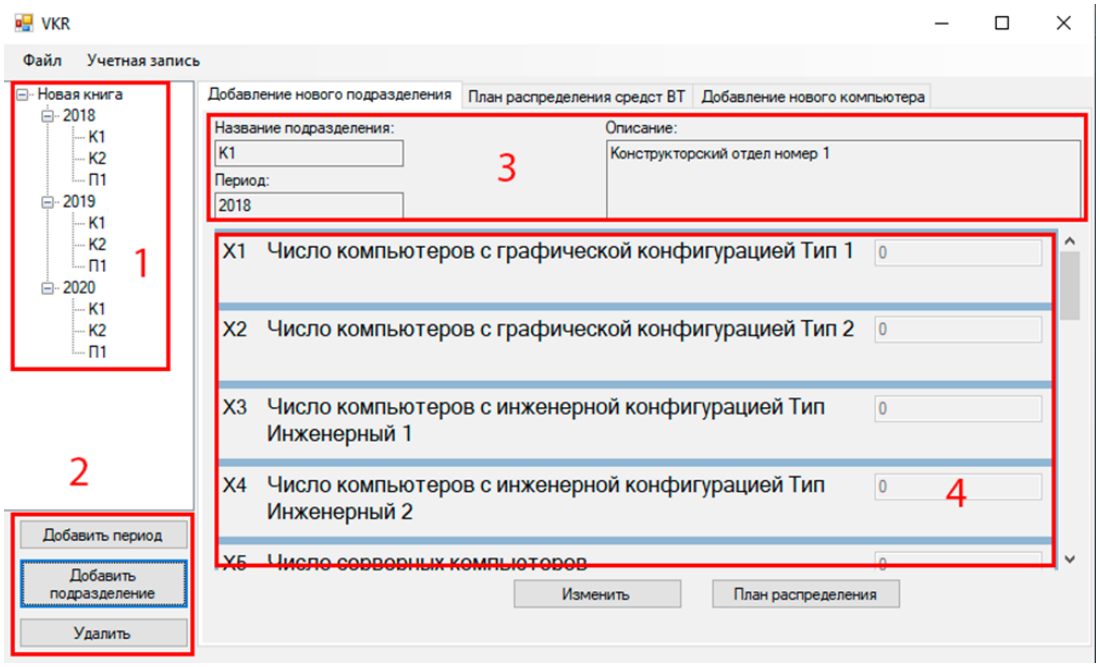


Рисунок 5.7 - Отображение файла с входными данными: 1 – дерево отображения периодов и подразделений, 2 – клавиши управления деревом; 3 – информация о подразделении, 4 – параметры подразделения

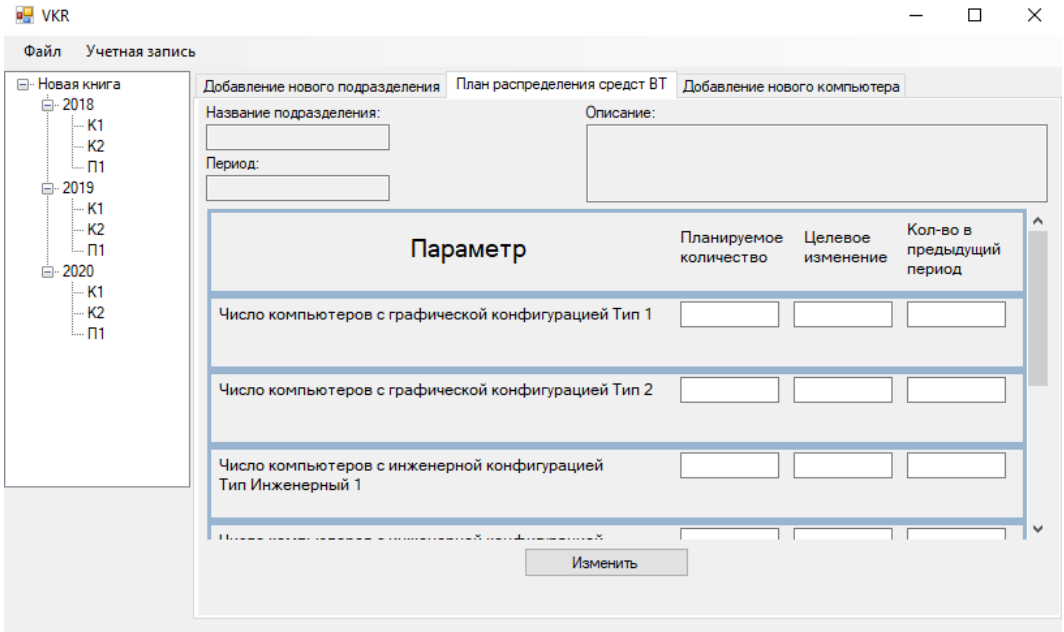


Рисунок 5.8 - Вкладка “План распределения средств ВТ”

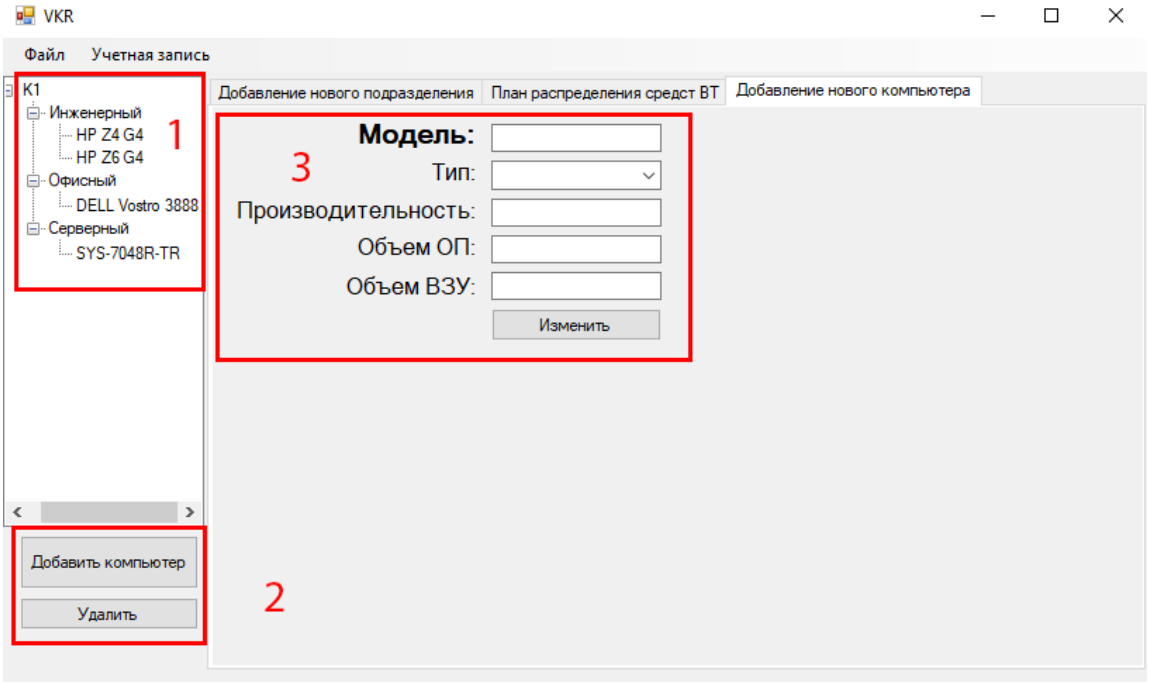


Рисунок 5.9 - Вкладка “Добавление нового компьютера”:
1 – дерево отображения компьютеров подразделения, 2 – кнопки управления составом компьютеров; 3 – параметры компьютера

Выводы

1. Решение оптимизационной задачи позволило получить первоначальный план распределения СВТ по проектным подразделениям, который является основой для дальнейшего исследования эффективности использования КСВТ с помощью имитационного моделирования. Экономия капитальных и эксплуатационных затрат на этом этапе составляет от 10 до 35% по сравнению с «ручным» распределением СВТ сотрудниками планово-экономических служб.

2. Верификация распределения СВТ на имитационной модели позволила выявить конфликтные ситуации по использованию компьютерных ресурсов. Определены условия эксплуатации компьютеров, при которых время сдвига плановых сроков завершения проектных задач не превышает 3%.

3. Построение иерархической системы имитационных моделей дает возможность исследования различных сценариев прогнозного и

профилактического технического обслуживания компьютерного оборудования на основе известных вероятностных законов появления отказов, деградации и износа компонентов оборудования.

4. Оценка эффективности распределения и эксплуатации СВТ в разнородных подразделениях предприятия проводится на системной модели на основе метода DEA. Построение системной модели с использование данного метода обеспечило получение объективных показателей ключевых индикаторов: технической оснащенности проектных групп, своевременного технического обслуживания и ремонта, производительности труда при выполнении проектных задач, компетенции сотрудников проектных групп.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все задачи исследований, поставленные в диссертации, выполнены.

Основные выводы и результаты, полученные в работе:

1. Проведен системный анализ существующих методов поддержки принятия решений при управлении использованием средств вычислительной техники в подразделениях научно-производственного предприятия. Выявлены проблемы и недостатки существующих технологий принятия решений по распределению и эксплуатации комплекса средств вычислительной техники предприятия.

2. Предложена методика поддержки принятия решений, основанная на итерационной процедуре последовательного анализа разработанных гетерогенных системных моделей в составе системы поддержки принятия решений. Совокупность гетерогенных системных моделей описывает как распределение средств вычислительной техники на предприятии, так и процессы эксплуатации компьютерного оборудования в соответствии с целями и графиками производственных задач.

3. Поставлена и решена задача целочисленного линейного программирования с булевыми переменными назначения СВТ для выполнения производственных задач в подразделениях предприятия, содержащая новый набор ограничений, сужающий область возможных решений для получения первичного варианта распределения СВТ.

4. Разработана системная имитационная модель на стохастических временных раскрашенных сетях Петри для верификации решения задачи оптимального назначения средств вычислительной техники. Это позволяет учитывать известную информацию о вероятностных законах появления отказов компьютерного оборудования, организовать прогнозное техническое обслуживание на основе данных об условиях эксплуатации СВТ. Применение имитационной модели обеспечило снижение задержек завершения производственных задач до величины не более 3% от плановых сроков.

5. Разработан алгоритм сравнительной оценки эффективности использования средств вычислительной техники в подразделениях предприятия, основанный на методе Data Envelopment Analysis. Результаты получены в виде вариантов распределения СВТ в многомерном пространстве параметров относительно границы эффективности. Такой подход обеспечивает аналитиков предприятия необходимой информацией о целесообразности принятия того или иного решения по назначению компьютеров, что позволяет уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты в диапазоне от 10 до 25 %.

6. Разработанные модели и алгоритм использованы при оснащении компьютерной техникой группы проектных подразделений предприятия АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара. В результате получено уменьшение затрат на средства ВТ на 22% и сокращение сроков их технического обслуживания.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

АСФ – анализ среды функционирования;

БД – база данных;

ЕИП – единое информационное пространство предприятия;

ИМ - имитационная модель;

ИТ – информационные технологии;

КСВТ – комплекс средств вычислительной техники;

ОМ - оптимизационная модель;

ПГ - проектная группа;

СВТ – средства вычислительной техники;

СППР – система поддержки принятия решений;

ТО и Р – техническое обслуживание и ремонт;

УИТ – Управление информационных технологий;

BCC – модель Банкера- Чарнеса – Купера;

CALS - Continuous Acquisition and Lifecycle Support;

DEA – Data Envelopment Analysis;

ERP - Enterprise Resource Planning - планирование ресурсов предприятия;

CCR – модель Чарнеса – Купера – Роуда;

CPN - Colored Petri Net – раскрашенные сети Петри;

HPN – Hierarchical Petri Net – иерархические сети Петри;

PDM – Product Data Management - система управления инженерными данными;

PLM - Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия;

PN - Petri Net – сети Петри;

TCPN - Timed Colored Petri Net –временные раскрашенные сети Петри;

SCPN – Stochastic Colored Petri Net – стохастические раскрашенные сети Петри.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Акинфиев, В.К. Оптимизационно-имитационные методы выбора инвестиционных решений в крупномасштабных системах / В.К. Акинфиев, А.Д. Цвиркун //Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017): материалы X международной конференции. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова; Российская академия наук; Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Издательство: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва), 2017. – С. 12–17.

2 Андрейчиков, А.В .Интеллектуальные информационные системы / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: «Финансы и статистика», 2004. – 424 с.

3 Антамошкин, А.Н. Поисковые алгоритмы условной псевдобулевой оптимизации / А.Н. Антамошкин, И.С. Масич //Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 1. – С. 103–145.

4 Ауад, М. Оптимизационные задачи выбора и распределения ресурсов в информационных системах / М. Ауад, В.В. Борщ, А.В. Лазаренко, Ю.В. Минин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. – № 1. – С. 43 – 46.

5 Батищев, В.И. Методология поддержки принятия решений при управлении интегративными крупномасштабными производственными системами/ В.И. Батищев, Н.Г. Яговкин. – Самара: РАН СНЦ, 2008. – 288 с.

6 Бокучава, И.Т. Оптимизация функционирования и структурного построения сложных систем / И.Т. Бокучава, А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев [и др.]. – Тбилиси: «Мецниереба», 1989. – 72 с.

7 Бурков, В.Н. Модели и методы управления организационными системами / В.Н. Бурков, В.А. Ириков. – М.: Наука,1994. – 270 с.

8 Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами/ В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.

9 Бурковский, В.Л. Основы моделирования в среде GPSS: Учеб. пособие / В.Л. Бурковский, О.Я. Кравец, С.Л. Подвальный. – Воронеж: ВГТУ, 1994. – 80с.

10 Васильев, В.И. Интеллектуальные системы управления. Теории и практика: учебное пособие / В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов. – М.: Радиотехника, 2009. – 392с.

11 Васильев, Р.Б. Управление развитием информационных систем / Р.Б. Васильев, Г.Н. Калянов, Г.А. Лёвочкина. – М.: ИНТУИТ, 2016. – 507 с.

12 Васильев, С.Н. Управление развитием крупномасштабных систем / С.Н. Васильев, А.А. Макаров, В.Л. Макаров [и др.]. // Современные проблемы. Выпуск 2. Под ред. А.Д. Цвиркуна. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2015. – 477 с.

13 Волчихин, В. И. Организация функционирования облачно-сетевых распределенных вычислительных систем с архитектурой «агенты как сервисы»/ В. И. Волчихин, С. А. Зинкин, Н. С. Карамышева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 4 (52). – С. 27–50.

14 Воронин, А.А. Математические модели организаций: Учебное пособие / А.А. Воронин, М.В. Губко, С.П. Мишин, Д.А. Новиков.– М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.

15 Воропаев, Г.В. Методы системного анализа в проблемах рационального использования водных ресурсов. Т. 2 / Г.В. Воропаев, В.Г. Киселев, В.Т. Пряжинская [и др.]. Под ред. Н.Н. Моисеева. – М.: Б.и., 1976. – 502 с.

16 Гончар, Д.Р. Параллельный алгоритм планирования групп вычислительных работ на основе метода ветвей и границ/Д.Р. Гончар //Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2020): материалы XIII международной конференции. Институт проблем управления им. В.А.

Трапезникова; Российская академия наук; Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Издательство: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва). – 2020. – С. 12–17.

17 ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. - М.: Стандартинформ, 2003. -23 с.

18 ГОСТ 28470-90 Система технического обслуживания и ремонта технических средств вычислительной техники и информатики. Виды и методы технического обслуживания и ремонта. - М.: Стандартинформ, 1990. -6 с.

19 ГОСТ Р 50739-95 Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Общие технические требования. - М.: Стандартинформ, 2006. -8 с.

20 Губко, М.В. Лекция 3. Алгоритмические методы решения задач дискретной оптимизации. – Режим доступа: https://docplayer.com/41920534-Lekciya-z-algoritmicheskie-metody-resheniya-zadach-diskretnoy-optimizacii.html

21 Губко, М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур / М.В. Губко. – М.: ЛЕНАНД, 2006. - 264 с.

22 Губко, М.В. Построение комплексных механизмов управления организационным поведением / М.В. Губко //Проблемы управления. – М.: Издательство: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва). – 2020. – №3. – С. 14–25.

23 Дидрих, В.Е. Задача распределения ресурсов в сетевой информационной системе / В.Е. Дидрих, И.В. Дидрих, Ю.Ю. Громов, М.А. Ивановский //Вестник Тамбов. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т.22. – № 4. – С. 541–549.

24 Долинина О.Н. Управление процессом создания программного обеспечения систем принятия решений по критерию качества/ О.Н. Долинина, А.Ф. Резчиков //Системы управления и информационные технологии. - 2017. - № 3 (69). - С. 78-82.

25 Долинина О.Н. Методы и технологии обеспечения качества интеллектуальных систем принятия решения/ О.Н. Долинина, В.А. Кушникова //Программная инженерия. -2021. - Т. 12. - № 4. - С. 189-199.

26 Зинкин, С.А. Концептуальные представления и модификации сетей Петри для приложений в области синтеза функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем с переменной структурой/ С.А. Зинкин, М.С. Джафар, Н.С. Карамышева// Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – № 6 (81). – С. 143 – 167.

27 Зинкин, С.А. Развитие информационно-коммуникационных инфраструктур распределенных вычислительных систем на основе концепции "сеть - это компьютер" / С.А. Зинкин, М.С. Джафар//Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – № 4 (79). – С. 75 – 93.

28 Ивановский, М.А. Модель выбора и распределения ресурсов сетецентрической системы энергосберегающего управления / М.А. Ивановский, О.Г. Иванова, К.Н. Савин, Ю.В. Минин //Механизация строительства. – 2016. – Т.77. – № 4. – С. 35 – 38.

29 Ириков, В.А. Распределенные системы принятия решений / В.А. Ириков, В.Н. Тренев. – М.: Наука, 1999.

30 Канчукоева, Л.Б. Формирование рыночного механизма измерения продуктивности и эффективности агропромышленного производства : на материалах Кабардино-Балкарской Республики : дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05/Канчукоева Лариса Бавуковна. – Нальчик, 2006. – 138 с.

31 Керцнер, Г. Стратегическое управление в компании. Модель зрелого управления проектами: Пер. с англ. / Г. Керцнер.– М.: ДМК Пресс, 2010. – 320 с.

32 Кизим, А.В. Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А.В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – Т.13. – № 4 (91). – С. 55–59.

33 Кизим, А. В. Модели и методы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом технического обслуживания, ремонта и модернизации промышленного оборудования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01/Кизим Алекаей Владимирович. – Волгоград, 2021. – 289 с.

34 Кизим, А.В. Программно-информационная поддержка процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования / А.В. Кизим, А.Г. Кравец //Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 2 / под общ.ред. А.А. Большакова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С. 130 – 139.

35 Ковалев, С.П. Цифровая платформа для реализации автоматизированных систем управления распределенными энергоресурсами / С.П. Ковалев, А.А. Небера, М.В. Губко // Проблемы управления. – М.: Издательство: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва). – 2020. – №6. – С. 57–70.

36 Корбут А.А. Дискретные задачи математического программирования /А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн // Теория вероятностей, математическая статистика. Техническая кибернетика. 1966. – М.: ВИНИТИ. – 1967. – С. 59-108.

37 Кореньков, В. В. Архитектура и пути реализации системы локального мониторинга ресурсного центра [Электронный ресурс] / В. В. Кореньков, П. В. Дмитриенко // Системный анализ в науке и образовании. – Дубна.– 2011. – №3. – С. 36 – 47. Режим доступа: http://www.sanse.ru/download/96 (дата обращения: 23.04.2021).

38 Кульба, В.В. Модели и методы информационной поддержки принятия управленческих решений на различных этапах жизненного цикла малого предприятия / В.В. Кульба, П.В. Красицкий, Л.М. Красицкая. – М.: ИПУ РАН, 2007. – 63 с.

39 Липаев, В.В. Распределение ресурсов в вычислительных системах / В.В. Липаев.– М.: Статистика, 1979.– 247 с.

40 Лисситса, А. Теоретические основы анализа продуктивности и эффективности сельскохозяйственных предприятий / А. Лисситса, Т. Бабичева //Discussion paper. Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe. – Halle (Saale), Deutschland. – 2003. – No.49. – 39 p.

41 Мазур, И.И. Управление проектами: Учебное пособие / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге. Под общ. ред. И.И. Мазура. – 2-е изд. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.

42 Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем: Пер. с англ. / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. Под ред. И.Ф. Шахнова. Предисл. чл.-корр. АН СССР Г.С. Поспелова.– М.: Мир, 1973.– 344 с.

43 Моисеев, Н.Н. Введение в теорию иерархических систем управления / Н.Н. Моисеев, Ю.Б. Гермейер.//Math. Operationsforsch. und Statist. - 1973. - V. 4. - № 2. - P. 133–154.

44 Морозов, А.О. Проблема автоматизации мониторинга и диагностики состояния аппаратного и программного обеспечения компьютерного оборудования [Электронный ресурс] / А.О. Морозов, А.В. Кизим // Современные научные исследования и инновации.– 2016. – №4. – Режим доступа: https://web.snauka.ru/issues/2016/04/66747 (дата обращения: 23.04.2021).

45 Набатов, К.А. Распределение ресурсов сетевых электротехнических систем: монография / К.А. Набатов, Ю.Ю. Громов, В.Ф. Калинин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2008. –239 с.

46 Набатов, К.А. К вопросу о моделировании процесса распределения ресурсов в информационных системах для объектов стратегического значения. Часть 1. Постановка задачи / К.А. Набатов, Ю.В. Минин, О.Г. Иванова, А.В. Баранов //Вестник Воронеж. ин-та ФСИН России. – 2012. – № 2. – С. 65 – 69.

47 Нечаев, Д.А. Комплексная оценка и классификация объектов водоснабжения регионов / Д.А. Нечаев, С.П. Орлов //Вестник Самарского гос. тех. ун-та. Серия: Технические науки. – 2013. – Вып. 1(37). – С. 14–21.

48 Нечаев, Д.А. Система поддержки принятия решений в региональном водохозяйственном комплексе: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01/Нечаев Дмитрий Александрович. – Самара, 2014. – 180 с.

49 Новиков, Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд / Д.А. Новиков. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. – 184 с.

50 Новиков, Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А. Новиков. – М.: Фонд "Проблемы управления", 1999. – 161 с.

51 Новиков, Д.А. Сетевые структуры и организационные системы / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 102 с.

52 Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.

53 Новиков, Д.А. Методы оптимизации структуры иерархических систем / Д.А. Новиков, М.В. Губко // Управление развитием крупномасштабных систем. – М.: Издательство: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва). – 2015. – С. 359 – 377.

54 Орлов, С.П. Алгоритм анализа решеточной модели структуры информационно-измерительной системы / С.П. Орлов //Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико-математические науки. – 2011. – Вып. 4(25). – С. 195–199.

55 Орлов, С.П. Оптимизационно-имитационное моделирование при структурном синтезе управляющих вычислительных систем / С.П. Орлов //Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 1994. – Вып. 1. – С.56–65.

56 Орлов, С.П. Синтез структур и оптимизация параметров систем обработки информации / С.П. Орлов. – Саратов: Изд-во Саратовского гос. ун-та, 1989. – 150 с.

57 Орлов, С.П. Сетевая модель Петри расписания задач при управлении программными проектами / С.П. Орлов, М.М. Ефремов, Е.Б. Бабамуратова

//Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2011. – Вып. 2(30). – С.30–36.

58 Орлов, С.П. Применение моделей на сетях Петри при организации технического обслуживания автономных агротехнических транспортных средств/ С.В. Сусарев, С.П. Орлов, Е.Е. Бизюкова, Р.А. Учайкин// Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)». – 2021. – Вып. № 58(84). – С. 98-104. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-58-84-98-104

59 Остроух, А.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: Монография / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 370 с.

60 Офицеров, В.П. Оптимизация при ограничении числа проектных переменных / В.П. Офицеров, С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11. – №2(40). – С. 227–238.

61 Пискунов, А.А. Использование методологии АСФ для оценки эффективности расходования бюджетных средств на государственное управление в субъектах Российской Федерации / А.А. Пискунов, И.И. Иванюк, А.В. Лычев, В.Е. Кривоножко //Вестник АКСОР. – 2009. – №2. – С.28–36.

62 Поспелов, Г.С. Программно-целевое планирование и управление / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М.: «Сов.радио»,1976. – 404с.

63 Поспелов, Г.С. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков, А.Е. Курилов. – М.: Наука, 1985. – 424 с.

64 Прангишвили, И.В. Системный подход и повышение эффективности управления / И.В. Прангишвили.– М.: Издательство «Наука», 2005.– 422 с.

65 Рыбакова, И.А. Сравнительный анализ эффективности использования предприятиями CRM-систем / И.А. Рыбакова, С.П. Орлов //Вестник Самарского гос. тех. ун-та. Серия: Технические науки. – 2018. – Вып. 1(57). – С.31–37.

66 Самойлов, П.А. Методика разработки и внедрения комплексных решений автоматизации проектирования и производства изделий машиностроения: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.12./Самойлов Павел Александрович. – Оренбург, 2021. - 16 с.

67 Семенова, В.А. Алгоритмизация формирования и прагматической трансформации ограничений существования свойств предметной области / В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10. – №3(37). – С.361–379.

68 Смирнов, С.В. Применение информационной системы для мониторинга и поддержки принятия решений / С.В. Смирнов // Труды Международной научно-методической конференции «Проблемы управления качеством образования».– СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2020.– С. 48–52.

69 Струченков, В.И. Дискретная оптимизация. Модели, методы, алгоритмы решения прикладных задач / В.И. Струченков. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2016. – 192 с.

70 Трахтенгерц, Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. В 2-х томах. Том 1. Методы и средства / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 2009. – 172 с.

71 Учайкин, Р.А. Метод анализа обеспеченности подразделений предприятия средствами вычислительной техники / Р.А. Учайкин // Перспективные информационные технологии (ПИТ – 2020): труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2020. – с. 402 – 405.

72 Учайкин, Р.А. Модели организации технического обслуживания и ремонта вычислительной техники на крупном машиностроительном предприятии / Р.А. Учайкин // Наука и Мир. – 2020. –Т.2 – №12 (88). – С. 45–48.

73 Учайкин Р.А. Программа визуализации результатов анализа эффективности компьютерного оборудования. Свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ № 2021 668 653. /Р.А. Учайкин. Зарег. 18.11.2021. – М.: Роспатент, 2021.

74 Учайкин, Р.А. Система принятия решений при управлении компьютерной техникой проектных групп на машиностроительном предприятии / Р.А. Учайкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2021. – № 1 (57). – С. 23-35.

75 Учайкин, Р.А. Системные модели при распределении вычислительной техники в проектных подразделениях машиностроительного предприятия / Р.А. Учайкин // Труды X Всеросс. конф. «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» (КИП-2021); Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург,2021. – С. 79-83.

76 Учайкин, Р.А. Задача распределения средств вычислительной техники на машиностроительном предприятии/ Р.А. Учайкин, С.П. Орлов//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2019. – Вып. 4(69). – С. 84–98.

77 Учайкин, Р.А. Автоматизированное управление использованием средств вычислительной техники на машиностроительном предприятии / Р.А. Учайкин, С.П. Орлов //Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф. Т. 12: в 3 ч. Ч. 2 /под общ.ред. А. А. Большакова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С. 81–87.

78 Учайкин, Р.А. Сравнительная оценка эффективности компьютерной техники в подразделениях промышленного предприятия / Р.А. Учайкин, С.П. Орлов // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2020. – № 1 (65). – С. 74–86.

79 Филатов, А.Н. Разработка методов и моделей параллельного нисходящего проектирования ракетно-космической техники в едином информационном пространстве предприятия: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.07.02 /Филатов Александр Николаевич. – Самара, 2014. – 163 с.

80 Финкельштейн, Ю.Ю. Алгоритм для решения задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными / Ю.Ю. Финкельштейн //Эконом. и матем. методы. – 1965. - № 5. – С.746-759.

81 Хелдман, К. Профессиональное управление проектом [Электронный ресурс] / К. Хелдман. Пер. с англ. А.В. Шаврина. – 5-е изд. (электронное). – М.: Бином. Лаб. знаний, 2012. – 728 с. – Режим доступа: https://rucont.ru/file.ashx?guid=a3372977-c203-4c27-a221-0f737cfbf4f2.

82 Цветков, А.В. Условия оптимальности согласованных механизмов функционирования при неопределенности / А.В. Цветков // Неопределенность, риск, динамика в организационных системах. – М.: ИПУ РАН, 1984. – С. 73–81.

83 Цвиркун, А.Д. Задачи стратегического управления в крупномасштабных проектах (на примере ракетно-космической отрасли) / А.Д. Цвиркун, А.А. Чурсин, Ф.И. Ерешко //Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016):материалы IXмеждународной конференции. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Издательство: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва), 2016. – С. 130–138.

84 Шыхалиев, Р. Г. О применении интеллектуальных технологий в мониторинге компьютерных сетей/ Р. Г. Шыхалиев // Искусственный интеллект. - 2011. - № 1, с. 124-132.

85 3DMark. Режим доступа:URL: https://benchmarks.ul.com/3dmark (дата обращения 23.11.2019).

86 AIDA64. Режим доступа: URL: https://www.aida64.com/products/aida64-engineer (дата обращения 08.12.2019).

87 Antonova, G.M. Modern Ability of Optimization-Simulation Approach IFAC Proceedings / G.M. Antonova, A.D. Tsvirkun. – 2008. – 41(2). – P. 15811-15816.

88 Borisenko, A.B. Parallel MPI-Implementation of the Branch-and-Bound Algorithm for Optimal Selection of Production Equipment / A.B. Borisenko, S.

Gorlatch //Вестник Тамбов. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т.22. – №3. – С. 350 – 357.

89 Bosse, S. Multi-Objective Optimization of IT Service Availability and Costs Reliability/S. Bosse, M. Splieth, K. Turowski // Engineering & System Safety. – 2016. – Vol. 147. – P. 142–155.

90 Bosse, S. Optimizing IT Service Costs with Respect to the Availability Service Level Objective/ S. Bosse, M. Splieth, K. Turowski //10th International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES), Toulouse, France, 2015. – Vol. 1. – P. 20–29.

91 Calvez, S. P-time Petri Nets for manufacturing systems with staying time constraints /S. Calvez, P. Aygalinc, W. Khansa // IFAC Proceedings Volumes. – 1997. – Vol. 30, Issue 6. – P. 1487–1492.

92 Cannon, D. ITIL Service Strategy, 2011 Edition/D. Cannon. – London: The Stationary Office, 2011. – 484 p.

93 Charnes, A. Data Envelopment Analysis. Theory, methodology and applications / A. Charnes, W. Cooper, A. Lewin, L. Seiford. – Boston / Dordrecht / London: Kluwer Academic Publishers, 1994.

94 Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // Europ. J. of Operational Research. – 1978. – №2–P. 429–444.

95 Chryssolouris, G. Manufacturing Systems: Theory and Practice. 2nd ed./G. Chryssolouris. – New York: Springer Verlag, 2010. – 606 p.

96 Cinebench. – Режим доступа: URL: https://www.maxon.net/en-gb/products/cinebench-r20-overview (дата обращения 01.12.2019).

97 Cooper, W.W. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software / W.W. Cooper, L.M. Seiford, K. Tone. – (Springer –Verlag US), 2007. – 492 p.

98 Cooper, W.W. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. 2nd Edn. / W.W. Cooper, L.M. Seiford, K. Tone. – Springer Science + Business Media, 2007. – 492 p.

99 Cooper, W.W. Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. Handbook on Data Envelopment Analysis / W.W. Cooper, L.M. Seiford, J. Zhu. – Boston, MA.: Springer, 2011. – P. 1–39.

100 CPN Tools. Available online. – Режим доступа: http://cpntools.org/2018/01/15/windows/ (дата обращения 18.04.2021).

101 CPNTools. Modeling with Colored Petri Nets. – Режим доступа:http://cpntools.org/2018/01/16/getting-started, дата обращения (20.12.2020).

102 Da Silva Ribeiro, A. Flexible Manufacturing Systems modelling using High Level Petri Nets/ A. Da Silva Ribeiro, E.M.M. Costa, E.J. Lima II. – ABCM Symp. Ser. Mechatron. – 2008. – 3. –P. 405–413.

103 Democ, V. Proposal for optimization of information system / V. Democ, Z. Vyhnalikova, P. Alac //Procedia Economics and Finance. – 2015. – №34. – P. 477 – 484.

104 Duggan, J.A. Comparison of Petri Net and System Dynamics Approaches for Modelling Dynamic Feedback Systems/ J.A. Duggan // In Proceedings of the 24th International Conference of the System Dynamics Society. – Nijmegen, the Netherlands, 23–27 July. – 2006. –P. 1–22.

105 Girault, C. Petri Nets for Systems Engineering: A Guide to Modeling, Verification, and Applications / C. Girault, R. Valk. – New York: Springer, 2003.

106 Gromov, Y. Determination of information system structure parameters in conditions of uncertainty / Y. Gromov, Y. Minin, S. Kopylov [et al.] // Proc.1st Int. Conf. on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency. – SUMMA (IEEE),2019.

107 Gromov, Y. Synthesis of the information system structure in conditions of uncertainty / Y. Gromov, Y. Minin, S. Kopylov, A.A. Habib Alrammahi, F.A. Sari // Proc. 1st Int. Conf. on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency. – SUMMA (IEEE), 2019.

108 Guo, Z. A Timed Colored Petri Net Simulation-Based Self-Adaptive Collaboration Method for Production-Logistics Systems / Z. Guo, Y. Zhang, X. Zhao, X. Song //Applied Sciences. – 2017. – 7.– 235.

109 Hamroun, A. Modelling and Performance Analysis of Electric Car-Sharing Systems Using Petri Nets /A. Hamroun, K. Labadi, M. Lazri // In: Proc. of E3S Web of Conferences.– 2020. – Vol. 170. – 03001.

110 Jamous, N. Towards an IT Service Life Cycle Management (ITSLM) Concept/N. Jamous, S. Bosse, C. Görling [et al.] //4th International Conference on Enterprise Systems (ES). – Melbourne, VIC. – 2016. – P. 29–38.

111 Jensen, K. Colored Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems / K. Jensen, L.M. Kristensen. – Berlin: Springer Berlin, 2014.

112 Jensen, K. Colored Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems / K. Jensen, L.M. Kristensen.– Berlin / Heidelberg, Germany: Springer, 2009. – 382 p.

113 Kahraman, C. Manufacturing System Modeling Using Petri Nets. In Computational Intelligence / C. Kahraman, F. Tüysüz. – Berlin/Heidelberg, Germany: Springer Science and Business Media LLC, 2010. – Volume 252. –P. 95–124.

114 Karatanov, O. Integrated computer technologies in mechanical engineering (AISC)/ O. Karatanov, V. Chetverykova. – Springer Nature Switzerland AG, 2020. – 1113. –P. 114-125.

115 Kerzner, H. Project management: a system approach to planning, scheduling, and controlling / H. Kerzner. – 10th ed. – Hoboken, NJ.: J. Wiley, cop., 2009. – 1094 p.

116 Khansa, W. P-time Petri Nets for manufacturing systems / W. Khansa, J. Denat, S. Collart-Dutilleul // Proc. of the IEEE Workshop On Discrete Event Systems (WODES ’96).– 1996. – P. 94–102.

117 Klir, G.J. Uncertainty and Information. Foundations of Generalized Information Theory / G.J. Klir. – Hoboken, NJ.: John Wiley, 2005. – 499 p.

118 Lee, J.-K. Scheduling analysis of FMS: An unfolding timed Petri nets approach / J.-K. Lee, O. Korbaa // Math. Comput. Simul. – 2006. – 70. – P. 419–432.

119 Leyton-Brown, K. Fundamentals of games theory: short interdisciplinary introduction / K. Leyton-Brown, Y. Shoham. – San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2008.

120 Lu, Z. System Maintainability Modeling Method Based on Colored Stochastic Time Petri Net /Z. Lu // Chin. J. Mech. Eng. – 2011. – 47. –P.185–192.

121 Lu, Z. Maintenance Process Simulation Based Maintainability Evaluation by Using Stochastic Colored Petri Net / Z. Lu, J. Liu, L. Dong, X. Liang// Applied Sciences.– 2019. –№9(16). – 3262.

122 Marsan, M.A. Stochastic Petri nets: An elementary introduction. In Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency XV / M.A. Marsan. – Berlin / Heidelberg, Germany: Springer Science and Business Media LLC, 1990. – Vol. 424.– P. 1–29.

123 Molloy, M.K. Performance Analysis Using Stochastic Petri Nets / M.K. Molloy // IEEE Trans. Comput. – 1982. – 31. – P. 913–917.

124 Mosleh, M. Distributed Resource Management in Systems of Systems: An Architecture Perspective System Engineering / M. Mosleh, P. Ludlow. – 2016. – 19(4). – P.362–374.

125 Mosleh, M. Resource allocation through network architecture in systems of systems: A complex networks framework / M. Mosleh, P. Ludlow, B. Heydari //Proc. of the 2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon), Orlando, FL, USA. IEEE Xplore. –2016. –P. 1–5.

126 Orlov, S.P. Modelling of variable structure systems / S.P. Orlov, V.S. Semyonov // Advances in Modelling & Simulation. – 1988. – Vol. 4. –P. 13–22.

127 Orlov, S.P. Application of Hierarchical Colored Petri Nets for Technological Facilities Maintenance Process Evaluation/ S.P. Orlov, S.V. Susarev, R.A. Uchaikin // Applied Sciences.– 2021. – Vol. 11 (11). –P. 5100.

128 Orlov, S.P. Colored Petri Net Models for Computer Equipment Maintenance Management at an Enterprise / S.P. Orlov, R.A. Uchaikin //International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2021. – P. 812–817.

129 Orlov, S P. System models of organization the use of computer equipment for mechanical engineering production/S.P. Orlov, R.A. Uchaikin, A.V. Burkovsky// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol.862 (042004). – P. 1–9.

130 PIM-DEA Website. – Режим доступа: http://www.deasoftware.co.uk/# (дата обращения 21.10.2020).

131 Pla, A. Petri net-based process monitoring. A Workflow management system for process modeling and monitoring / A. Pla, P. Gay, J. Melendez, B. Lopez // Journal of Intelligent Manufacturing.– 2014. – Vol. 25, Issue 3. –P. 539–554.

132 Popova-Zeugmann, L. Time and Petri Nets / L. Popova-Zeugmann. –Berlin / Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. – 209 p.

133 127 Prom–Nadsor.ru. – Режим доступа: http://prom-nadzor.ru/content/polozhenie-ob-otdele-avtomatizirovannoy-sistemy-upravleniya-proizvodstvom (датаобращения 20.04.2021).

134 Riascos, L.A.M. Detection and treatment of faults in manufacturing systems based on Petri Nets / L.A.M. Riascos, L.A. Moscato, P. Miyagi // J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. – 2004. – 26(3). –P. 280–289.

135 Safarinejadian, B. Discrete Event Simulation and Petri net Modeling for Reliability Analysis / B. Safarinejadian // Int. J. Soft Comput. Softw. Eng. – 2012. – 2. – P.25–36.

136 Santos, F.P. Modeling, simulation and optimization of maintenance cost aspects on multi-unit systems by stochastic Petri nets with predicates / F.P. Santos, A.P. Teixeira, C.G. Soares // Simulation 2018.– 95. –P.461–478.

137 Sheng, J.A colored Petri net framework for modelling aircraft fleet maintenance / J. Sheng, D. Prescott // Reliability Engineering & System Safety. – 2019. – 189(2). –P. 67–88.

138 Shoham, Y. Agent Oriented Programming: An Overview of the Framework and Summary of Recent Research / Y. Shoham // Lecture Notes in Artificial Intelligence. – Springer, 1994. – Vol. 808. – P. 123–129.

139 Shoham, Y. Multi-agent systems: algorithmic, game-theoretic and logical bases / Y. Shoham, K. Leyton-Brown. – Publishing house of the Cambridge University, 2009. – 496 p.

140 Silva, J.R. Timed Petri Nets/ J.R. Silva, P.M.G. Del Foyo// Petri Nets – Manufacturing and Computer Science. Chapter 16. Intech Open. – 2012. – P. 359–370.

141 Simon, E. Adapting Petri nets to DES: Stochastic modelling of manufacturing systems / E. Simon, J. Oyekan, W. Hutabarat, A. Tiwari, C.J. Turner // Int. J. Simul. Model. – 2018. – 17(1). –P.5–17.

142 Sowlati, T. Establishing the “practical frontier” in data envelopment analysis / T. Sowlati, J.C. Paradi // Omega32(4). – 2004.– P.261–272.

143 Uchaikin, R.A. Optimization-simulation approach to the computational resource allocation in a mechanical engineering enterprise/R.A. Uchaikin, S.P. Orlov// Journal of Phys.: Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1679 (032015). – P. 1–6.

144 Vasilyev, S. Problems of managing the development of large-scale systems in modern conditions / S. Vasilyev, A. Tsvirkun // Proc. of 2017 10th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD). – 2017. – P. 8109703.

145 Voronin, A.A. A model of optimal control of structural changes in an organizational system / A.A. Voronin, S.P. Mishin // Automation and Remote Control. – 2002. – Vol.63 (8). –P. 1329 – 1342.

146 Xcelerator – Embrace the Digital Future. – Режим доступа: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/ (дата обращения 20.12.2020).

147 Yan, H.-S. Modelling, scheduling and simulation of flexible manufacturing systems using extended stochastic high-level evaluation Petri nets / H.-S. Yan,

N.-S. Wang, J.-G. Zhang, X.-Y. Cui // Robot. Comput. Manuf. – 1998. – 14. – P. 121–140.

148 Yan, R. Improving the Strategy of Maintaining Offshore Wind Turbines through Petri Net Modelling/ R. Yan, S.J. Dunnett // Applied Sciences.– 2021. – 11(2). – 574 – P. 1–20.

149 Yang, S.K. A Petri net approach to early failure detection and isolation for preventive maintenance / S.K. Yang, T.S. Liu // Qual. Reliab. Eng. Int. – 1998. – №14. –P. 319–330.

150 Zhilyaev, A.A. The analysis of efficiency of application of the concept of CALS in life cycle of products of mechanical engineering / A.A. Zhilyaev, O.I. Islamova, M.M. Yakhutlov // Proc. Int. Conf. “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies” (IT&QM&IS). –2019. – P. 326–328.

151 Zymin, A.V. Models and mechanisms for planning service improvements / A.V. Zymin, I.A. Zolin, I.V. Burkova, V.V. Zimin //IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2020. – Vol. 865 (012016). – P. 1–8.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСВТ В ПРОЕКТНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ

Результаты оценки работы проектных групп в 2019 год с помощью программы PIMDEA.

Period:	2019	Selection: <All>		Categoric: <All>		
DMU	ПГ1					
Efficiency	101,73%					
Omega	0					
Peers	G3 (0,13), G5 (0,4), G6 (0,24), G7 (0,12)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	2	2	2	908,8	5	129,8
Target	2	2	2	893,36	6,1	127,6
Slack	0	0	0	0	1,18	0
Weight	0,14	0,19	0,16	0	0	0
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	7	7	15	65	0,7	1,15
Target	5,95	2,35	0,01	73,64	0,85	0,81
Slack	1,05	4,65	14,99	9,75	0,16	0,34
Weight	0	0	0	0	0	0

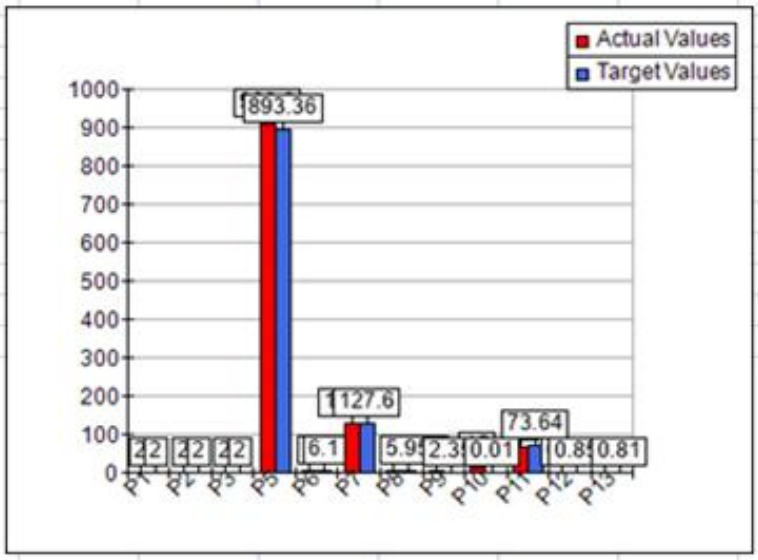


Рисунок ПА.1 – Проектная группа ПГ1 (2019 год)

Period:	2019	Selection:	<All>	Categoric:	<All>	
DMU	ПГ2					
Efficiency	375,38%					
Omega	0					
Peers	G5 (0), G6 (0,25)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	3	6	1	1248	8	156
Target	0,75	1	1	427,56	2,25	53,55
Slack	2,25	5	0	95,09	0,12	11,99
Weight	0	0	0,26	0	0	0
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	8	0,01	0,01	85	1	1
Target	2,01	0,01	0	22,64	0,28	0,25
Slack	5,99	0	0,01	0	0,01	0,75
Weight	0	0,23	0	0,01	0	0

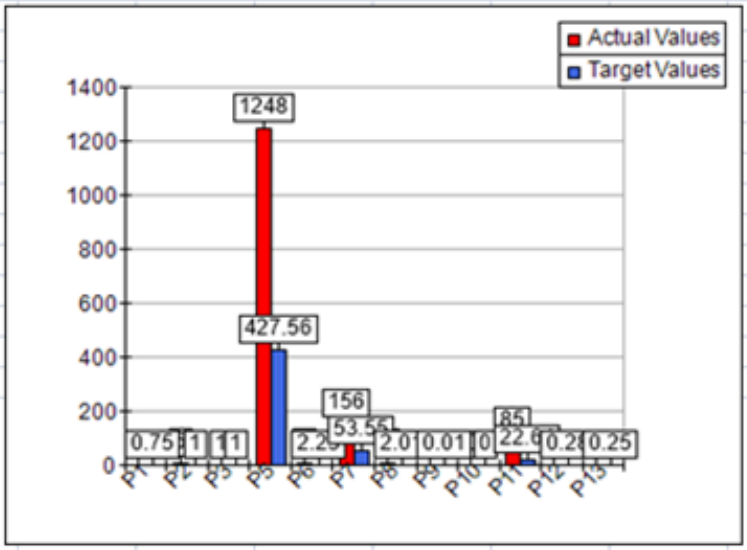


Рисунок ПА.2 – Проектная группа ПГ2 (2019 год)

Period:	2019	Selection:	<All>	Categoric:	<All>	
DMU	ПГ3					
Efficiency	500%					
Omega	0					
Peers	G7 (1)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	4	1	4	1356,8	15	135,68
Target	3	1	1	672	3	112
Slack	1	0	3	400,64	0	84,86
Weight	0	0,13	0	0	0,07	0
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	10	5	0,01	85	1,5	1
Target	6	4	0,01	75	0,5	1
Slack	4	1	0	58	0,2	0
Weight	0	0	0	0	0	0,07

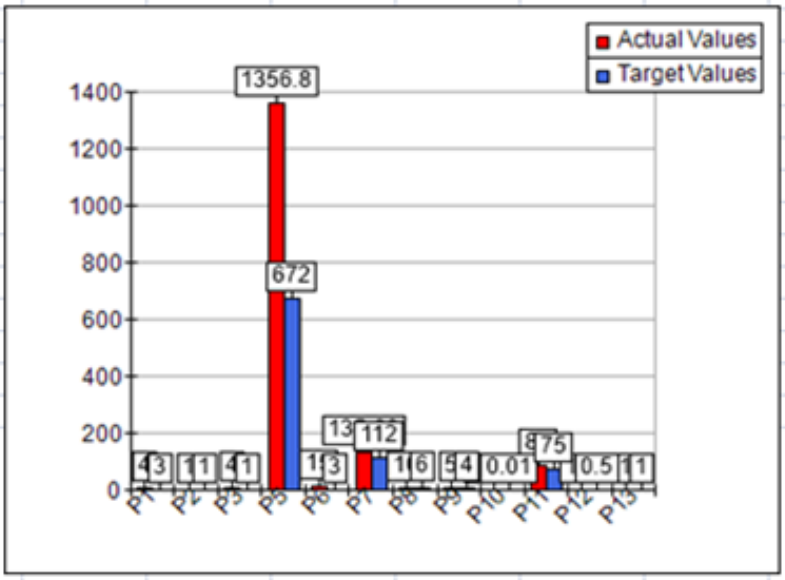


Рисунок ПА.3 – Проектная группа ПГ3 (2019 год)

Period:	2019	Selection:	<All>	Categoric:	<All>	
DMU	ПГ4					
Efficiency	115,28%					
Omega	0					
Peers	G2 (0,13), G3 (0,11), G6 (0,86)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	4	6	4	2048	12	227,55
Target	3,4	4,32	4	1776,51	10,41	218,32
Slack	0,6	1,68	0	0	0	20,93
Weight	0	0	0,05	0	0,04	0
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	9	10	10	70	1,2	1,1
Target	9	0,56	0,01	97,56	1,26	1,1
Slack	0	9,44	9,99	36,84	0,21	0
Weight	0,07	0	0	0	0	0

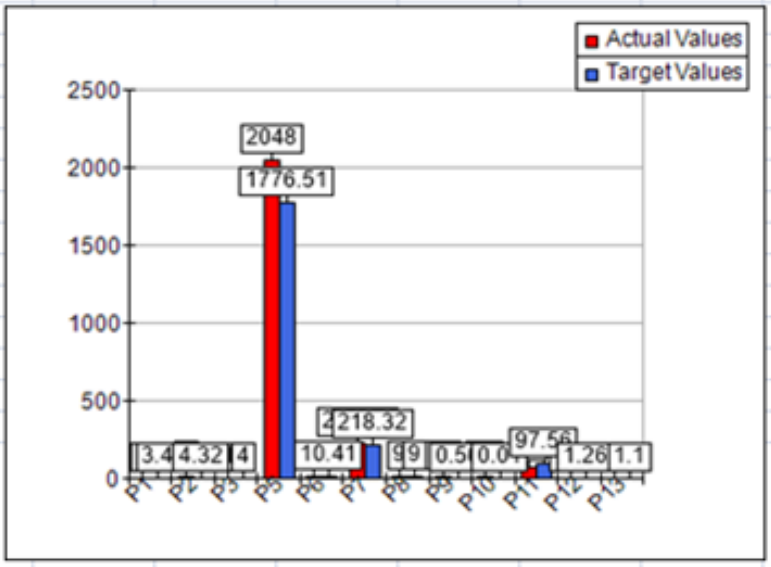


Рисунок ПА.4 – Проектная группа ПГ4 (2019 год)

Period:	2019	Selection:	<All>	Categoric:	<All>	
DMU	ПГ5					
Efficiency	271,67%					
Omega	0					
Peers	G1 (0), G2 (0,11), G6 (0,22)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	1	2	1	569,6	4	113,9
Target	1	1,56	1	518,34	2,89	64,8
Slack	0	0,44	0	308,68	1,42	22,87
Weight	0,35	0	0,02	0	0	0
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	5	3	0,01	80	0,8	0,8
Target	2,67	0,01	0,01	29,45	0,36	0,33
Slack	2,33	2,99	0	0	0,07	0,47
Weight	0	0	0,01	0,01	0	0

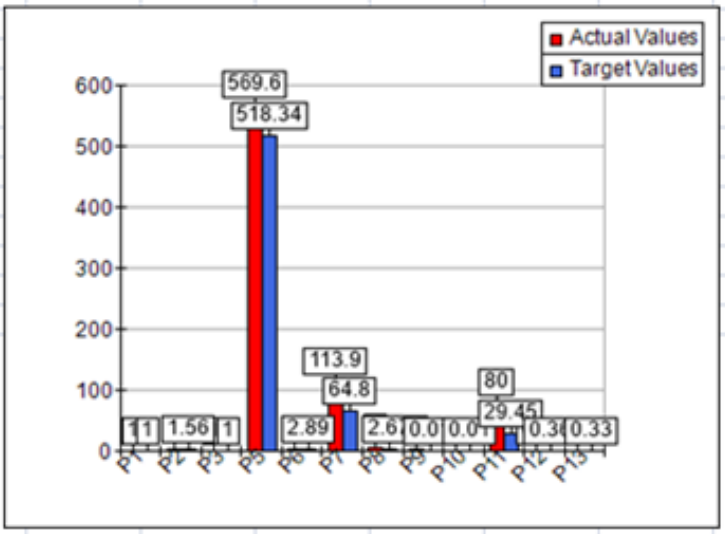


Рисунок ПА.5 – Проектная группа ПГ5 (2019 год)

Period:	2019	Selection:	<All>	Categoric:	<All>	
DMU	ПГ6					
Efficiency	205,24%					
Omega	0					
Peers	G2 (0,67), G3 (0)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	3	4	4	1708,8	9	213,6
Target	2	4	0,67	832,77	5,34	104,07
Slack	1	0	3,33	0,18	0,96	0
Weight	0	0,12	0	0	0	0
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	8	0,01	0,01	90	1,12	1
Target	5,34	0,01	0,01	56,71	0,67	0,67
Slack	2,66	0	0	12,86	0,12	0,33
Weight	0	0,1	0	0	0	0

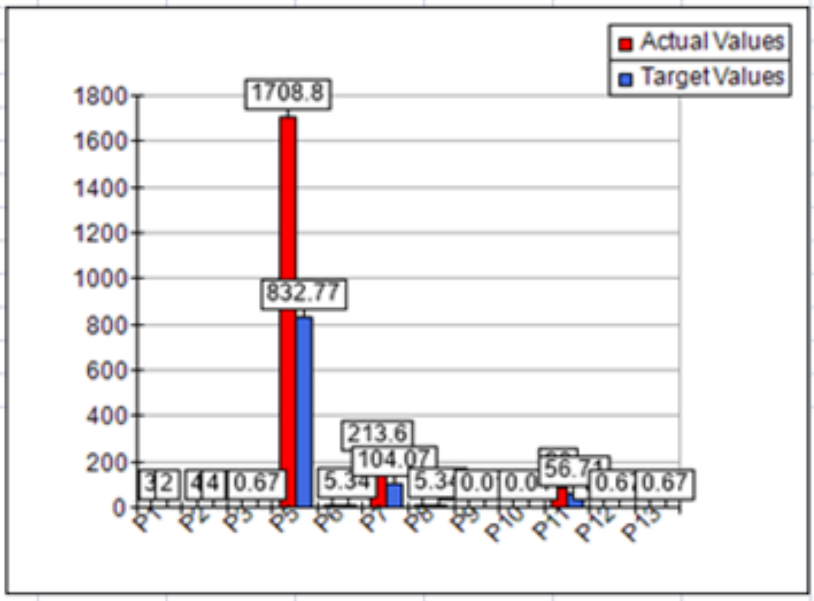


Рисунок ПА.6 – Проектная группа ПГ6 (2019 год)

Period:	2019	Selection:	<All>	Categoric:	<All>	
DMU	ПГ7					
Efficiency	164,23%					
Omega	0					
Peers	G3 (0,14), G5 (0,43)					
Name	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Output
Actual	3	1	1	672	3	112
Target	1	1	1	437,94	3,86	68,2
Slack	2	0	0	28,76	2,03	0
Weight	0	0,41	0,2	0	0	0,01
Name	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Type	Input	Input	Input	Output	Output	Input
Actual	6	4	0,01	75	0,5	1
Target	3,57	2	0,01	46,43	0,56	0,49
Slack	2,43	2	0	0,76	0,25	0,51
Weight	0	0	0	0	0	0

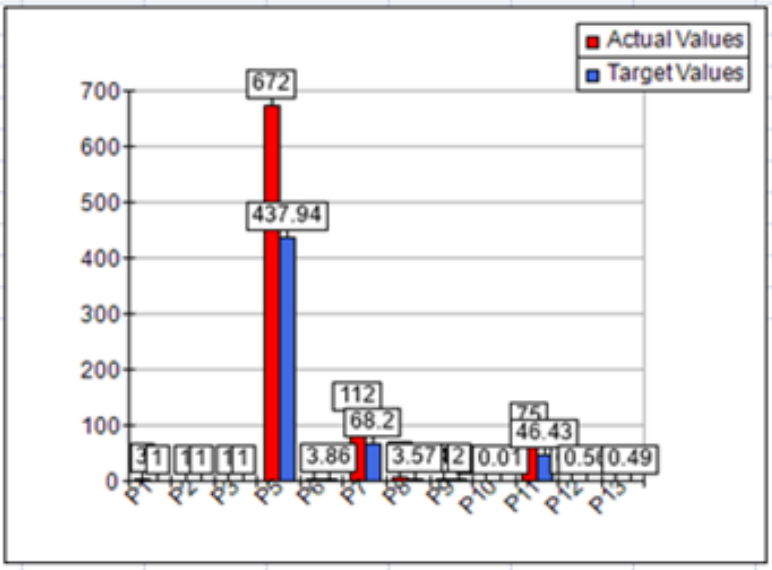


Рисунок ПА.7 – Проектная группа ПГ7 (2019 год)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ДОКУМЕНТЫ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ПРОГРЕСС»
(АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»)

ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009, тел. (846) 955-13-61, факс (846) 992-65-18, E-mail: mail@samspace.ru
ОКПО 43892776, ИНН 6312139922, КПП 997850001.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора по развитию

Д.Е. Субботин

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования Учайкина Романа Александровича «Методика поддержки принятия решений при управлении комплексом средств вычислительной техники научно-производственного предприятия на основе гетерогенных системных моделей»

Настоящим актом подтверждается использование в АО «РКЦ «Прогресс» результатов научно-исследовательской работы Учайкина Романа Александровича, выполненной в рамках диссертационной работы на соискание учёной степени кандидата технических наук, а именно:

1. Модель оценки эффективности распределения и эксплуатации средств вычислительной техники Общества с помощью метода DEA.
2. Математическая модель оптимизации распределения вычислительной техники между подразделениями Общества.
3. Имитационная модель взаимодействия средств вычислительной техники с задачами подразделений Общества на основе раскрашенных сетей Петри.
4. Методика поддержки принятия управленческих решений для управления средствами вычислительной техники Общества.

Результаты диссертационного исследования Учайкина Р.А. в части разработки математических моделей и системы поддержки принятия управленческих решений обеспечивают повышение эффективности эксплуатации и распределения по подразделениям Общества средств вычислительной техники предприятия.

Начальник управления 0088 А.Н. Филатов
к.т.н.

Заместитель генерального М.В. Борисов
конструктора по научной
работе, к.т.н.

29.11.2021

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Старший университет

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

ул. Молодогвардейская, 244,
гл. корпус, г. Самара, 443100
Тел.: (846) 278-43-11, факс (846) 278-44-00
E-mail: rector@samgtu.ru
ОКПО 02068396, ОГРН 1026301167683,
ИНН 6315800040, КПП 631601001

_____ № _____

На №_____от_____

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор - проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет», д.т.н., профессор

_____ М.Д. Цыганок

«21» 12 2021 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы Учайкина Романа Александровича «Методика поддержки принятия решений при управлении комплексом средств вычислительной техники научно-производственного предприятия на основе гетерогенных системных моделей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Комиссия в составе руководителя проекта, директора института автоматики и информационных технологий СамГТУ к.т.н., доцента Губанова Н.Г. и заместителя заведующего кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» СамГТУ к.т.н., доцента Сусарева С.В. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Учайкина Р.А. использованы в 2019 - 2020 гг. при выполнении проекта «Разработка роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей КАМАЗ с автономным и дистанционным режимом управления» по соглашению № 075-02-2018-225 в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы».

Разработанные Учайкиным Р.А. имитационные модели на временных стохастических раскрашенных сетях Петри использованы при исследовании процессов технического обслуживания и ремонта группы роботизированных автомобилей КАМАЗ. Внедрение моделей позволяет провести статистические эксперименты с различными стратегиями технического обслуживания при учете вероятностных характеристик отказов агрегатов автомобилей. В результате обеспечивается повышение надежности и качества эксплуатации роботизированных автомобилей.

Директор ИАИТ, к.т.н., доцент — Н.Г. Губанов

Зам. зав. кафедрой АУТП
к.т.н., доцент — С.В. Сусарев

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический
университет», профессор

_____О.В. Юсупова

«20» декабря 2021 г.

АКТ
об использовании результатов диссертационной работы Учайкина Романа Александровича «МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Комиссия в составе к.э.н., доцента, начальника учебного управления Алонцевой Е.А., к.т.н., доцента, директора института автоматики и информационных технологий Губанова Н.Г., д.т.н., профессора, заведующего кафедрой вычислительной техники Иващенко А.В., составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Учайкина Р.А. внедрены в учебный процесс на кафедре «Вычислительная техника» при подготовке студентов по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.03.04 «Программная инженерия».

Теоретические результаты диссертационной работы Учайкина Р.А. и программные средства для управления комплексом вычислительной техники использованы в дисциплинах «Проектирование вычислительных систем», «Аппаратные средства вычислительной техники» и «Управление программными проектами», а также при выполнении выпускных квалификационных работ. Реализация полученных автором результатов позволила повысить эффективность и качество обучения.

Начальник УУ к.э.н., доцент	Е.А. Алонцева
Директор ИАИТ к.т.н., доцент	Н.Г. Губанов
Зав. кафедрой ВТ д.т.н., профессор	А.В. Иващенко