

Школа– инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 15.03.06 Мехатроника и Робототехника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка и реализация алгоритма планирования производственного процесса

УДК 004.422.8-047.84:658.512.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Никитин Андрей Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич	—		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем
P3	Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P7	Применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.
Универсальные компетенции	
P8	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа– инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 15.03.06 Мехатроника и Робототехника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	<i>Основная часть</i>	<i>65</i>
	<i>Финансовый менеджмент</i>	<i>15</i>
	<i>Социальная ответственность</i>	<i>10</i>

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич	—		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа– инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 15.03.06 Мехатроника и Робототехника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Никитин Андрей Сергеевич

Тема работы:

Разработка и реализация алгоритма планирования производственного процесса

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является многоэтапный процесс производства полупроводниковых пластин, представляющий из себя совокупность параллельных потоков.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>-Аналитический обзор методов планирования производства</p> <p>-Построение имитационной модели производственных потоков;</p> <p>-Определение критериев планирования;</p> <p>-Разработка алгоритма планирования;</p> <p>-Социальная ответственность;</p> <p>-Экономическое обоснование.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Никитин Андрей Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8E51	Никитин Андрей Сергеевич

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Тариф на электроэнергию – 5,257 руб./кВт·ч.; - Оклад студента – 1850 руб. в месяц; - Оклад руководителя проекта – 13824 руб. в месяц; - Человеческие ресурсы – 2 человека (руководитель и студент-дипломник)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Годовая норма амортизации составляет 40 %
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Методы коммерциализации результатов инженерных решений; - SWOT-анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Определение трудоемкости выполнения работ; - Расчет материальных затрат НИ; - Основная и дополнительная зарплата исполнителей темы; - Отчисления во внебюджетные фонды; - Накладные расходы; - Проведение анализа безубыточности проекта
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя финансовой эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>	
2. <i>Матрица SWOT</i>	
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>	
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>	
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Никитин Андрей Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Никитину Андрею Сергеевичу

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка программно алгоритмического комплекса планирования производственных процессов на производстве микроэлектроники предприятия ПАО «Микрон».
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных факторов: – недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – повышенная напряжённость электрического поля; – повышенная или пониженная влажность воздуха; – статические перегрузки; умственные перегрузки, перегрузки анализаторов; Анализ выявленных опасных факторов:

	<ul style="list-style-type: none"> – электрический ток (источником является ПК); – короткое замыкание; – статическое электричество;
3. Экологическая безопасность:	<p>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу не происходит.</p> <p>В работе проведён анализ воздействия на литосферу (образование отходов при выходе из строя ПК, возникновения отходов при печати и утилизации ламп).</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>В рабочем помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП ТПУ	Немцова Ольга Александровна	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Никитин Андрей Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 100 страниц, 13 рисунков, 28 таблиц и приложение на 10 листах, список использованных источников насчитывает 21 наименование.

Ключевые слова: АСУП, APS, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА, МИКРОЭЛЕКТРОНИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА, МАТЛАВ, PYTHON.

Цель работы – разработка и реализация алгоритмов планирования производственного расписания, входящих в состав программно-алгоритмического комплекса планирования производства.

В ходе проведения работы было проведено предпроектное исследование производственного комплекса предприятия ПАО «Микрон». На его основе была разработана математическая модель и общий подход к решению задачи оптимизации. Были сформированы состав и структура системы. Разработана структура базы данных в СУБД MySQL, модель производства реализована в математическом пакете Matlab, алгоритмы планирования закодированы на языке программирования Python, реализован WEB интерфейс управления системой планирования.

Разработанный прототип является основой для будущего внедрения более совершенных и сложных алгоритмов оптимизации и планирования. Необходим для проверки адекватности разработанной модели и функциональных зависимостей.

Дипломная работа написана в текстовом редакторе Microsoft Word 2016. Графический материал выполнен в векторном графическом редакторе Microsoft Visio 2016.

Оглавление

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	14
Введение.....	16
1 Анализ литературных источников.....	18
1.1 Методы оптимизации.....	18
1.2 Постановка формализованной задачи оптимизации.....	19
1.3 Классификация задач оптимизации.....	20
1.3.1 Линейное программирование.....	21
1.3.2 Целочисленное программирование.....	21
1.3.3 Динамическое программирование.....	22
1.4 Имитационное моделирование.....	23
2 Обзор аналогов.....	24
3 Описание объекта исследования.....	26
3.1 Общее описание производственного процесса.....	26
3.2 Общее описание технологического процесса в установках.....	27
3.3 Выявленные проблем планирования.....	29
4 Общее описание разработанной системы.....	31
4.1 Назначение и цель создания системы.....	31
4.2 Требования к разработанной системе.....	31
4.3 Задачи разработки.....	32
4.4 Структура системы.....	34
4.5 Общее описание процесса планирования.....	35
5 Описание модели производства.....	36
5.1 Моделирование в среде Matlab.....	38
6 Описание алгоритмов планирования.....	41
6.1 Критерии оптимизации.....	41
6.2 Стоимостной критерий.....	43
6.3 Глобальная функция планирования.....	44
6.3.1 Распределитель партий.....	46
6.3.2 Оптимизатор очередей.....	46
6.3.3 Перестановка партий и их групп в соответствии с ценностью.....	46

6.3.4	Алгоритм планирования очередей и планирования циклов МВХ....	47
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
7.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50
7.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	50
7.1.2	Анализ конкурентных технических решений	51
7.1.3	Анализ по технологии QuaD	52
7.1.4	SWOT анализ	53
7.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	57
7.3	Планирование научно-исследовательских работ	58
7.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	58
7.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	59
7.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	60
7.3.4	Бюджет научно-технического исследования	63
7.3.4.1	Расчет материальных затрат	63
7.3.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	63
7.3.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	64
7.3.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	66
7.3.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды	66
7.3.4.6	Расчет затрат на научные и производственные командировки ..	67
7.3.4.7	Контрагентные расходы	67
7.3.4.8	Накладные расходы	67
7.3.4.9	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	68
7.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	68
8	Социальная ответственность	72
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	72
8.1.1	Особенности законодательного регулирования проектных решений.. ..	72

8.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	73
8.1.2.1	Эргономические требования к рабочему месту.....	73
8.2	Производственная безопасность.....	74
8.2.1	Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света;	75
8.2.2	Повышенный уровень шума	75
8.2.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	76
8.2.4	Повышенная напряжённость электрического поля.....	76
8.2.5	Повышенная или пониженная влажность воздуха	76
8.2.6	Статические перегрузки	77
8.1.1.1	Умственные перегрузки, перегрузки анализаторов	77
8.2.7	Электробезопасность	78
8.2.8	Статическое электричество	79
8.3	Экологическая безопасность	80
8.3.1	Воздействие на литосферу	80
8.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
8.4.1	Пожарная безопасность	81
	Выводы к главе социальная ответственность	81
	Заключение	83
	Список литературы и использованных источников	84
	Приложение А Структура БД и зависимостей данных	86
	Приложение Б Блок-схема алгоритма работы модели установки	87
	Приложение В Блок-схема алгоритма глобальной функции планирования	88
	Приложение Г Блок-схема алгоритма функции распределения партий	89
	Приложение Д Блок-схема алгоритма функции оптимизации очередей.....	90
	Приложение Е Блок-схема алгоритма функции перестановки партий и их групп	91
	Приложение Ж Блок-схема алгоритма перестановки партий в группе.....	92
	Приложение З Блок-схема алгоритма планирования очередей	93
	Приложение И Блок-схема алгоритма планирования циклов MBX.....	94
	Приложение К Программный код реализации глобальной функции планирования	95

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе были использованы следующие термины и соответствующие определения:

ERP (Enterprise Resource Planning) – комплексная автоматизированная система управления предприятием, решающая задачи контроля и управления материально-трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами предприятия.

MES (Manufacturing Execution System) – производственная исполнительная система, специализированные программные комплексы, которые предназначены для решения задач оперативного планирования и управления производством.

APS (Advanced Planning and Scheduling) – система синхронного планирования производства, ориентированная на интеграцию планирования звеньев цепи поставок, с учетом всех особенностей и ограничения производства.

Симплекс-метод – метод целенаправленного перебора опорных решений задачи математического программирования, позволяющий за конечное число шагов найти оптимальное решение, либо установить, что оно отсутствует [3].

Фоторезист – полимерный светочувствительный материал.

Реставрация – термин в производстве микроэлектроники, означает процесс снятия, непригодного к дальнейшему производственному процессу, слоя кремнёвой пластины.

Максимальное время хранения – термин в производстве микроэлектроники, означает максимальное время, которое может пройти между технологическими операциями, по истечении которого партия признаётся негодной.

Маршрутный лист – строгое описание технологии производства изделия в виде списка последовательных технологических операций с указанием их свойств.

Рецепт – конкретная технологическая операция, производимая в определенной машине или группе машин.

Цикл MBX – термин в производстве микроэлектроники, означает последовательность технологических операций, между которыми существует MBX.

Также использованы следующие сокращения.

ПАО – публичное акционерное общество.

ВПК – военно-промышленный комплекс.

АСУП – автоматизированная система управления предприятием.

MBX – максимальное время хранения партии.

СУБД – система управления базой данных.

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Введение

Современные предприятия становятся всё более технологичными и совершенными в аппаратном и программном оснащении. Тенденция к глобализации и объединению предприятий различных отраслей экономики приводит к большому расширению структур, которыми необходимо управлять.

Производственные мощности и степень автоматизации современных промышленных предприятий неуклонно растут. Процессы производства изделий становятся всё более сложными и чувствительными к ошибкам. Для успешного функционирования предприятия процессы, происходящие в нём, необходимо планировать.

В настоящее время многие отечественные промышленные предприятия приняли на вооружение АСУП финансово-хозяйственного (ERP) и цехового (MES) управления производством. Но внедрение систем производственного планирования (APS) происходит в много меньших масштабах. И задачи планирования до сих пор выполняют люди, что приводит к несовершенству построенных планов. В отличие от человека, программные комплексы способны быстро обрабатывать большие объёмы информации, на основе математических моделей строить далеко идущие прогнозы, и лишены человеческого фактора. Что в купе с разработанными в соответствии со спецификой производства алгоритмами планирования, в итоге приводит к повышению загрузки оборудования, минимизации брака и повышению доходности производства.

При этом системы планирования могут быть востребованы не только в производственном секторе. APS системы применимы в любых организациях, требующих точного, оптимального планирования процессов на длительный период времени

Доминирующее положение на рынке APS систем занимают иностранные поставщики, что делает и без того сложный процесс внедрения систем данного уровня, более трудоёмким и ресурсозатратным. Данные факторы приводят к актуальности разработок в области планирования процессов на предприятиях.

При этом на рынке нет готовых приемлемых решений, интегрируемых в производство микроэлектроники. В рамках некоммерческого проекта поддержки студенческих разработок, совместно с предприятием ПАО «Микрон», был запущен проект автоматизации планирования производства микроэлектроники.

Целью данной работы является создание прототипа программно-алгоритмического комплекса планирования производственных процессов. Для реализации данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Исследовать существующие методы планирования их математический аппарат и алгоритмы реализации;
- Изучить структуру производства – объекта исследования и происходящие в нём процессы;
- Разработать структуру комплекса;
- Разработать алгоритмы планирования;
- Реализовать прототип системы планирования.

1 Анализ литературных источников

В области планирования и построения расписаний существует множество методик и алгоритмов решения поставленной задачи, такие как теория расписаний и теория массового обслуживания, классические и метаэвристические методы оптимизации. На данной стадии разработки было решено прибегнуть к классическим методам оптимизации, которые рассмотрены в данном литературном обзоре.

1.1 Методы оптимизации

Решить оптимизационную задачу – найти лучшее решение из возможных вариантов. Любая оптимизационная задача решается на основе построения математической модели исследуемого объекта и проведении вычислительного эксперимента на ней. Проведение эксперимента с моделью даёт возможность эффективно исследовать свойства объекта в различных условиях [1].

Вычислительный эксперимент строится по следующей схеме «модель-алгоритм-программа» (рисунок 1.1).

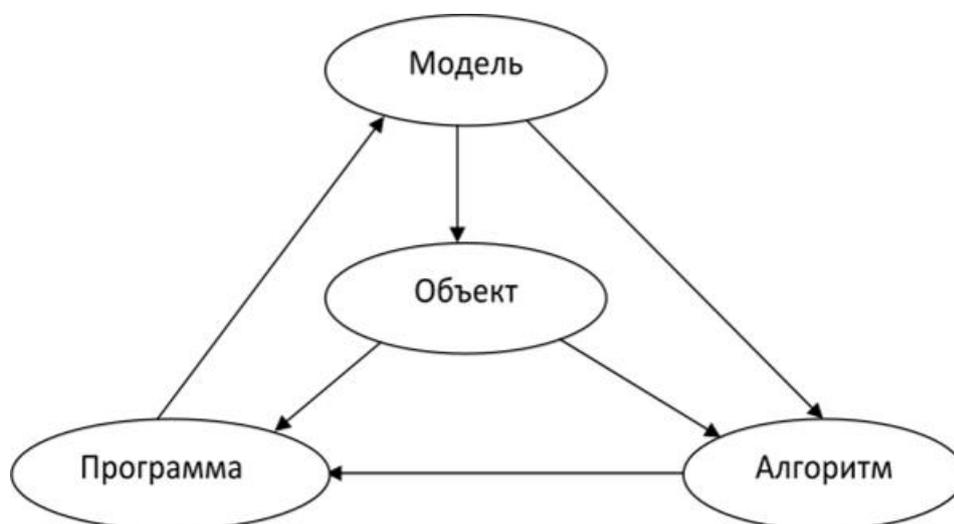


Рисунок 1.1 – Схема вычислительного эксперимента

На первом этапе строится модель – некоторый математический эквивалент объекта, который отражает в математической форме интересующие свойства рассматриваемого объекта. Во втором этапе проводится разработка алгоритмов реализации модели в численной форме, для удобства программирования модели на компьютере и реализации на ней численных методов оптимизации, чтобы

найти искомые величины с заданной точностью. Третий этап – программирование модели для работы на компьютере [1].

1.2 Постановка формализованной задачи оптимизации

Постановка формализованной задачи оптимизации содержит в себе следующие этапы [1]:

1) Установить границы объекта оптимизации – в рамках данного этапа необходимо определить интересующие нас свойства объекта и отделить их от не относящихся к данной задаче, для упрощения модели объекта.

2) Построение математической модели системы. Структура модели включает в себя уравнения, описывающие процессы в объекте исследования, их дополняют неравенства, определяющие область допустимых значений независимых параметров, что показывает границы возможных изменений характеристик объекта.

3) Выбор критерия оптимизации. В зависимости от решаемой задачи имеет различный характер (экономический, надёжностный, точностный и др.). При этом лучшему решению всегда соответствует минимум или максимум критерия, в зависимости от задачи.

4) Формирование целевой функции – в этом этапе на основании выбранного критерия составляют целевую функцию, отражающую зависимость критерия от параметров объекта. Таким образом задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции [1,2].

5) Построение алгоритма оптимизации и решение экстремальной задачи – в данном этапе производится выбор и разработка алгоритмов решения для реализации на вычислительной технике.

Таким образом, сама по себе задача оптимизации выглядит следующим образом: заданы множество X и функция $f(x)$, определённая на X , требуется найти точки максимума или минимума f на X [2]. Задачу можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
f(x) &\rightarrow \min, x \in X; \\
h_k(x) &= 0, k = \overline{1, K}; \\
g_j(x) &\geq 0, j = \overline{1, J}; \\
X &\subset R^n.
\end{aligned}
\tag{1.1}$$

где f – целевая функция;

X – множество допустимых значений параметров;

h_k – ограничения первого рода, заданные в виде равенств;

K – размерность вектора ограничений первого рода;

g_j – ограничения второго рода, заданные в виде неравенств;

J – размерность вектора ограничений второго рода.

1.3 Классификация задач оптимизации

В общем случае задачи оптимизации классифицируются по следующим признакам: размерность допустимого множества параметров, наличие ограничений, характеру ограничений и виду целевой функции [1,2].

По размерности множества X различают одномерные и многомерные задачи. Одномерная безусловная задача оптимизации из вида 1.1 преобразуется в следующий вид:

$$\begin{aligned}
f(x) &\rightarrow \min, x \in X; \\
K = J &= 0; \\
X &\equiv R^1.
\end{aligned}
\tag{1.2}$$

Т.е. задача без ограничений, с одним вектором аргумента x . Многомерная безусловная задача также преобразуется из 1.1 в следующий вид:

$$\begin{aligned}
f(x) &\rightarrow \min, x \in X; \\
K = J &= 0; \\
X &\equiv R^n.
\end{aligned}
\tag{1.3}$$

Т.е. задача без ограничений с n векторов аргумента x .

По наличию ограничений задачи оптимизации разделяют на безусловные, не имеющие ограничений (1.2 и (1.3), и условные, имеющие ограничения в виде равенств и неравенств (1.1).

По характеру ограничений задачи разделяют на детерминированные – информация об объекте и его параметры являются полностью определёнными, и стохастические – некоторые параметры объекта имеют случайный характер.

По виду целевой функции и соотношению ограничений выделяют следующие задачи математического программирования (оптимизации): линейное, нелинейное, динамическое, выпуклое и целочисленное. В данной работе мы прибегли лишь к некоторым из них, рассмотрим их более подробно.

1.3.1 Линейное программирование

В линейном программировании целевая, а также ограничивающие функции линейны. Общая задача оптимизации (1.1) применительно к линейному программированию приобретает вид:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n c_j x_j &\rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i, \quad i = 1, \dots, k; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\geq b_i, \quad i = k + 1, \dots, m; \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, s. \end{aligned} \tag{1.4}$$

где c_j , a_{ij} и b_i – заданные числа.

В линейном программировании существуют классы задач, структура которых позволяет создать специальные методы их решения, выгодно отличающиеся от методов решения задач общего характера. К задачам линейного программирования относят задачу технического контроля, транспортную задачу, задачу об использовании сырья. Для решения задач линейного программирования часто используют симплекс-метод [3].

1.3.2 Целочисленное программирование

Целочисленное программирование является подвидом линейного программирования, в котором помимо функциональных ограничений

добавляется условие целочисленности переменных, общая задача линейного программирования (1.4) приобретает вид:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n c_j x_j &\rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i, \quad i = 1, \dots, k; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\geq b_i, \quad i = k + 1, \dots, m; \\ x_j &\geq 0, \quad x_j - \text{целое}, \quad j = 1, \dots, s. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Требование целочисленности решения зачастую возникает при решении практический задач методами оптимизации (построение расписания или оптимального маршрута). При попытке решить задачу стандартными методами линейного программирования нет гарантий получения целого результата, а простое округление может приводить к существенным ошибкам.

Для решения целочисленных задач был разработан метод отсечения. Он заключается в ведении дополнительных условий вида:

$$\sum_{j=1}^n \gamma_j x_j \leq \gamma_0. \quad (1.6)$$

Данные отсечения сужают допустимое множество X , проводя аппроксимацию с помощью линейных ограничений. С применением данного возникают проблемы формулировки алгоритма отсечения и решения задачи путём отсечения за конечное число шагов. Для решения этих проблем существует алгоритм Гомори [4].

1.3.3 Динамическое программирование

В методике, изложенной в предыдущем разделе накладываются дополнительные ограничения на задачу, не изменяя целевую функцию. В динамическом программировании поставленную задачу разбивают на несколько взаимно связанных подзадач меньшей сложности, рекуррентно решая которые находят оптимальное решение общей задачи. Разбиение производится до тех пор, пока функция не сведётся либо уже к известным значениям (пример: вычисление чисел Фибоначчи, в ряду которых известны первые два члена), либо

к простейшим функциям [5]. Методом динамического программирования решают задачи распределения ресурсов и построения расписаний. Постановка данных задач их математическое описание и решение методом динамического программирования рассмотрены в следующем труде [6].

1.4 Имитационное моделирование

Имитационное моделирование – это частный случай математического моделирования. К данному методу прибегают в случае если невозможно построить аналитическую модель объекта или её построение затруднено. При создании имитационной модели объекта, строят его логико-математическое описание, посредством анализа свойств объекта. Имитационное моделирование не решает задач оптимизации само по себе, но используется для экспериментального исследования поведения объекта в различных условиях [7].

2 Обзор аналогов

APS системы применяются во многих отраслях отечественной экономики. Лидирующими отраслями по внедрению систем данного класса являются Машиностроение и приборостроение (39,2%) и Электротехника (9,15%). Проекты внедрений в микроэлектронике на сегодняшний день не реализовывались [8].

Распределение внедрений по отраслям представлено в круговой диаграмме на рисунке 2.1 [8]. Лидирующими разработками данного класса по количеству внедрений являются Infor SyteLine APS от компании Infor и Simatic IT Preactor от компании Siemens AG. Данные решения являются модулями крупных программных комплексов АСУП (Infor SyteLine и Simatic IT соответственно) и их интеграция в производство невозможно без приобретения и внедрения базовых программных модулей. Данные системы активно работают в отрасли машиностроения и для внедрения на предприятиях микроэлектронной промышленности возникает необходимость дополнительных исследований и разработок для учёта специфики производства микроэлектронных изделий.

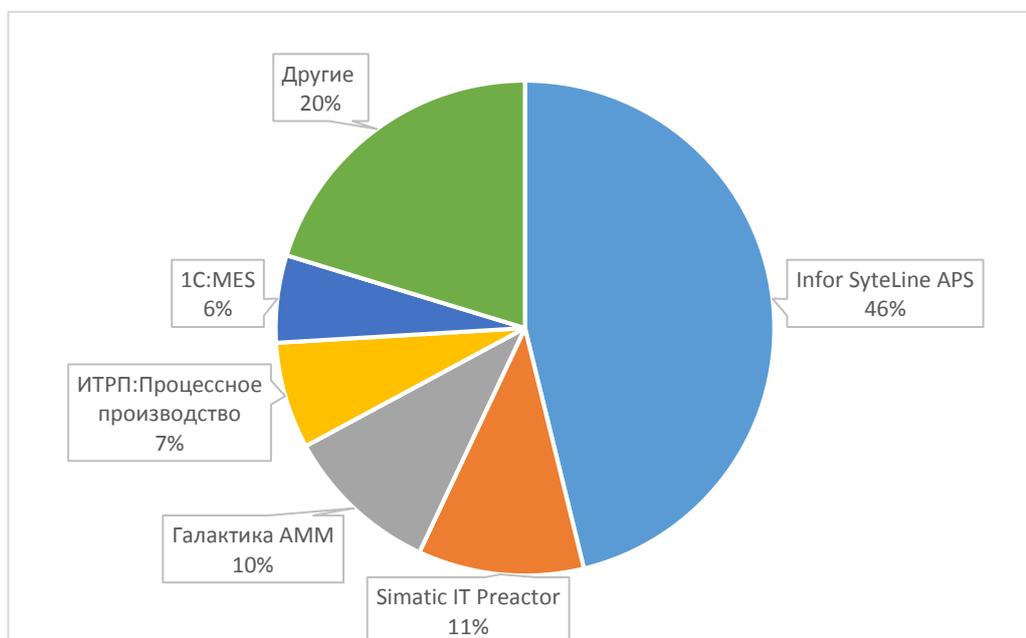


Рисунок 2.1 – Распределение APS систем по количеству внедрений

Отечественные аналоги представлены разработками: Advanced Manufacturing Management от компании Галактика, Процессное производство от компании Институт типовых решений и 1С: MES. Данные АСУП также не

применимы в производстве микроэлектронных изделий, что требует дополнительных затрат на исследования и разработки. При этом помимо функционала планирования данные решения реализуют функции управления бюджетом, материальными производственными запасами, продажами и закупками. Реализация данных функций не модульная и их невозможно исключить при внедрении, но эти функции не востребованы на предприятии партнера разработки данного решения.

Вышеописанные факторы делают непривлекательным внедрение существующих АСУП на предприятии партнёра разработки, что в купе с отсудившем внедрений решений данного класса в отрасли производства микроэлектроники, делают разработку проекта актуальной.

3 Описание объекта исследования

Объектом исследования является цех по производству полупроводниковых пластин предприятия ПАО «Микрон». Данное предприятие занимается производством микроэлектронных изделий с тех. процессом до 90 нм. В сортамент продукции входят RFID продукция, полупроводниковые устройства, микроконтроллеры и микросхемы управления. Мощность производства порядка 30 тыс. кремниевых пластин в год, на каждую пластину приходится порядка 400. Полный цикл производства одной партии пластин занимает от двух до трёх месяцев.

3.1 Общее описание производственного процесса

Микроэлектронные изделия производятся на т.н. кремниевых пластинах. Пластины производятся партиями до 25 штук в каждой. Производственный процесс многоэтапный, существует более 300 различных технологических маршрутов производства, номенклатура выпуска и мощность производства приводят к нахождению в обработке множества параллельных потоков. В производственном цикле участвуют 85 машин. В связи с особенностями производства микроэлектроники (поддержание требуемой атмосферы, работа с опасными веществами и высокие требования к точности операций) технологический процесс в данных машинах автоматический, и оператор принимает участие в процессе только как посредник, выбирая и загружая партию в машину, а также назначая рецепт обработки.

Любое микроэлектронное изделие является многослойной структурой из различных материалов. Нанесение и обработка данных слоёв приводит к появлению в производственном процессе т.н. «циклов» – определённом порядке технологических операций, повторяемых множество раз. Для большинства изделий основной цикл выглядит следующим образом.

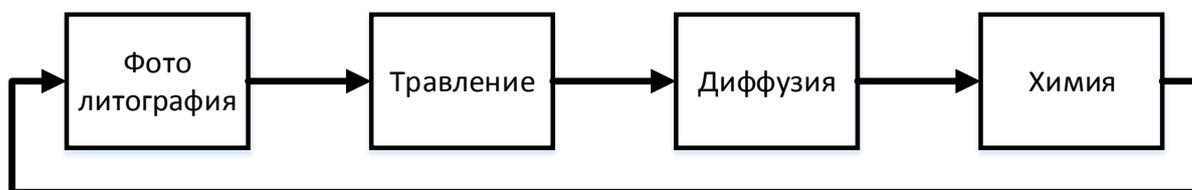


Рисунок 3.1 – Основной цикл обработки микроэлектронных пластин

В процессе фотолитографии на слой наносится рисунок микроэлектронной структуры с помощью фоторезиста. Далее незащищённые фоторезистом участки слоя удаляются плазмохимическим травлением, таким образом на слое пластины появляются микроэлектронные структуры. После удаления фоторезиста, в специальных печах проводят осаждение (диффузию) нового рабочего слоя. Который затем обрабатывается в различных химических установках для приобретения требуемых свойств.

Критической особенностью производства микроэлектроники является наличие как внутри циклов, так и на отдельных операциях такого параметра, как «Максимальное время хранения» (МВХ) – максимальное время, которое может пройти между данными технологическими операциями, при котором партии останутся «годными» (критические параметры качества слоя остаются в допустимых значениях). При превышении данного параметра пластины либо отправляются в т.н. «реставрацию» (снятие слоя и нанесение его заново), либо в брак.

3.2 Общее описание технологического процесса в установках

Как было описано ранее, исследуемое производство отличается высокой степенью автоматизации. Технологические операции во всех установках протекают по общей схеме: «переключение – загрузка – обработка – выгрузка». Временные характеристики данных процессов строго детерминированы, возможные отклонения от номинальных считаются несущественными. Из данных характеристик складывается время технологической операции.

$$T_o = t_{nep} + t_3 + t_{обр} + t_6. \quad (3.1)$$

где T_o – продолжительность технологической операции в установке;

t_{nep} – время переключения рецепта;

t_3 – время загрузки партии в машину;

$t_{обр}$ – время обработки партии в машине;

t_6 – время выгрузки партии из машины.

Время переключения рецепта есть время подготовки машины под необходимый рецепт обработки следующей партии (закачка газов для создания необходимой атмосферы, набор реагентов и т.п.). При этом если у текущей партии и следующей в очереди рецепты одинаковые время переключения между ними $t_{nep} = 0$.

В контексте задач планирования сущность технологического процесса обработки пластин не имеет практического значения, т.к. все временные характеристики процессов строго заданы. Важен лишь характер обработки пластин, который имеет три вида:

– Попластинчатый, в ходе которого пластины обрабатываются поштучно конвейером.

$$t_{обр} = t_{рец} \cdot n. \quad (3.2)$$

где $t_{рец}$ – время обработки, указанное в рецепте;

n – количество пластин в партии.

– Групповой, пластины обрабатываются группой определённого количества.

$$t_{обр} = t_{рец} \cdot \frac{n}{k}. \quad (3.3)$$

где n – количество пластин в партии;

k – количество пластин в группе;

$\frac{n}{k}$ – количество групп пластин в партии (округление до целого в большую

сторону).

– Партия обрабатывается целиком.

$$t_{обр} = t_{пец}. \quad (3.4)$$

В ходе исследования было установлено, $t_3 + t_8 \ll t_{обр} + t_{неп}$. Соответственно время загрузки и выгрузки несущественно влияет на планируемое расписание, и уравнение 3.1 редуцируется до:

$$T_o = t_{неп} + t_{обр}. \quad (3.5)$$

3.3 Выявленные проблем планирования

В ходе исследования производственного процесса и диалога со специалистами партнёра были выявлены следующие проблемы планирования.

Производство микроэлектроники отличается высокой стоимостью брака, при этом каждый внутренний цикл привносит в стоимость пластины порядка 45 долларов, и выходная стоимость одной пластины достигает 2000 долларов (в партии 25 пластин). Соответственно потеря партий на поздних этапах обработки приводит к большим затратам.

Ещё одна проблема заключается в совмещении в производстве массового продукта и НИОКР (единичный заказ) с равномерным движением обоих типов продукции. Помимо этого, партии про ранжированы по приоритету и существуют «горячие» партии, которые должны пройти производственный цикл за максимально короткий срок.

Помимо вышеназванных факторов существуют сугубо производственные проблемы планирования. Участок фотолитографии является «узким местом» производства, с него начинается каждый внутренний производственный цикл и поэтому этот цех самый загруженный, от его работы зависит движение продукции во всём остальном производстве.

Участок «диффузии» имеет следующую особенность, это – большая длительность процесса («отжиг» партии в печи может длиться до 12 часов), и большой выход партий с участка (одна печь обрабатывает до 150 пластин за раз). Технологические этапы, связанные с «диффузией» и идущие после них, всегда входят в цикл MBX. Это означает что при высокой загрузке участка «химии»

партии могут выйти за MBX и быть забракованными или отправленными на реставрацию, что приводит к дополнительным затратам.

Участок «химии» характерен большим количеством операций с малым MBX между ними, неправильное планирование внутри данного участка также приводит к потерям продукции. Схематично проблемы планирования, связанные напрямую с производственным процессом обозначены на рисунке

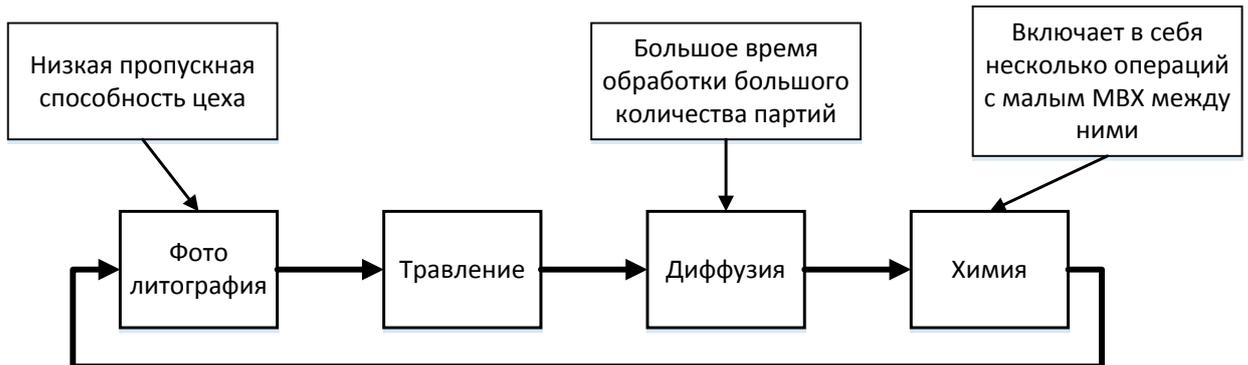


Рисунок 3.2 – Технические проблемы планирования

4 Общее описание разработанной системы

В целом АСУП разработана, как программно-алгоритмический комплекс планирования производства продукции предприятия ПАО «Микрон». Алгоритмы планирования реализованы с применением моделирования производственного процесса.

4.1 Назначение и цель создания системы

Система разработана с целью автоматизации процесса планирования производства микроэлектронной продукции согласно поставленной задаче по выпуску продукции и заданным технологическим маршрутам. В задачи системы не входит управление технологическими процессами на нижнем уровне.

Назначение системы:

- Автоматизированное оптимальное планирование производственного процесса, с дальнейшей интеграцией с существующими на предприятии АСУП;
- Отслеживание текущего состояния производственного процесса (интеграция с MES системой), корректировка расписания в соответствии с его изменениями;
- Корректировка расписания в соответствии с изменениями производственной задачи;
- Представление производственных планов в легко читаемой форме (графики, диаграммы Ганта), ведение логирования и автоматизированной отчётности.

4.2 Требования к разработанной системе

Партнёрами по разработке (ПАО «Микрон») были предъявлены следующие требования:

- Разработанная система должна составлять производственное расписание для всех установок цеха производства пластин в интервале до 24 часов.

– Разработанная модель производства должна в полной мере отражать происходящие процессы в системе производства и их временные характеристики согласно заданному плану.

– Сформированные очереди должны отвечать следующим требованиям: строгое соблюдение MBX партий, минимальное количество переключений рецептов установки, контроль простоя партий, сортировка партий в очереди по приоритету.

– Реализация человеко-машинных интерфейсов двух уровней. Менеджер планирования, с функциями добавления производственной задачи, просмотра сформированных расписаний, отслеживанием хода производственного процесса. Оператор установки, с функциями отображения сформированного расписания установки (группы установок), отображения выполненных, текущих и предстоящих задач.

4.3 Задачи разработки

Задачи системы разрабатывались в соответствии с принципами динамического программирования (см. п. 1.3.3). В ходе исследования производства и диалога с экспертами предприятия была сформирована глобальная задача. Которая, с учётом особенностей производственного процесса, последовательно редуцирована до простых прикладных задач, решаемых на уровне алгоритмов. Уровни и структура взаимосвязей задач отражены в рисунке 4.1.

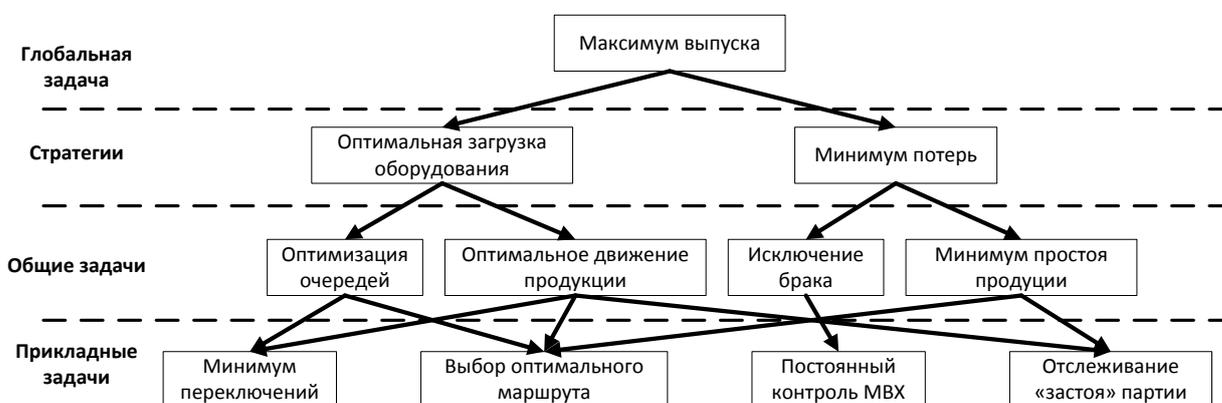


Рисунок 4.1 – Задачи системы планирования расписания

Глобальной задачей является увеличение выпуска продукции за счёт оптимального планирования. Были выявлены две стратегии достижения поставленной задачи, это – оптимальная загрузка оборудования и минимизация «потерь». В термин «потери» закладываются партии ушедшие в брак или на «реставрацию», а также партии, находящиеся в «застое» (длительное ожидание следующего этапа обработки). В рамках данных стратегий, в соответствии со спецификой производства и оборудования в частности, были сформированы следующие общие задачи планирования, при этом выявленные прикладные задачи способствуют решению сразу нескольких общих задач:

- Оптимизация очередей – сокращение времени обработки очереди партий в установке. Включает в себя две прикладные задачи: минимизация количества переключений между рецептами и выбор оптимального маршрута.

- Оптимальное движение продукции – предотвращение образования длинных очередей в «узких местах» производственной цепочки и недозагруженности оборудования. Задача решается посредством минимизации переключений, выбором оптимального маршрута и отслеживанием «застоя» партий.

- Задача исключения брака сводится к постоянному контролю времени простоя партий между операциями с МВХ.

- Снижение времени простоя продукции, включает в себя задачи: контроля «застоя» и выбора оптимальных маршрутов.

Рассмотрим подробнее прикладные задачи:

- Минимизация переключений заключается в объединении партий в группы по рецептам, что снижает количество переключений установки с рецепта на рецепт. Это приводит к экономии времени (на некоторых установках переключение длится до 1.5 часов), а также экономии расходных материалов (газы и химические реагенты).

- Выбор оптимального маршрута подразумевает под собой постановку партии в меньшую очередь, при возможности выбора из нескольких установок.

Так же при формировании порядка очереди, предпочтение отдаётся партиям, которые находятся ближе к завершению производственного цикла.

– Постоянный контроль MBX, минимальное время хранения является критическим параметром производственного процесса. При разработке текущих планов алгоритмы посредством моделирования производства постоянно отслеживают этот параметр.

– Отслеживание «застоя» заключается в повышении приоритетности партий, находящихся длительное время в простое между операциями.

4.4 Структура системы

Разработанная система состоит из четырёх взаимосвязанных модулей: СУБД, человеко-машинный интерфейс, программа планирования производства и модель производства. Рассмотрим сущность и назначение модулей подробнее.

СУБД реализует обмен данными между модулями, а также их хранение. В данном проекте применена СУБД MySQL, так как данная система имеет свободно распространяемую лицензию для некоммерческих разработок. В MySQL определены структура БД и зависимости данных (см. Приложение А). Упрощённая схема потоков обмена данными между модулями представлена на рисунке 4.2.

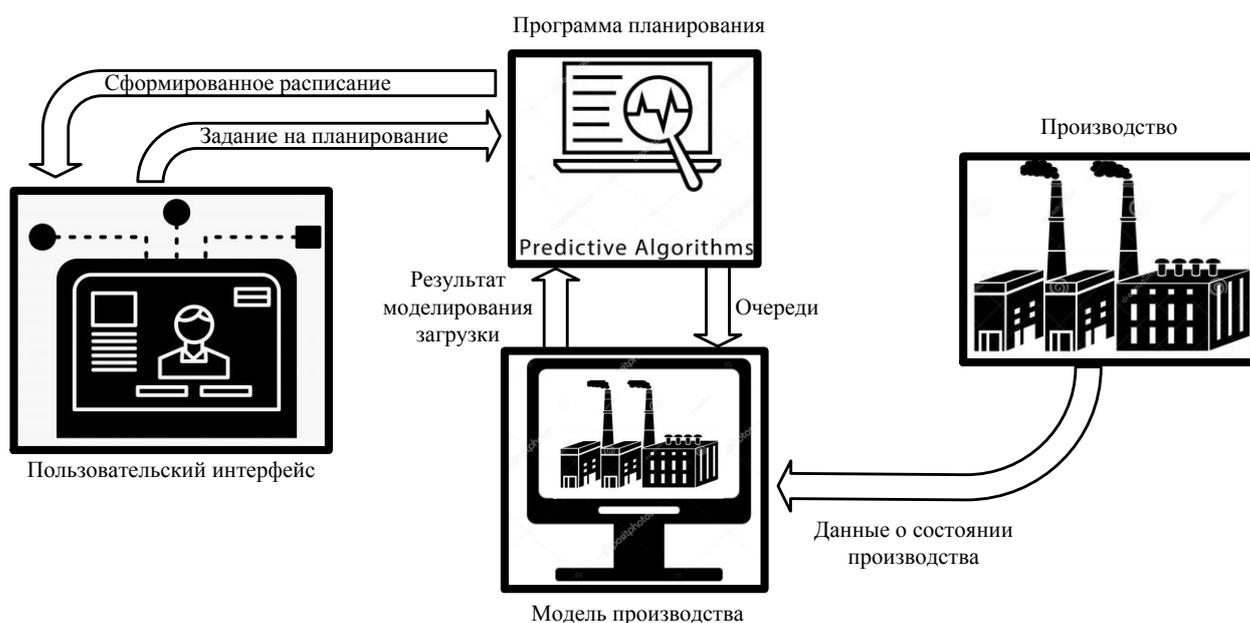


Рисунок 4.2 – Схема потоков обмена данными

Человеко-машинный интерфейс реализован в качестве WEB интерфейса, что упрощает интеграцию разработки в существующую сеть обмена данными, так как нет необходимости устанавливать ПО на рабочие станции, достаточно реализовать локальный сервер во внутренней сети. Данный модуль позволяет задать алгоритмам планирования производственную задачу, а также отображает сформированное расписание.

Программа планирования реализована на языке программирования Python. Данный модуль в совокупности с моделью производства осуществляет построение производственного расписания, а также осуществляет ведение логирования. Алгоритмы планирования подробно рассмотрены в главе 6.

Модель производства реализована в дополнении StateFlow математического пакета MATLAB. Назначение данного модуля – описывать состояние производства и его изменение при заданных входных параметрах. Метод моделирования более подробно рассмотрен в главе 5.

4.5 Общее описание процесса планирования

Процесс планирования протекает следующим образом. Перед началом планирования пользователь вводит в систему задание на планирование (партии, которые необходимо запустить в производство и настройки). Программа планирования запрашивает текущее состояние производства из MES системы, для корректного моделирования производственного процесса.

Далее партии сортируются по стоимостному критерию и предварительно расставляются в очереди. Запускается модель производства. Процесс планирования протекает пошагово, по срабатыванию события (выход партии из установки), планировщик распределяет партии по очередям в следующие установки. Каждые 20 минут реального времени программа обновляет данные по состоянию производства, для того чтобы модель адекватно отражала протекание производственных процессов. Процесс планирования заканчивается либо по достижении границы планирования (24 часа), либо по выходу всех партий в модели из производства.

5 Описание модели производства

Моделирование производственного комплекса не входит в тематику данной работы. Для лучшего понимания принципа работы алгоритмов планирование в данной главе приведена краткая справка по моделированию объекта.

Модель описывает состояние производства, совокупностью состояний каждой отдельно взятой установки, и в общем представляет собой совокупность моделей входящих в производство установок.

$$Y(n) = \sum_{i=1}^n y_{ji}. \quad (5.1)$$

где Y – совокупный вектор состояния системы;

y_{ji} – состояние i -той установки;

j – номер состояния.

Поведение отдельно взятой установки описывается конечным автоматом. Можно сформулировать следующие составляющие автомата:

- Конечный алфавит входов (X) – сообщения, получаемые моделью от других структур;
- Конечное множество состояний (Y);
- Конечный алфавит выходов (Z) – запросы или данные о состоянии автомата, передаваемые другим структурам.

Дадим словесное описание работы модели установки. В начальный момент времени установка ожидает на вход партию для обработки. При появлении информации о партии в очереди, модель запрашивает в хранилище данных информацию об этой партии (временные характеристики). Если хранилище данных удовлетворяет запрос, модель входит в состояние «занята» на время, указанное в рецепте. По окончании этого времени, модель возвращает номер партии в выходную очередь и переходит в состояние ожидания. Блок схему данного алгоритма можно увидеть в приложении А.

Диаграмма автомата модели установки представлена на рисунке 5.1, ему соответствует таблица состояний (таблица 5.1). Дадим описание входных и выходных сообщений, а также состояний автомата модели.

Входные сообщения:

- x_0 – пустая партия;
- x_1 – номер партии в очереди на обработку;
- x_2 – рецепт партии по её номеру.

Состояния:

- y_0 – ожидание сообщения о партии;
- y_1 – ожидание сообщения о рецепте партии;
- y_2 – обработка партии (выполнение z_2), переход в y_3 ;
- y_3 – выгрузка партии в выходной массив, переход в y_0 .

Выходные сообщения:

- z_0 – запрос в базу данных о текущей партии в очереди;
- z_1 – запрос рецепта текущей партии в обработке;
- z_1 – передача информации о завершённой партии;

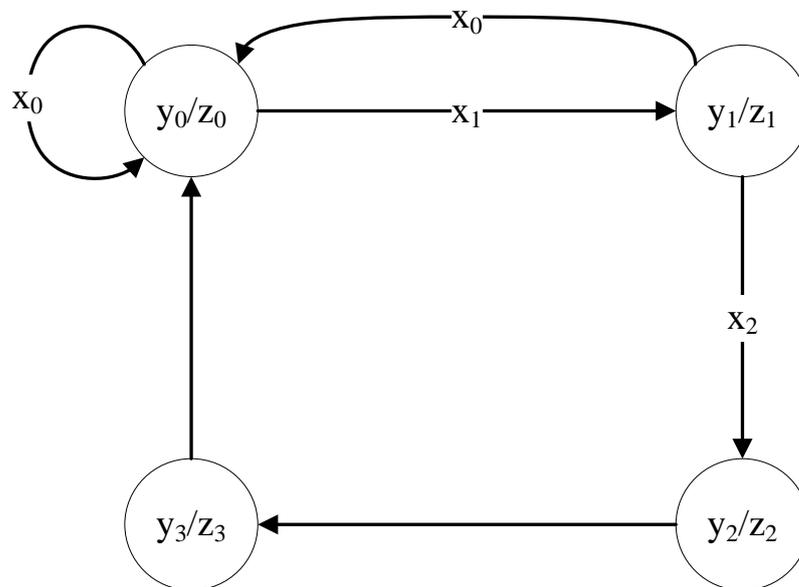


Рисунок 5.1 – Автомат модели установки

Таблица 5.1 – Таблица состояний и переходов автомата модели

Y	y_0	y_1	y_2	y_3
Z	z_0	z_1	z_2	z_3
x_0	y_0	y_0	–	–
x_1	y_1	-	–	–
x_2	–	y_2	–	-

С учетом того, что входы и состояния могут принимать только значения 0 и 1, сформируем функцию переходов:

$$\delta(x): y = \vec{X} \cdot A \cdot \vec{Y};$$

$$\vec{X} = (x_0 \quad x_1 \quad x_2), \quad \vec{Y} = \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}; \quad (5.2)$$

$$A = \begin{bmatrix} y_0 & y_0 & 0 & 0 \\ y_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & y_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

где \vec{X} – вектор входных сигналов;

\vec{Y} – вектор состояний;

A – матрица разрешённых переходов.

Блок-схему алгоритма работы автомата модели можно найти в приложении Б.

5.1 Моделирование в среде Matlab

Моделирование произведено в модуле дискретно событийного моделирования StateFlow математического пакета MATLAB.

Рассмотрим моделирование одного из производственных участков, состоящего из трёх машин. Общий вид модели участка представлен на рисунке 5.2.

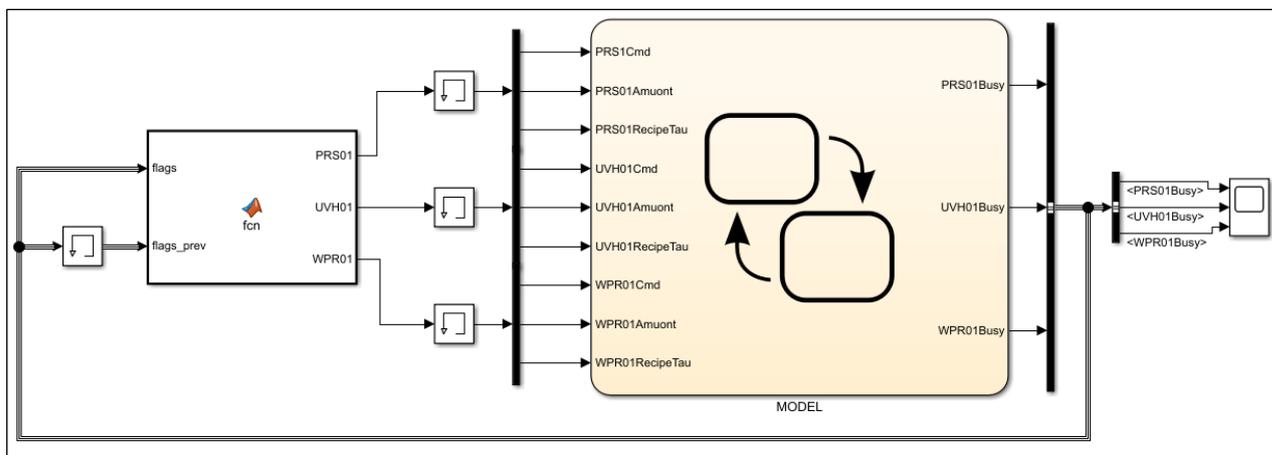


Рисунок 5.2 – Общи вид модели в MATLAB

В блоке fcn реализована функция запрос параметров моделирования и очередей в установки, которые передаются в блок логики моделирования MODEL. Как было сказано выше, состояние участка есть совокупность состояний всех установок, входящих в него. Логика моделирования участка представлена на рисунке 5.3.

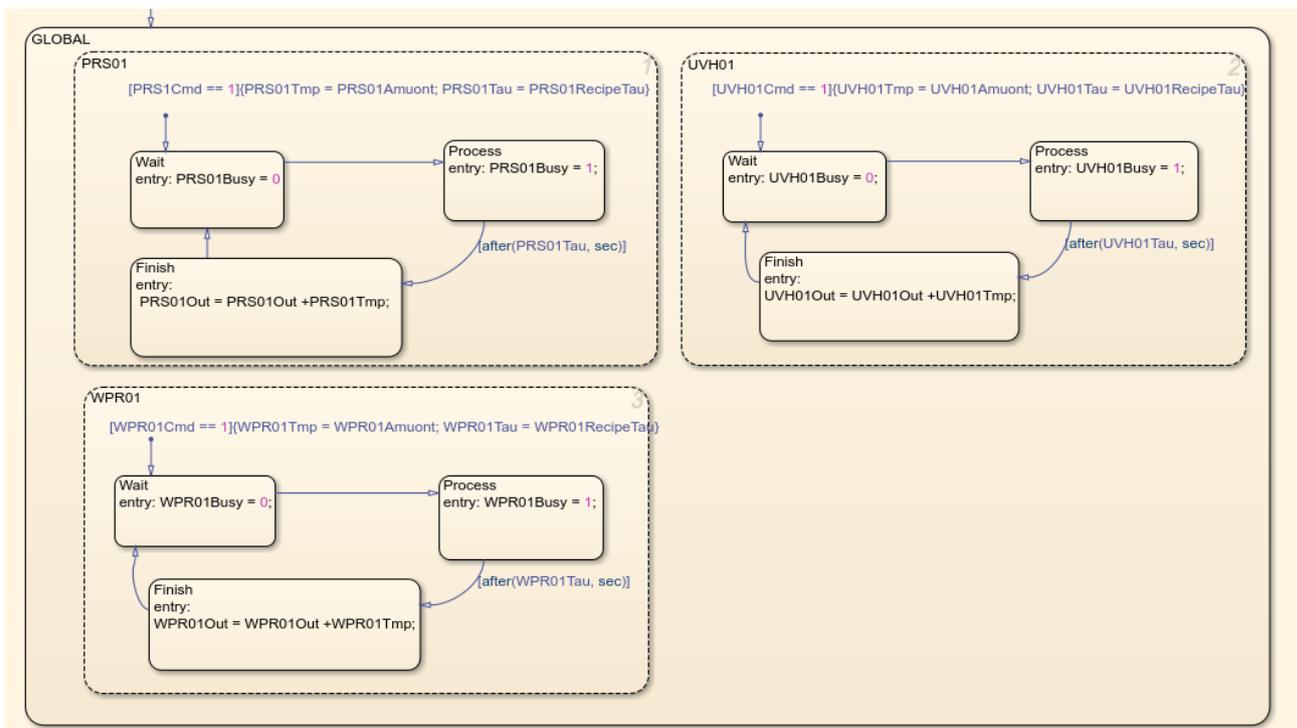


Рисунок 5.3 – Структура модели участка

Как можно заметить глобальное состояние GLOBAL имеет три подсостояния, которые и моделируют установки: PRS01, UVH01, WPR01. Данные модели (подсостояния) существуют параллельно и независимо друг от друга. Структура модели одной установки представлена на рисунке 5.4.

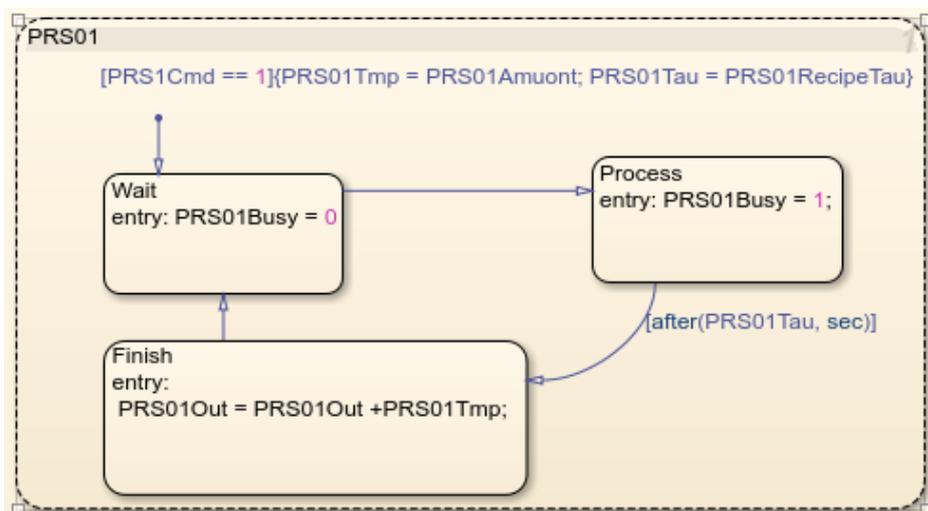


Рисунок 5.4 – Схема переходов и состояний модели установки

Логика переходов установок одинакова и описывается следующим образом. Пока очередь установки пуста, она находится в состоянии ожидания (Wait). При наличии в очереди партий установка выгружает их из очереди, переходит в состояние работы (Process) и выставляет флаг занятости (Busy). По истечении времени T_0 (поданного глобальной функцией fcn), установка переходит в состояние завершения (finish), выгружает, завершённые партии, и переходит в состояние ожидания, снимая флаг занятости.

6 Описание алгоритмов планирования

В ходе исследования и разработок, методом динамического программирования были сформированы целевые функции (критерии) оптимизации. Для реализации данных функций и сортировки партий по заданным приоритетам, был разработан универсальный стоимостной критерий. Разработаны алгоритмы распределения партии по очередям и взаимодействия с моделью производства, формирования конечного расписания. Разработанные алгоритмы реализованы на языке Python.

6.1 Критерии оптимизации

На основе анализа производственного процесса, были определены следующие критерии оптимизации планирования. Рассмотрим их в парадигме динамического программирования, двигаясь по уменьшению задачи.

– Максимум выпуска продукции, было выявлено, что выпуск продукции напрямую зависит от т.н. «потерь».

$$\begin{aligned} \max P; \\ P = f(L). \end{aligned} \tag{6.1}$$

где P – выпуск продукции;

L – потери;

– Очевидно, что зависимость выпуска P от потерь L обратная. Соответственно потери необходимо минимизировать. В качестве потерь приняты партии, вышедшие из МВХ (бракованные или ушедшие в реставрацию) и партии, долго пребывающие в простое между технологическими операциями.

$$\begin{aligned} \min L; \\ L = f(\tau, \theta). \end{aligned} \tag{6.2}$$

где θ – время простоя партии;

τ – остаточное время хранения партии.

– Необходимо минимизировать простой партии. Простой есть количество времени, прошедшее между технологическими операциями. Зависимость простоя от времени имеет следующий вид:

$$\min \theta; \tag{6.3}$$

$$\theta = t_3(n+1) - t_6(n) = T_o^{n+1}(Q_j) - T_o^n(Q_i).$$

где t_3 – время начала обработки на установке;

t_6 – время завершения обработки на установке;

n – номер текущей установки в маршрутном листе;

$T_o^n(Q_x)$ – общее время обработки x партий в установке n ;

i – позиция партии в очереди на текущую установку;

j – позиция партии в очереди на следующую установку.

Остаточное время хранения является важнейшим параметром планирования, т.к. при несоблюдении приведённых ограничений партия нуждается в реставрации или отправляется в брак. В сущности, это запас времени на проведение технологических операций до того, как партия станет не годной очевидно, что необходимо максимизировать данный параметр, зависимости следующие:

$$\max \tau;$$

$$\tau > 0; \tag{6.4}$$

$$\tau = MBX - \theta = MBX - T_o^{n+1}(Q_j) + T_o^n(Q_i).$$

где MBX – максимальное время хранения партии на данном цикле, прописано в маршрутном листе.

Таким образом подходим к минимальной целевой функции, это минимизация времени обработки, согласно соотношениям, из п. 3.2, имеем следующие зависимости:

$$\min T_o^n(Q); \tag{6.5}$$

$$T_o^n(Q) = \sum^k t_{nep} + \sum^s t_{обp}.$$

где k – количество переключений рецептов в очереди;

s – количество партий в очереди;

Таким образом мы вывели минимальную прикладную задачу, а именно уменьшение количества переключений рецептов.

6.2 Стоимостной критерий

Для минимизации расчётов и многокритериальной оценки приоритетности партий был разработан универсальный стоимостной критерий, состоящий из суммы нормированных критериев приоритета по различным параметрам, задаётся следующим соотношением:

$$S = k_n + k_3 + k_{np} + k_o + k_{MBX} \quad (6.6)$$

где S – стоимость партии;

k_n – коэффициент приоритета;

k_3 – коэффициент завершения производственного цикла;

k_{np} – коэффициент простоя партии;

k_o – коэффициент размера очереди на следующую установку;

k_{MBX} – коэффициент остаточного времени MBX.

Коэффициент приоритета, приоритет партии присваивается ей при добавлении в план, нормированный коэффициент позволяет оценивать стоимость партий по их приоритету, зависит от него следующим образом:

$$k_n = \frac{0..5}{5}. \quad (6.7)$$

Коэффициент завершения производственного цикла, позволяет оценить различные партии по их положению в цикле производства, растёт с приближением партии к завершению производства, повышая её общую ценность, подчиняется следующим соотношениям:

$$k_3 = 1 - \frac{N(x) - n(x)}{N(x)}. \quad (6.8)$$

где $N(x)$ – общее число операции в маршрутном листе партии x ;

$n(x)$ – номер текущей операции в маршрутном листе партии x .

Коэффициент простоя партии, необходим для решения одной из основных поставленных задач планирования, а именно снижение простоя партии между операции, растёт с увеличением времени простоя, повышая общую стоимость партии, по следующему соотношению:

$$k_{np} = \frac{\theta(x)}{\theta_{\max}}. \quad (6.9)$$

где θ_{\max} – настройка максимального простоя;

$\theta(x)$ – текущее время простоя партии x .

Коэффициент размера очереди на следующую установку, разработан для оптимизации движения продукции по производству. Снижается с приближением размера очереди в следующей по технологическому маршруту установки к максимальной очереди по производству в текущей итерации плана, понижая общую стоимость партии, таким образом задерживая её в текущей очереди. Задаётся следующим соотношением:

$$k_o = \frac{\max Q - Q(n+1)}{\max Q}. \quad (6.10)$$

где $\max Q$ – максимальная очередь по производству;

$Q(n+1)$ – очередь в следующую по маршруту установку.

Коэффициент зависящий от остаточного времени MBX:

$$k_{MBX} = \frac{\theta(x)}{MBX(n_x)}. \quad (6.11)$$

6.3 Глобальная функция планирования

Процесс планирования запускается по событиям: построение нового расписания, обновление данных о состоянии производства.

При генерации нового плана сначала вызывается процедура планирования, которая проводит первичный расчёт стоимостных критериев партий и предварительную расстановку в очереди, очереди загружаются в модель производства. Далее процесс планирования происходит итеративно. По выходу партии из установки модель генерирует событие. Вызывается глобальная функция, которая проводит распределение свободных партий в очереди на установку и корректировку сформированных очередей, очереди в модели обновляются. Цикл последовательно вызывает функции, каждая из которых решает определённые задачи планирования.

Функция распределения партий осуществляет контроль циклов MBX, а также первичную сортировку партий по их ценности, для дальнейшего распределения в очереди.

Функция оптимизации очередей решает задачу сокращения времени обработки очереди в машине, распределение партий и их групп по стоимости в уже сформированных очередях.

Функция планирования очередей осуществляет постановку партии в очередь из общего массива, а также запуск партий на цикл MBX. планирования очередей.

Ниже приведены описания работы основных функций планирования, а также дерево вызова процедур глобальной функции планирования, её блок-схема приведена в приложении В. Программный код реализации глобальной функции и всех входящих в неё процедур на языке Python приведён в приложении К.

Глобальная функция планирования

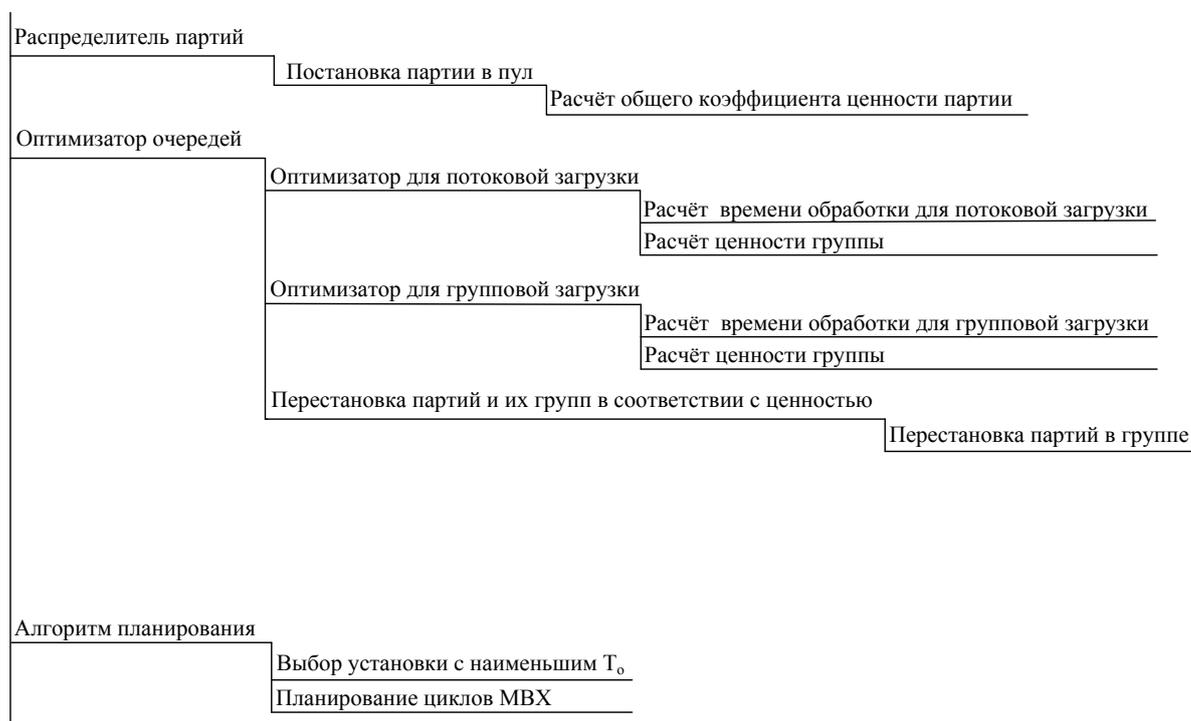


Рисунок 6.1 – Дерево вызова процедур

6.3.1 Распределитель партий

Функция распределения партий проверяет идёт ли у партии цикл MBX. Если партия не находится в цикле MBX, она добавляется в общий массив согласно её стоимости, для дальнейшего распределения в очереди. Если партия находится в цикле MBX, она добавляется в очередь текущей установки по маршрутному листу, согласно её стоимости. Блок-схема функции приведена в приложении Г.

6.3.2 Оптимизатор очередей

Функция получает на вход очередь в данную установку (при первом планировании очередь пустая) и параметр `batch_size` (размер группы, если установка с групповой загрузкой, `inf` если установка обрабатывает партии в потоковом режиме).

Алгоритм в цикле проходит очередь до конца. Если партия под указателем имеет параметр `Group > 0` следовательно эта партия сгруппирована с другими, количество партий в очереди равно этому параметру находится с ней в группе. Если параметр `Group < batch_size` следовательно группа сформирована не полностью или установка работает в потоковом режиме. При этом алгоритм проходит очередь после последней партии в группе (при `Group = 0`, алгоритм переходит к следующей партии) и добавляет все партии с таким же рецептом. Иначе группа сформирована, курсор пропускает партии в группе. По окончании формирования группы рассчитывается критерий стоимости для всей группы, как среднее значение стоимости всех партий в группе. По окончании очереди, оптимизированная очередь, добавляется вместо текущей в базу данных. Блок-схема функции приведена в приложении Д.

6.3.3 Перестановка партий и их групп в соответствии с ценностью

Данная функция производит циклический перебор всей очереди. Если партия под указателем имеет параметр `Group > 0`, проверяется партия следующая после последней партии в группе, если её параметр `Group > 0`, сравнивается

средняя стоимость двух групп партий и производится перестановка, если у следующей партии параметр $Group < 0$, сравнивается стоимость этой партии и средняя стоимость партий в группе под указателем и производится перестановка если стоимость группы меньше стоимости отдельной партии. Если партия под указателем имеет параметр $Group < 0$, проверяется следующая партия за ней, если следующая партия имеет параметр $Group > 0$, сравнивается стоимость партии под указателем и средняя стоимость партий в группе, производится перестановка, если стоимость отдельной партии меньше средней стоимости в группе. Если следующая партия имеет параметр $Group < 0$, сравнивается стоимость двух партий и производится перестановка, если стоимость первой меньше стоимости второй. Блок-схема функции приведена в приложении Е.

После окончания перестановки партий и групп в очереди, вызывается функция перестановки партии в группах, которая в цикле до конца группы производит сравнение стоимостей партий и их перестановки. Блок-схема функции приведена в приложении Ж.

6.3.4 Алгоритм планирования очередей и планирования циклов MBX

Алгоритм проходит массив нераспределённых партий до конца. Каждая партия проверяется на наличие цикла MBX на последующем этапе, если следующая операция не порождает цикл MBX партия ставится в очередь, если очередь в установку не заблокирована, в соответствии с её ценностью. Иначе (если операция порождает цикл MBX) алгоритм вызывает функцию планирования циклов MBX.

Функция планирования циклов MBX проверяет все операции по маршрутному листу данной партии. Если последующая операция удовлетворяет условию $\tau > 0$, следовательно, обработка на данной установке не превысит время MBX, очередь на установку блокируется. Алгоритм переходит к следующей операции. Если последующая операция завершает цикл MBX, очередь на последней установке блокируется, алгоритм ставить партию в очередь текущей установки, согласно её стоимости.

Если одна из операций не удовлетворяет условию $\tau > 0$ или её очередь заблокирована, алгоритм блокирует очереди всех последующих операций, до снятия цикла MBX. При этом партия остаётся в общем массиве партий, до того пока все установки в цикле MBX не будут удовлетворять условию. Блок-схема функции планирования очередей приведена в приложении 3, блок-схема функции планирования циклов MBX приведена в приложении И.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Современные крупные и средние производства обладают широкой номенклатурой выпуска, большими производственными мощностями и высокой степенью автоматизации. Производственный процесс каждого типа изделия является сложным множеством технологических операций, нередко пересекающихся с другими типами продукции. Так же с течением времени производственная задача постоянно меняется. Для успешного функционирования предприятия все производственные процессы необходимо тщательно спланировать, что в свете вышеперечисленных факторов приводит к необходимости создания автоматизированных решений данной задачи.

В настоящее время на многих российских предприятиях уже внедрены решения автоматизированного финансово-хозяйственного, а также цехового управления предприятием. Но планирование производства до сих пор выполняется человеком, что порождает ряд проблем.

Сегодня доминирующее положение на рынке данных программных продуктов занимают зарубежные производители, что делает и без того сложный процесс внедрения систем данного уровня, более трудоёмким и ресурсозатратным. Всё вышеперечисленное делает разработку автоматизированных инструментов планирования производства актуальной задачей.

Задача проекта: Разработать программно-алгоритмический комплекс планирования производственных процессов, для предприятия ПАО «Микрон».

Требования к системе: Соответствие построенной модели реальному производству, надежность спроектированных алгоритмов, соответствие генерируемых планов критериям оптимизации.

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Перед планированием работы, определением ресурсного и экономического потенциала разработки программно-алгоритмического комплекса, следует уделить особое внимание оценки коммерческого потенциала и перспективности новой разработки в целом, дать характеристику и определить сегмент рынка, на который будет ориентироваться компания, при продаже данной продукции.

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основными потребителями АСУП являются крупные и средние производственные предприятия, крупные учебные заведения (ВУЗы и техникумы), транспортные и логистические предприятия, на основе исследования составлена карта сегментирования рынка (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Карта сегментирования рынка продаж систем автоматизированного планирования

		Использование продукции		
		Планирование производственных потоков	Планирование расписаний	Планирование транспортных потоков
Группа потребителей	Промышленные предприятия			
	ВУЗы и техникумы			
	Транспортные и логистические предприятия			
ПАО «Микрон»				
ТПУ				
Транспортная компания «ПЭК»				

Согласно карте сегментирования рынка, можно сделать вывод об относительной свободе сегмента продаж программно-алгоритмических комплексов автоматизированного планирования процессов.

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения будет основываться на сравнении разрабатываемой системы (ф) и двух конкурентных решений производителей систем автоматизированного управления и планирования производства, а именно Simatic IT Preactor компании Siemens (к1) и АММ (Advanced Manufacturing Management), компании Галактика (к2), на основе анализа составлена таблица 7.2.

Таблица 7.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение загрузки оборудования	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
2. Надёжность алгоритмов	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
3. Потребность в вычислительных мощностях	0,1	5	1	3	0,5	0,1	0,3
4. Скорость обработки поступающих массивов данных	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3
5. Ресурсоэффективность	0,05	3	4	3	0,15	0,2	0,15
6. Соответствие специфике исследуемого производства	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,1
7. Удобство графического интерфейса	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
8. Простота эксплуатации	0,05	3	2	2	0,15	0,1	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	0	5	2	0	0,25	0,1
3. Цена	0,1	5	1	3	0,5	0,1	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
5. Послепродажное обслуживание	0,05	3	5	0	0,15	0,25	0
Итого	1	47	49	33	3,85	3,7	2,65

Исходя из проведённого анализа следует вывод, что разрабатываемый продукт может составить конкуренцию в цене, требованиях к эксплуатации и соответствии продукта специфике исследуемого производства. Из слабых сторон необходимо отметить, так как разработка находится в начальной стадии спектр производств, в которые она может быть интегрирована, ограничен, а

также алгоритмы имеют меньшую вычислительную мощность. Впоследствии, при дальнейшей разработке проекта, данный недостаток будет устранён.

7.1.3 Анализ по технологии QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. В таблице 7.3 представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Таблица 7.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
Повышение загрузки оборудования	0,2	90	100	0,9	0,18
Надежность алгоритмов	0,2	90	100	0,9	0,18
Скорость обработки поступающих массивов данных	0,1	80	100	0,8	0,08
Возможность интеграции в различные отрасли промышленности	0,1	40	100	0,4	0,04
Качество интеллектуального интерфейса	0,05	80	100	0,8	0,04
Соответствие специфике исследуемого производства	0,1	100	100	1	0,1
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность продукта	0,1	70	100	0,7	0,07
Цена	0,05	90	100	0,9	0,045
Послепродажное обслуживание	0,1	70	100	0,7	0,07
Итого	1				0,8

Средневзвешенное значение критериев равно 80. Данное значение выше среднего, что говорит нам о перспективности и конкурентоспособности разработки.

При дальнейшей разработке проекта стоит уделить внимание расширению спектра отраслей промышленности, в которые может быть

внедрена разработка. А также пользовательскому интерфейсу и вычислительной мощности алгоритмов. Улучшение данных критериев приведёт к значительному повышению конкурентоспособности продукта.

7.1.4 SWOT анализ

Далее исследуем внутренние и внешне свойства среды данного проекта с помощью методики SWOT-анализа. Матрица SWOT-анализа (таблица 7.10) описывает сильные и слабые стороны проекта (внутренние факторы), а также показывает возможности и угрозы (внешние факторы) и возможные направления реализации.

В рамках первого этапа анализа построим матрицу SWOT (таблица 7.4) с описанием сильных и слабых сторон проекта, а также возможностей и угроз.

Таблица 7.4 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Соответствие специфике исследуемого производства.</p> <p>С2. Низкая стоимость внедрения.</p> <p>С3. Надёжность алгоритмов.</p> <p>С4. Сниженная потребность в вычислительных мощностях.</p> <p>С5. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С6. Наличие заказчика разработки.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Узкий диапазон отраслей внедрения.</p> <p>Сл2. «Новый игрок» на рынке систем производственного управления и планирования.</p> <p>Сл3. Использование зарубежного ПО в разработке.</p>
--	--	--

Продолжение таблицы 7.4 – Матрица SWOT

<p>Возможности: В1. Заинтересованность потребителей из других отраслей производства в разработке. В2. Получение дополнительных грантов и финансирование из внебюджетных средств. В3. Выход на международный рынок систем планирования производства. В4. Сотрудничество с российскими поставщиками ПО моделирования и разработки.</p>		
<p>Угрозы: У1. Наличие сильных конкурентов. У2. Провал внедрения на исследуемом предприятии. У3. Ограничения на экспорт разработки У4. Введение дополнительных государственных требований к сертификации ПО. У5. Исчерпание финансирования.</p>		

В рамках второго этапа проведём анализ соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Анализ представлен ниже в виде интерактивных матриц, сильное соответствие отмечено знаком «+», слабое знаком «-».

Направления реализации сильных сторон и возможностей: В1С2С3, В1В2В4С5С6, В1В3С1С2С3С4, В4С1С2С3С4 (таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	В1	+	+	+	+	+	+
	В2	-	-	-	-	+	+
	В3	+	+	+	+	-	-
	В4	+	+	+	+	-	-

Направления реализации слабых сторон и возможностей: В1В2В3Сл1Сл2, В1В2В4Сл3 (таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	+
	В2	+	+	+
	В3	+	+	–
	В4	–	–	+

Направления реализации сильных сторон и угроз: У1У5С1С3С6, У2С2С3С4С5, У3С2С5С6, У4С1С6 (таблица 7.7).

Таблица 7.7 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз проекта

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	У1	+	–	+	–	–	+
	У2	–	+	+	+	+	–
	У3	–	+	–	–	+	+
	У4	+	–	–	–	–	+
	У5	–	–	+	–	–	+

Направления реализации слабых сторон и угроз: У1У3У5Сл1Сл2, У2Сл2, У4Сл3 (таблица 7.8).

Таблица 7.8 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	–
	У2	–	+	–
	У3	+	+	–
	У4	–	–	+
	У5	+	+	–

В рамках третьего этапа построим итоговую матрицу SWOT анализа, результат представлен в таблице 7.9.

Таблица 7.9 – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Соответствие специфике исследуемого производства. С2. Низкая стоимость внедрения. С3. Надёжность алгоритмов. С4. Сниженная потребность в вычислительных мощностях. С5. Наличие бюджетного финансирования. С6. Наличие заказчика разработки.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Узкий диапазон отраслей внедрения. Сл2. «Новый игрок» на рынке систем производственного управления и планирования. Сл3. Использование зарубежного ПО в разработке.</p>
<p>Возможности: В1. Заинтересованность потребителей из других отраслей производства в разработке. В2. Получение дополнительных грантов и финансирование из внебюджетных средств. В3. Выход на международный рынок систем планирования производства. В4. Сотрудничество с российскими поставщиками ПО моделирования и разработки.</p>	<p>В1С2С3 – Расширение спектра применимости на другие производственные отрасли. В1В2В4С5С6 – Дальнейшие разработки. В1В3С1С2С3С4 – Увеличение рынка сбыта. В4С1С2С3С4 – Сотрудничество с государственными структурами.</p>	<p>В1В2В3Сл1Сл2 – Дальнейшие разработки. Расширение спектра применимости на другие производственные отрасли. В1В2В4Сл3 – Переход на отечественное ПО с развитием проекта.</p>
<p>Угрозы: У1. Наличие сильных конкурентов. У2. Провал внедрения на исследуемом предприятии. У3. Ограничения на экспорт разработки У4. Введение дополнительных государственных требований к сертификации ПО. У5. Исчерпание финансирования.</p>	<p>У1У5С1С3С6 – Дальнейшее сотрудничество с текущим партнёром, привлечение новых. У2С2С3С4С5 – Многократные проверки и отладка алгоритмов и модели. У3С2С5С6 – Участие в гос. контрактах, ориентация на внутренний рынок У4С1С6 – Сертификация продукции и введение системы контроля качества.</p>	<p>У1У3У5Сл1Сл2 – Дальнейшие разработки. Расширение спектра применимости на другие производственные отрасли. Ориентированность на внутренний рынок. У2Сл2 – Многократные проверки и отладка алгоритмов и модели. У4Сл3 – Переход на отечественное ПО с развитием проекта.</p>

7.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения научных исследований воспользуемся морфологическим методом и составляется морфологическая матрица (таблица 7.10).

Таблица 7.10 – Морфологическая матрица для программно-алгоритмического комплекса планирования производственных процессов

№п/п		1	2	3	4
А	Метод решения задачи планирования	Динамическое программирование	Метод ветвей и границ	Сети Петри	Методы оптимизации
Б	Язык реализации алгоритмов	C++	C#	Python	–
В	СУБД	Informix	Oracle database	Microsoft Access	MySQL
Г	Моделирование исследуемого производства	Модель созданная без использования готовой среды моделирования	Matlab	AllFusion ERwin Data Modeler	–

Согласно данной матрице возможно предложить четыре функционально конкретных варианта решения поставленной задачи:

– А1Б3В4Г2, алгоритмы разработаны с использованием методов динамического программирования, с реализацией на языке Python, моделирование производства проводится в математическом пакете Matlab, для хранения данных применяется СУБД MySQL.

– А2Б1В1Г1, алгоритмы разработаны с использованием метода динамического программирования, с реализацией на языке C++, моделирование производства проводится без использования готовой среды моделирования, для хранения данных применяется СУБД Informix.

– А3Б1В3Г3, алгоритмы разработаны на базе сетей Петри, с реализацией на языке C++, моделирование производства проводится в пакете AllFusion ERwin Data Modeler, для хранения данных применяется СУБД Microsoft Access.

– А4Б2В2Г2, алгоритмы разработаны с использованием методов глобальной оптимизации, с реализацией на языке C#, моделирование

производства проводится в математическом пакете Matlab, для хранения данных применяется СУБД Oracle database.

7.3 Планирование научно-исследовательских работ

7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования формируется рабочая группа, в состав которой входят студент-дипломник и один руководитель. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 7.11.

Таблица 7.11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Предпроектное исследование производства	Студент
	2	Составление технического задания	Студент
	3	Утверждение технического задания	Руководитель, студент
Теоретические исследования	4	Проведение патентных исследований	Студент
	5	Изучение существующих математических методов решения задач планирования	Студент
	6	Выявление критериев оптимизации, функциональных зависимостей и построение математического аппарата алгоритмов	Студент
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка проведённых исследований	Руководитель
	8	Утверждение работ, календарное планирование работ	Руководитель, студент
<i>Разработка системы планирования (проведение ОКР)</i>			
Проектирование общей структуры системы	9	Разработка общей структуры системы, определение подсистем и протоколов их взаимодействия	Студент
	10	Документирование структуры системы	Руководитель, студент
Разработка алгоритмов	11	Проектирование алгоритмов	Студент
	12	Документирование алгоритмов	Студент
	13	Проверка и утверждение документации	Руководитель, студент

Продолжение таблицы 7.11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Создание конечного продукта	14	Кодирование алгоритмов	Студент
	15	Отладка кода	Студент
	16	Документирование кода	Руководитель, студент
	17	Сведение модели, СУБД и подсистемы планирования в единую систему	Студент
	18	Отладка системы	Студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	19	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент
	20	Проверка работы	Руководитель

7.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки — это трудовые затраты. Для определения трудоемкости составим таблицу 7.14, в ней будем рассчитывать показатели по приведенным ниже формулам.

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется две оценки: t_{min} и t_{max} (метод двух оценок).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (7.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i} \quad (7.2)$$

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

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (7.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (7.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

7.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения ленточного графика работ определим временные показатели проведения научного исследования (таблица 7.12) максимальное по длительности исполнение. Это исполнение номер 4, и время его исполнения составит 112 дней. Календарный план-график представлен в таблице 7.13. Где  - руководитель,  - студент.

Таблица 7.12 – Временные показатели проведения научного исследования

№ Работы	Трудоёмкость работ												Исполнители				Длительность работ в рабочих днях T_{pi}				Длительность работ в календарных днях T_{ki}			
	t_{min} , чел-дни				t_{max} , чел-дни				$t_{ожгi}$, чел-дни								Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4
	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4								
1	1	1	1	1	5	5	5	5	2.6	2.6	2.6	2.6	С	С	С	С	2.6	2.6	2.6	2.6	4	4	4	4
2	1	1	1	1	3	3	3	3	1.8	1.8	1.8	1.8	С	С	С	С	1.8	1.8	1.8	1.8	3	3	3	3
3	1	1	1	1	3	3	3	3	1.8	1.8	1.8	1.8	Р, С	Р, С	Р, С	Р, С	0.9	0.9	0.9	0.9	2	2	2	2
4	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	С	С	С	С	1.4	1.4	1.4	1.4	2	2	2	2
5	4	4	4	4	7	7	7	7	5.2	5.2	5.2	5.2	С	С	С	С	5.2	5.2	5.2	5.2	7	7	7	7
6	1	1	3	5	2	2	5	7	1.4	1.4	3.8	5.8	С	С	С	С	1.4	1.4	3.8	5.8	2	2	5	8
7	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	Р	Р	Р	Р	1.4	1.4	1.4	1.4	2	2	2	2
8	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	Р, С	Р, С	Р, С	Р, С	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1
9	5	5	7	8	10	15	10	10	7	9	8.2	8.8	С	С	С	С	7	9	8.2	8.8	9	11	11	11
10	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	Р, С	Р, С	Р, С	Р, С	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1
11	5	7	10	12	15	20	20	20	9	12.2	14	15.2	С	С	С	С	9	12.2	14	15.2	11	15	18	19
12	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	С	С	С	С	1.4	1.4	1.4	1.4	2	2	2	2
13	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	Р, С	Р, С	Р, С	Р, С	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1
14	5	5	7	10	7	7	10	14	5.8	5.8	8.2	11.6	С	С	С	С	5.8	5.8	8.2	11.6	8	8	11	15
15	3	3	5	5	7	7	7	7	4.6	4.6	5.8	5.8	С	С	С	С	4.6	4.6	5.8	5.8	6	6	8	8
16	1	1	1	1	2	2	2	2	1.4	1.4	1.4	1.4	Р, С	Р, С	Р, С	Р, С	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1
17	5	5	5	5	10	10	10	10	7	7	7	7	С	С	С	С	7	7	7	7	9	9	9	9
18	3	3	5	5	7	7	7	7	4.6	4.6	5.8	5.8	С	С	С	С	4.6	4.6	5.8	5.8	6	6	8	8
19	2	2	2	2	5	5	5	5	3.2	3.2	3.2	3.2	С	С	С	С	3.2	3.2	3.2	3.2	4	4	4	4
20	2	2	2	2	5	5	5	5	3.2	3.2	3.2	3.2	Р	Р	Р	Р	3.2	3.2	3.2	3.2	4	4	4	4
Итого																					85	91	104	112

Таблица 7.13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работы	Вид работы	T _{Ki}	Исполнители	Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Предпроектное исследование производства	4	С	■											
2	Составление технического задания	3	С	■	■										
3	Утверждение технического задания	2	Р, С		■										
4	Проведение патентных исследований	2	С		■										
5	Изучение существующих математических методов решения задач планирования	7	С		■	■									
6	Выявление критериев оптимизации, функциональных зависимостей и построение математического аппарата алгоритмов	8	С		■	■	■								
7	Оценка проведённых исследований	2	Р			■									
8	Утверждение работ, календарное планирование работ	1	Р, С			■									
9	Разработка общей структуры системы, определение подсистем и протоколов их взаимодействия	11	С			■	■	■							
10	Документирование структуры системы	1	Р, С				■								
11	Проектирование алгоритмов	19	С				■	■	■						
12	Документирование алгоритмов	2	С					■							
13	Проверка и утверждение документации	1	Р, С					■							
14	Кодирование алгоритмов	15	С					■	■	■					
15	Отладка кода	8	С						■	■	■				
16	Документирование кода	1	Р, С							■					
17	Сведение модели, СУБД и подсистемы планирования в единую систему	9	С							■	■	■			
18	Отладка системы	8	С								■	■	■		
19	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	4	С										■	■	■
20	Проверка работы	4	Р												■

7.3.4 Бюджет научно-технического исследования

7.3.4.1 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \cdot \quad (7.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, примем равным 15%. Расчеты представлены в таблицу 7.14.

Таблица 7.14 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество				Цена за ед., руб.				Затраты на материалы, (Z _м), руб.			
		Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Лицензия «Matlab»	Шт.	1	0	0	1	148 050	0	0	148 050	148 050	0	0	148 050
Лицензия «Visual studio»	Шт.	1	1	1	1	25 999	25 999	25 999	25 999	25 999	25 999	25 999	25 999
Лицензия «MySQL»	Шт.	1	0	0	0	158 399	0	0	0	158 399	0	0	0
Лицензия «AllFusion»	Шт.	0	0	1	0	0	0	206 874	0	0	0	206 874	0
Лицензия «Informix»	Шт.	0	1	0	0	0	67 567	0	0	0	67 567	0	0
Лицензия «Oracle database»	Шт.	0	0	0	1	0	0	0	62 699	0	0	0	62 699
Лицензия «Microsoft Access»	Шт.	0	0	1	0	0	0	8 345	0	0	0	8 345	0
Компьютер	Шт.	1	1	1	1	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Итого										382 448	143 566	291 218	286 748

7.3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Так как основная часть разработки программно-алгоритмического комплекса проводится на персональном компьютере с использованием

специализированных программ, то расчет затрат на специальное оборудование не требуется.

7.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (7.6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p. \quad (7.7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 7.12);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}. \quad (7.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дня $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочие дни (таблица 7.15).

Таблица 7.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p. \quad (7.9)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

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

Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 7.16.

Таблица 7.16 – Расчёт основной заработной платы

Вар.	Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , Руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
1	Руководитель	10	2,047	14584	0,3	0,15	1,3	27490	1140	10	11400
	Студент	1	1	7800	0,3	0,15	1,3	14703	610	81	49410
	Итого										60810
2	Руководитель	10	2,047	14584	0,3	0,15	1,3	27490	1140	10	11400
	Студент	1	1	7800	0,3	0,15	1,3	14703	610	87	53070
	Итого										96165
3	Руководитель	10	2,047	14584	0,3	0,15	1,3	27490	1140	10	11400
	Студент	1	1	7800	0,3	0,15	1,3	14703	610	100	61000
	Итого										72400
4	Руководитель	10	2,047	14584	0,3	0,15	1,3	27490	1140	10	11400
	Студент	1	1	7800	0,3	0,15	1,3	14703	610	108	65880
	Итого										77280

7.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (7.10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Примем коэффициент равный 0,12. Результаты расчета приведены в таблице REF_Ref7981119 \h 7.17

Таблица 7.17 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнители	Дополнительная заработная плата, руб.			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Руководитель	1368	1368	1368	1368
Студент	5930	6369	7320	7906
Итого	7298	7737	8688	9274

7.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (7.11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Результаты расчета приведены в таблице 7.18.

Таблица 7.18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.				Полная заработная плата, руб.			
	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4
Руководитель проекта	11400	11400	11400	11400	12768	12768	12768	12768
Студент	49410	53070	61000	65880	55340	59439	68320	73786
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271							

Продолжение таблицы 7.18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Итого	
Вариант 1	18458
Вариант 2	19569
Вариант 3	21975
Вариант 4	23457

7.3.4.6 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Разработка создается в пределах Томского политехнического университета для отделения автоматизации и робототехники. Командировки возможны лишь, при условии продвижения полученного комплекса в другие ВУЗы.

7.3.4.7 Контрагентные расходы

На данном этапе невозможно оценить влияние контрагентных расходов на проект.

7.3.4.8 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}. \quad (7.12)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$\begin{aligned} \text{Вариант 1} &= (382\,448 + 60\,810 + 7\,298 + 18\,458) \cdot 0,16 = 75\,043 \\ \text{Вариант 2} &= (143\,566 + 64\,470 + 7\,737 + 19\,569) \cdot 0,16 = 37\,655 \\ \text{Вариант 3} &= (291\,218 + 72\,400 + 8\,688 + 21\,975) \cdot 0,16 = 63\,085 \\ \text{Вариант 4} &= (286\,748 + 77\,280 + 9\,274 + 23\,457) \cdot 0,16 = 63\,482 \end{aligned} \quad (7.13)$$

7.3.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 7.19.

Таблица 7.19 – Расчет бюджета затрат научно-технического исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.				Примечание
	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	
1. Материальные затраты НТИ	382448	143566	291218	286748	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	0	0	0	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	60810	96165	72400	77280	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7298	7737	8688	9274	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18485	19569	21975	23457	Пункт 3.4.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	0	0	0	Пункт 3.4.6
7. Контрагентные расходы	0	0	0	0	Пункт 3.4.7
8. Накладные расходы	75043	37655	63085	63482	16% от суммы ст. 1-7
9. Бюджет затрат НТИ	544084	304692	457366	460241	Сумма ст. 1- 8

7.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение интегральных показателей эффективности проведем для четырёх вариантов исполнения разработки (см. раздел 7.2):

– Вариант 1, алгоритмы разработаны с использованием методов динамического программирования, с реализацией на языке Python, моделирование производства проводится в математическом пакете Matlab, для хранения данных применяется СУБД MySQL.

– Вариант 2, алгоритмы разработаны с использованием метода динамического программирования, с реализацией на языке C++, моделирование производства проводится без использования готовой среды моделирования, для хранения данных применяется СУБД Informix.

– Вариант 3, алгоритмы разработаны на базе сетей Петри, с реализацией на языке C++, моделирование производства проводится в пакете AllFusion ERwin Data Modeler, для хранения данных применяется СУБД Microsoft Access.

– Вариант 4, алгоритмы разработаны с использованием методов глобальной оптимизации, с реализацией на языке C#, моделирование производства проводится в математическом пакете Matlab, для хранения данных применяется СУБД Oracle database.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (7.14)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Результаты вычислений приведены в таблице REF_Ref7532040 \h 7.20

Таблица 7.20 – Расчёт интегрального финансового показателя

Вариант исполнения	Φ_{max}	Φ_{pi}	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Вар. 1	544084	544084	1
Вар. 2		304692	0,56
Вар. 3		457366	0,84
Вар. 4		460241	0,85

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i. \quad (7.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Весовые коэффициенты и бальная оценка вариантов исполнения разработки приведены в таблице 7.21.

Таблица 7.21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4
1. Надежность алгоритмов	0,3	5	2	3	3
2. Быстродействие	0,3	4	2	2	2
3. Удобство	0,1	4	3	3	3
4. Функциональность	0,2	5	2	4	4
5. Интерфейс	0,1	5	3	3	4
ИТОГО	1				

Расчёт показателей:

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 4,6;$$

$$I_{p-исп2} = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 2,2;$$

$$I_{p-исп3} = 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 2,9;$$

$$I_{p-исп4} = 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 3.$$

(7.16)

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (7.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (таблица 7.22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Таблица 7.22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,56	0,84	0,85
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	2,2	2,9	3
3	Интегральный показатель эффективности	4,6	3,92	3,45	3,5

Как видно из сравнения интегральных показателей, наиболее эффективным с позиции финансовой и ресурсной эффективности является первое исполнение программно-алгоритмического комплекса производственного планирования.

8 Социальная ответственность

С каждым годом возрастает интенсивность применения компьютерной техники в сферах жизнедеятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: электромагнитных полей, радиочастотному (высоких, ультравысоких и средних частот) и инфракрасному излучению, шуму и вибрации, статическому электричеству. Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением, высокой напряженностью зрительной работы и большой нагрузкой на кисти рук при работе с периферийными устройствами ЭВМ.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1.1 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации [9], в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

8.1.2.1 Эргономические требования к рабочему месту

На рисунке 8.1 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе разработчика.

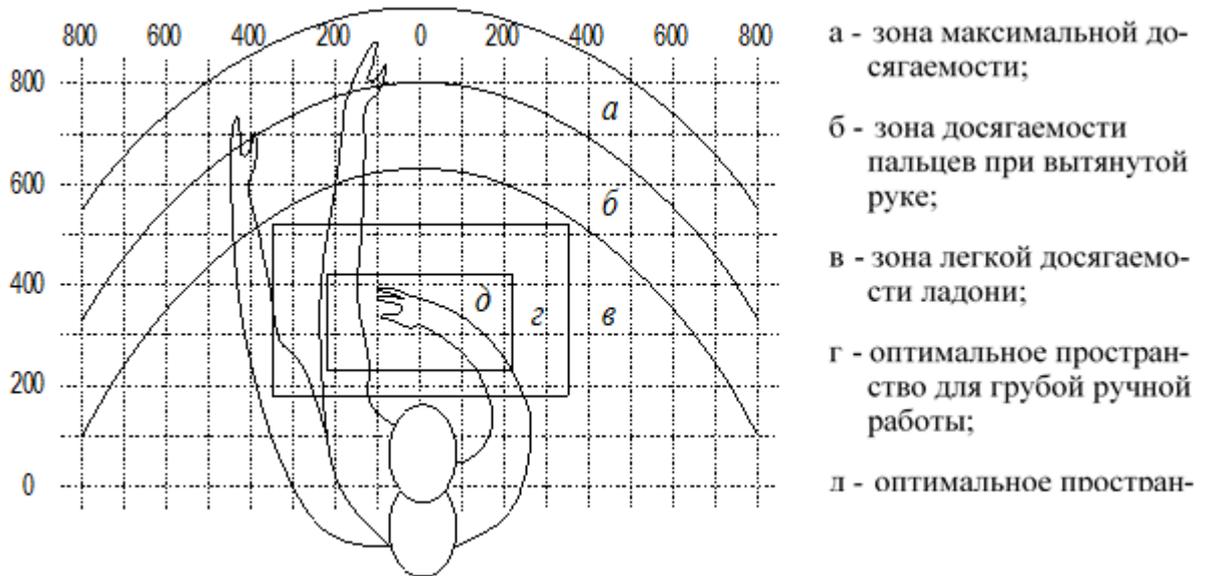


Рисунок 8.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

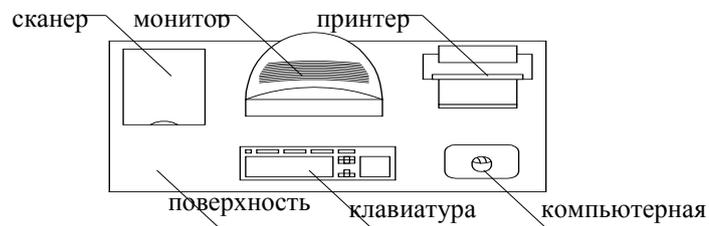


Рисунок 8.2 – Размещение основных и периферийных составляющих ПК

Для комфортной работы эргономика рабочего пространства должна удовлетворять следующим требованиям [10].

На рабочем месте оборудованы рабочие столы, которые соответствуют рисунку 8.2.

8.2 Производственная безопасность

Ниже приведем перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды в виде таблицы 8.1.

Таблица 8.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программно-алгоритмического комплекса планирования производственных процессов.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Разработка комплекса управления:</p> <p>1) Разработка системы управления в учебной аудитории;</p> <p>2) Проверка работы симулятора в учебных целях в учебной аудитории;</p> <p>3) Эксплуатация симулятора в учебной аудитории.</p>	<p>1) Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света;</p> <p>2) Повышенный уровень шума;</p> <p>3) Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>4) Повышенная или пониженная влажность воздуха;</p> <p>5) Статические перегрузки;</p> <p>6) Умственные перегрузки, перегрузки анализаторов.</p>	<p>1) Электрический ток;</p> <p>2) Короткое замыкание.</p> <p>3) Статическое электричество</p> <p>4) Повышенная напряжённость электрического поля;</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p> <p>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</p> <p>СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.</p> <p>ГОСТ Р 50377-92 (МЭК 950-86) Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое конторское оборудование.</p>

8.2.1 Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света;

Рабочее место находится на цокольном этаже здания. Естественное освещение в аудитории отсутствует. Освещение в аудитории производится посредством общего искусственного освещения.

В процессе разработки комплекса управления, разработчик все время работы пользуется ПК. При этом согласно [11] освещение не создает бликов на поверхности экрана ПЭВМ, а освещенность экрана не более 300 лк. Кроме того, работа за ПЭВМ относится к категории зрительных работ к разряду Б зрительных работ (восприятие информации) [12].

В помещении, которое предназначено для эксплуатации ПЭВМ, искусственное освещение осуществляется путем системы общего освещения. Освещение не создает бликов и ограничивает прямую блёскость от источников освещения на поверхности экрана ПЭВМ [13].

8.2.2 Повышенный уровень шума

Звуковые колебания, издаваемые движущимися частями механизмов и приборов, могут воздействовать на здоровье человека. Громкие звуки, могут стать причиной проблем со слухом, а длительное воздействие шума более 80 дБ может стать причиной его потери или ухудшения. Чувствительность к монотонным звукам является индивидуальным показателем. Но постоянно повторяющиеся шумы на рабочем месте провоцируют проблемы, связанные с нервной системой и органами слуха.

В данной работе основным источником шума является системный блок ПЭВМ, внутри которого работает система охлаждения, состоящая из вентиляторов, воспроизводящих непрерывный шелест или гудение.

Уровень звука, при этом не превышает 50дБ [14]. Постоянный уровень шума влияет на работоспособность и сосредоточенность человека. рабочее место соответствует нормам [9] и является помещением с минимальным уровнем шума при программировании и разработке программного обеспечения планирования

производственных процессов. Кроме того, каждый академический час в работе делается перерыв, который позволяет отключить компьютер и/или выйти из помещения для разгрузки нервной системы и органов слуха.

8.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В повседневной жизни для людей не заметно воздействия электромагнитных излучений. Мощность источника излучения должна быть достаточно большой, чтобы это отражалось на здоровье и самочувствие организма.

Основные излучающие электромагнитное поле части ПЭВМ – это системный блок, в котором находится процессор, и экран монитора [15].

На рабочем месте установлены ПЭВМ, оснащённые жидкокристаллическим монитором. Они излучают электромагнитные волны, которые не причиняют человеку вреда, даже при длительной работе [15].

8.2.4 Повышенная напряжённость электрического поля

Работа ПЭВМ, кроме электромагнитных излучений сопровождается электростатическим полем, которое может деионизировать окружающую воздушную оболочку. Для обеспечения безопасности рабочего персонала и оборудования необходимо проводить ионизацию воздуха, путём установки ионизаторов или обеспечения проветривания помещения.

8.2.5 Повышенная или пониженная влажность воздуха

Давление, температура и влажность воздуха влияют на здоровье работников, следовательно, они влияют на общее самочувствие, работоспособность и выполнение поставленных задач.

Рабочее место из-за своего расположения может быть слишком влажным. Поэтому в стенах аудитории установлена механическая вентиляция, оснащённая вентилятором и отводящая воздух из помещения. Это обеспечивает проветриваемость помещения и как следствие убирает лишнюю влагу. Кроме

того, аудитория подключена к системе центрального городского отопления. Это помогает регулировать температуру в период зимних месяцев.

Оптимальные значения микроклимата производственных помещений согласно [16] приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Тёплый	1б (140–174)	плюс 21–23	плюс 20–24	60–40	0,1
Холодный	1б (140–174)	плюс 22–24	плюс 21–25	60–40	0,1

8.2.6 Статические перегрузки

8.2.6.1 Умственные перегрузки, перегрузки анализаторов

В современном мире, почти каждая работа, так или иначе, связана с работой за компьютером. Разработчикам программ, инженерам и всем, кто учится, приходится проводить за ПЭВМ многие часы. При этом пользователь вынужден принимать одну и ту же позу в течение длительного времени, тем самым создавая в работе мышечного корсета статические перегрузки. Неудобная поза, нахождение центра тяжести в одном месте, постоянный наклон вперед вызывают боли в шее и спине.

Работа с ПЭВМ подразумевает обработку большого количества информации. Анализ данных, инженерные исследования, расчеты и разработка программных продуктов требуют высокой концентрации внимания. При работе с визуальной информацией напрягаются глаза, которые являются зрительными анализаторами человека. Расстояние расположения предмета постоянного визуального контроля не меняется в процессе работы, из-за этого устают глазные мышцы, из-за этого снижается острота зрения. При длительных контактах с дисплеем, постоянного наблюдения схожей по структуре зрительной информации, человек начинает испытывать стресс.

Согласно [17], разработка программно-алгоритмического комплекса относится к группе В, I категории (до двух часов) – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении разных групп работ в течение смены за основную принимают такую, которая занимает не менее 50% времени рабочего дня. Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья пользователей на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированный перерыв, при восьмичасовом рабочем дне 30 минут. Продолжительность непрерывной работы с ПК не должна превышать 2 часов. Для I категории работ – через два часа от начала работы и через 1,5 – 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый [17].

Во время регламентированных перерывов с целью сохранения высокой работоспособности выполняется комплекс упражнений [17]. С целью уменьшения отрицательного влияния монотонности целесообразно чередование операций осмысленного текста и числовых данных, чередование редактирования текстов и ввода данных (изменение содержания работы).

Работа над разработкой программно-алгоритмического комплекса требует сосредоточенности и частого переключения между использованием нескольких программ одновременно. Поэтому для того чтобы зрительные анализаторы работали на нужном уровне каждый академический час проводится перерыв в 5–10 минут, а в каждый второй академический час перерыв в 20 минут. Во время перерыва есть возможность выйти из аудитории и выключить на время ПЭВМ [17].

8.2.7 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Согласно [18] помещение, в котором находится рабочее место, относится к категории помещений без повышенной опасности. Его можно

охарактеризовать, как сухое, непыльное, с токонепроводящими полами и нормальной температурой воздуха. Температурный режим, влажность воздуха, химическая среда не способствуют разрушению изоляции электрооборудования.

Защита от электрического тока на рабочем месте производится с помощью изоляции токопроводящих частей (все провода изолированы). Электрические устройства, в частности процессор от ПЭВМ расположен в защитном коробе.

Короткое замыкание – это соединение двух точек с разным потенциалом с последующим увеличением тока и выделением большого количества тепла. Вследствие чего короткое замыкание может стать причиной пожара в помещении, при коротком замыкании от электрического тока могут пострадать люди, находящиеся в непосредственной близости от источника возникновения.

На рабочем месте короткое замыкание может быть вызвано либо неисправностью в проводке, либо при работе с компьютером, когда внутри корпуса создается разность фаз и ток может так же повредить всю электросеть [19].

Для защиты электрической сети от короткого замыкания предусмотрены устройства защитного отключения (УЗО), оснащенные устройствами автоматического отключения – автоматами и предохранителями. Кроме того, в помещении установлены датчики дыма, которые при возникновении возгорания, вызванного коротким замыканием, оповещают все здание о начавшемся пожаре. Таким образом, рабочее место полностью защищено от возможного короткого замыкания.

8.2.8 Статическое электричество

В рабочем пространстве находится много устройств, которые работают от электрического тока и сделаны из материалов, которые, так или иначе, накапливают на себе статически заряд. Может возникнуть разность потенциалов от статического электричества, и прикосновение человека к заряду может вызвать травмы, ожоги или пожар [20].

8.3 Экологическая безопасность

8.3.1 Воздействие на литосферу

При выходе из строя, а также устаревании компонентов, ПЭВМ начинает представлять собой источник второсортного сырья. Каждый ПЭВМ содержит цветные металлы и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву.

Люминесцентные лампы при перегорании становятся источником загрязнения. Лампы содержат внутри себя ртуть, которая загрязняет окружающую среду. Кроме того, их корпус состоит преимущественно из стеклянной трубки, которая при неосторожном обращении может разбиться на мелкие осколки.

Документы, перенесенные на бумагу, становятся источником бумажных отходов. Такие отходы медленнее разлагаются из-за предварительной обработки бумаги, а также содержат на себе следы краски, которая попадая в почву ее загрязняет.

Юридические лица имеют право утилизировать оргтехнику только при прохождении процедуры полного списания, подтвержденного актом [19].

Томский политехнический университет является юридическим лицом, поэтому перегоревшие люминесцентные лампы собираются техническим персоналом, а затем передаются в центр по переработке таких ламп, у которого имеется лицензия на право сбора и переработки люминесцентных ламп [19]. Для макулатуры существуют специально установленные контейнеры, в которые помещаются отработавшие печатные издания, офисная бумага и другие изделия из переработанной целлюлозы. Они отвозятся в пункты по сбору макулатуры, где утилизируются.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.4.1 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Возникновение пожара в помещении аудитории может привести к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объеме.

Согласно нормам технологического проектирования [21], данное помещение относится к категории В [9], производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, произвести эвакуацию и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания. Покидать помещение необходимо согласно плану эвакуации.

Пожар будет являться чрезвычайной ситуацией для людей, находящихся в помещении. При возникновении пожара сработают датчики дыма, которые подадут сигнал общего оповещения всего здания.

Выводы к главе социальная ответственность

В ходе исследования по социальной ответственности было выявлено три источника вредных и опасных факторов: разработка системы планирования в учебной аудитории; проверка работы системы на модели производственного цикла.

Исходя из этого, были выделены и проанализированы вредные и опасные факторы. Для них были установлены средства, которые помогают защитить

человека, который находится в данном помещении, от выявленных вредных и опасных факторов.

Аналізу были подвергнуто влияние работы на рабочем месте на окружающую среду. Установлено, что после работы остаются бумажные отходы и перегоревшие люминесцентные лампы, которые при неправильной утилизации будут влиять на литосферу. Выявлено, что отходы утилизируются согласно ГОСТ.

Кроме того, исследовались правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Заключение

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы является прототип программно-алгоритмического комплекса планирования производственных процессов предприятия ПАО «Микрон».

В ходе данной работы были изучены основные методы планирования и оптимизации, спроектирована структура системы, разработана модель функционирования предприятия, разработаны и реализованы алгоритмы построения производственного расписания, реализован человеко-машинный интерфейс управления системой.

Данная разработка, эксплуатируя базовые алгоритмы оптимизации, позволит протестировать возможность автоматизированного планирования производства микроэлектроники. Покажет достоверность разработанных принципов планирования и математической модели, что послужит основой дальнейшего внедрения алгоритмов планирования и оптимизации более высокого уровня.

Список литературы и использованных источников

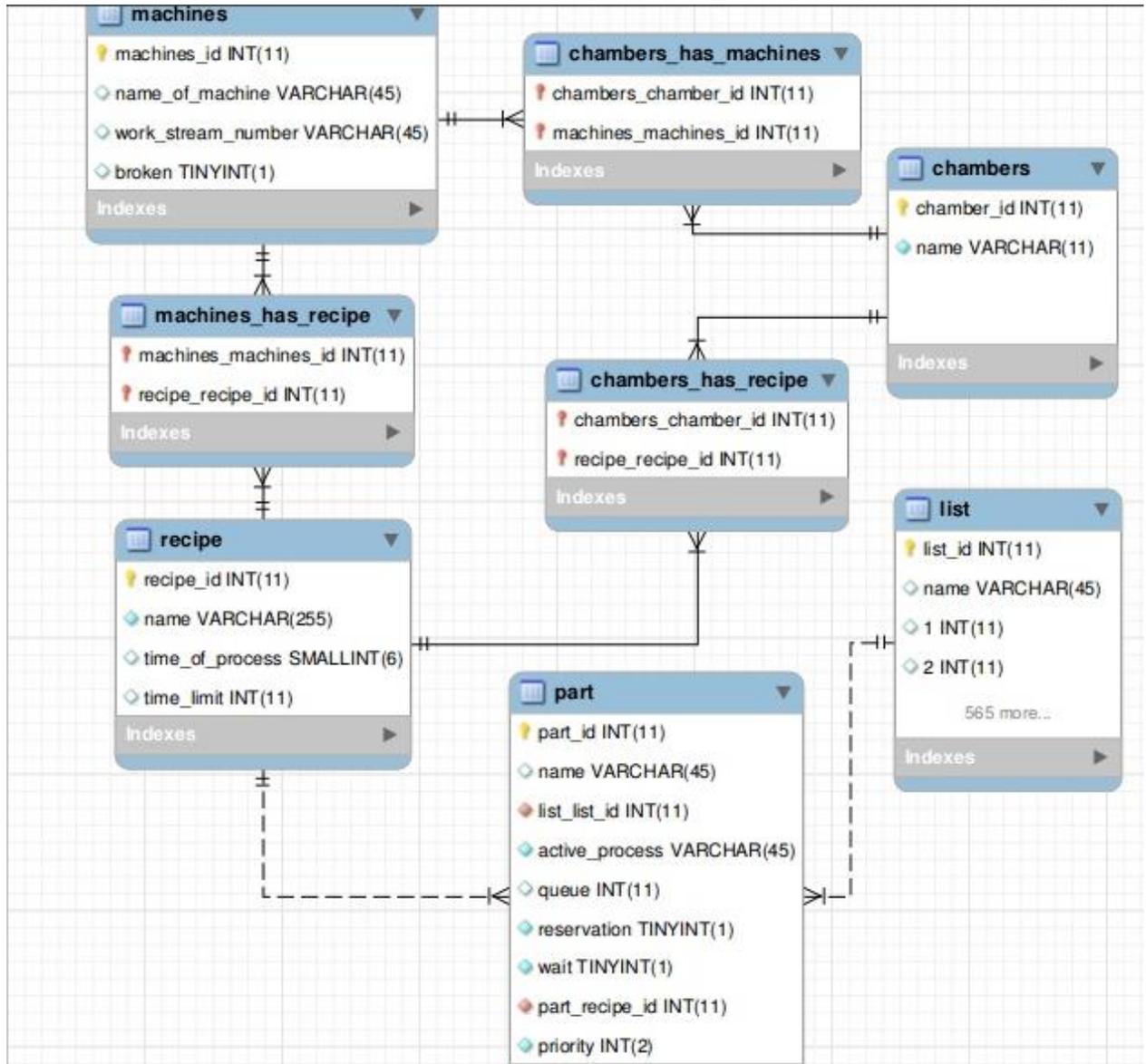
1. Кочегурова Е.А. Теория и методы оптимизации: учебное пособие / Е.А. Кочегурова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 157с.
2. Сухарев А.Г. Курс методов оптимизации: учебное пособие / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Фёдоров. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 368 с.
3. Симплексный метод решения задач линейного программирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/student/vysshaya-matematika/simpleksnyy-metod.html> – Заглавие с экрана – (Дата обращения 02.04.2019).
4. Ашманов С.А. Линейное программирование / С.А. Ашманов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 340 с.
5. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е изд. / Т.Х. Кормен и др. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2013. – 1328 с.
6. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1965. – 460 с.
7. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2001. – 912 с.
8. Анализ рынка APS систем в России от делового портала TAdviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/APS_-_Системы_синхронного_планирования_производств – Заглавие с экрана – (Дата обращения 10.04.2019).
9. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
10. Федеральный закон об отходах производства и потребления.
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
12. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
13. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

14. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
15. ГОСТ 30494—2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
16. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
17. ГОСТ Р 50377-92 (МЭК 950-86) Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое конторское оборудование.
18. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
19. ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
20. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
21. Технический регламент «о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс] / Единая справочная служба Консорциума «Кодекс». – URL: <http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русс. Дата обращения: 3.04.2018 г.

Приложение А

(дополнительное)

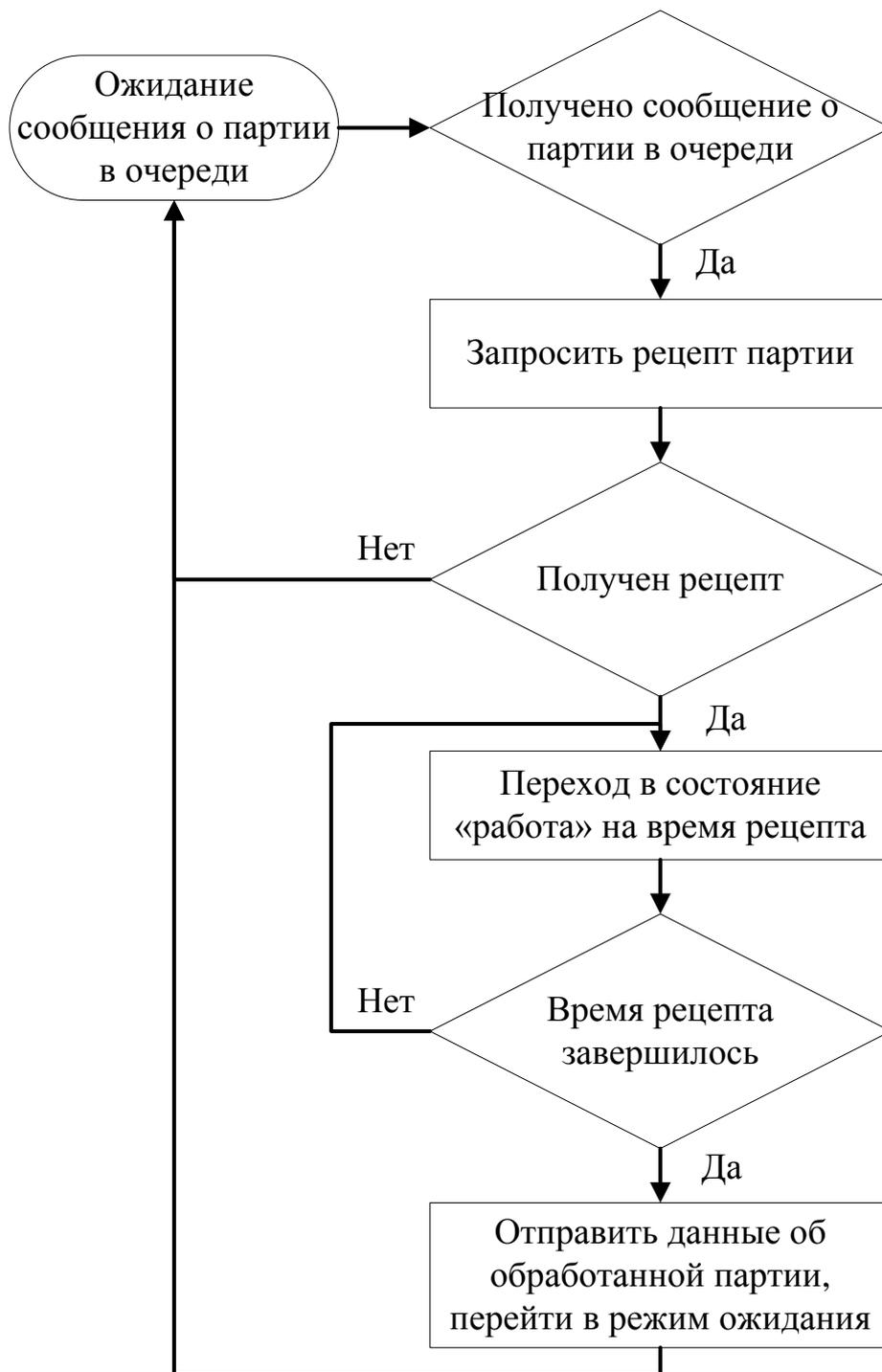
Структура БД и зависимостей данных



Приложение Б

(дополнительное)

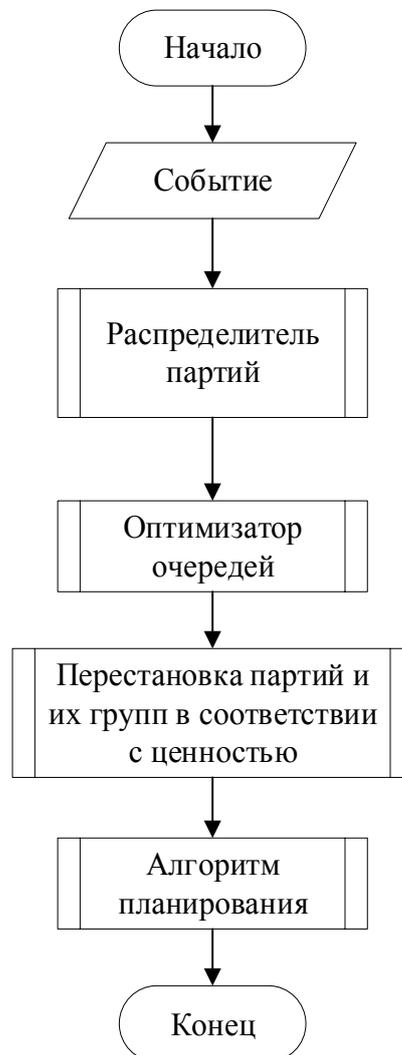
Блок-схема алгоритма работы модели установки



Приложение В

(обязательное)

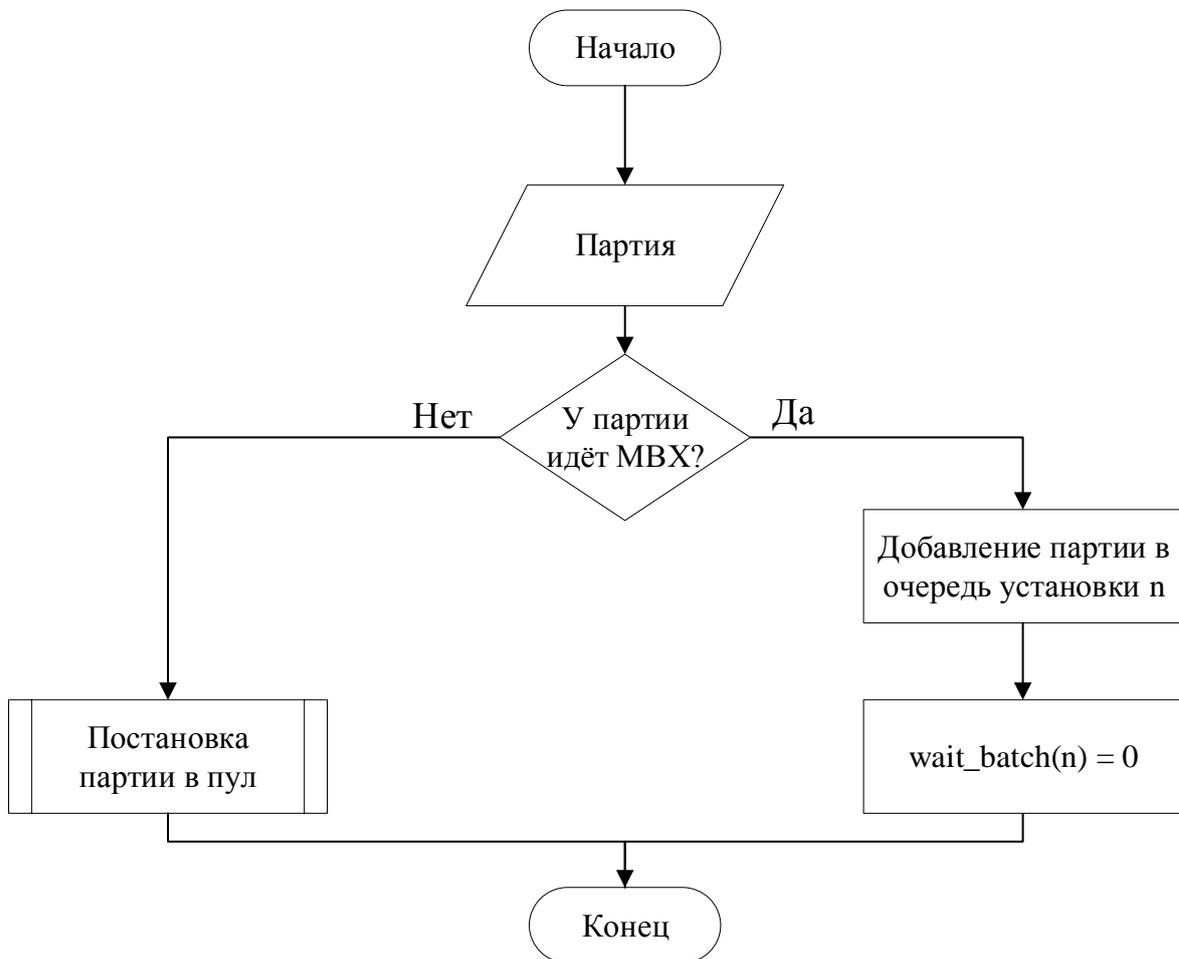
Блок-схема алгоритма глобальной функции планирования



Приложение Г

(обязательное)

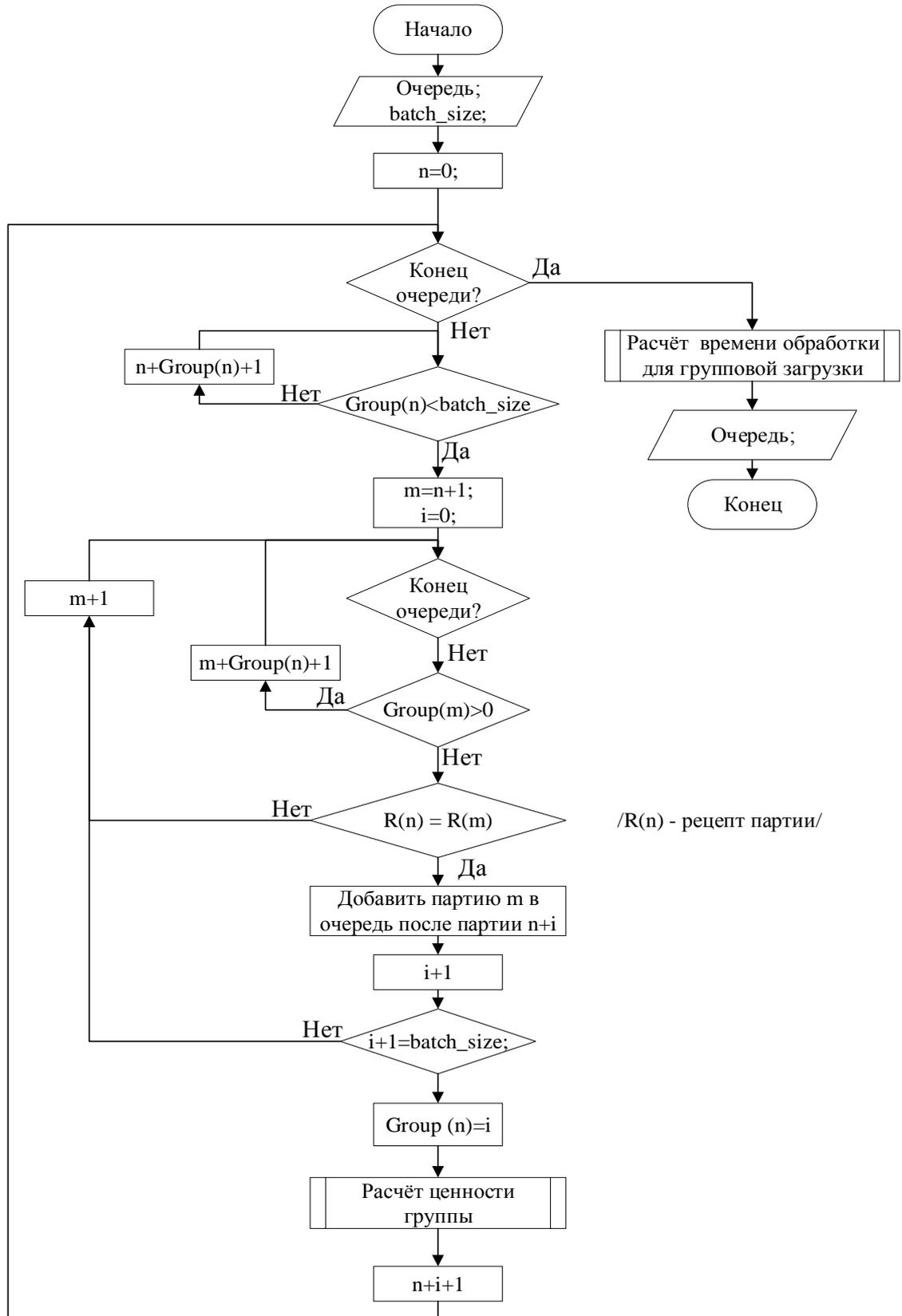
Блок-схема алгоритма функции распределения партий



Приложение Д

(обязательное)

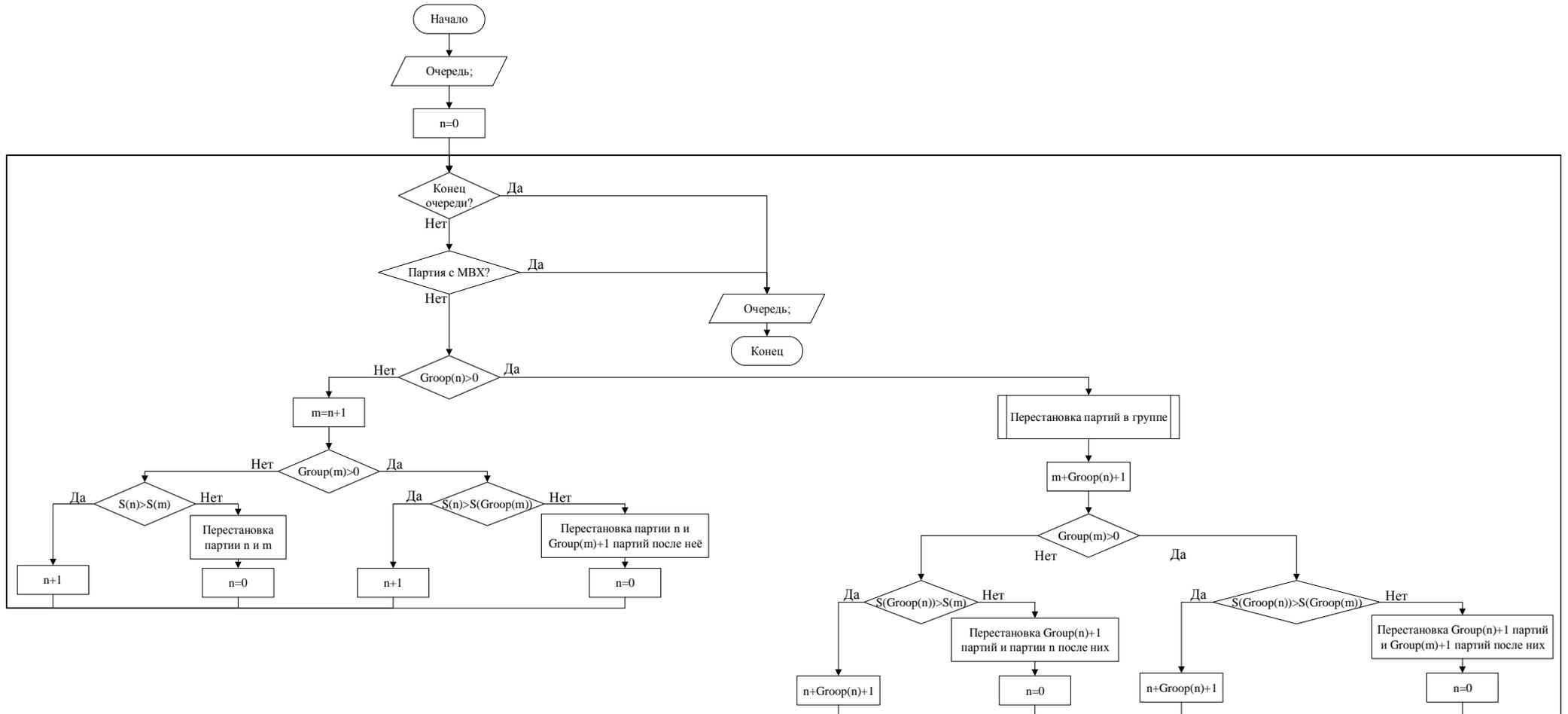
Блок-схема алгоритма функции оптимизации очередей



Приложение Е

(обязательное)

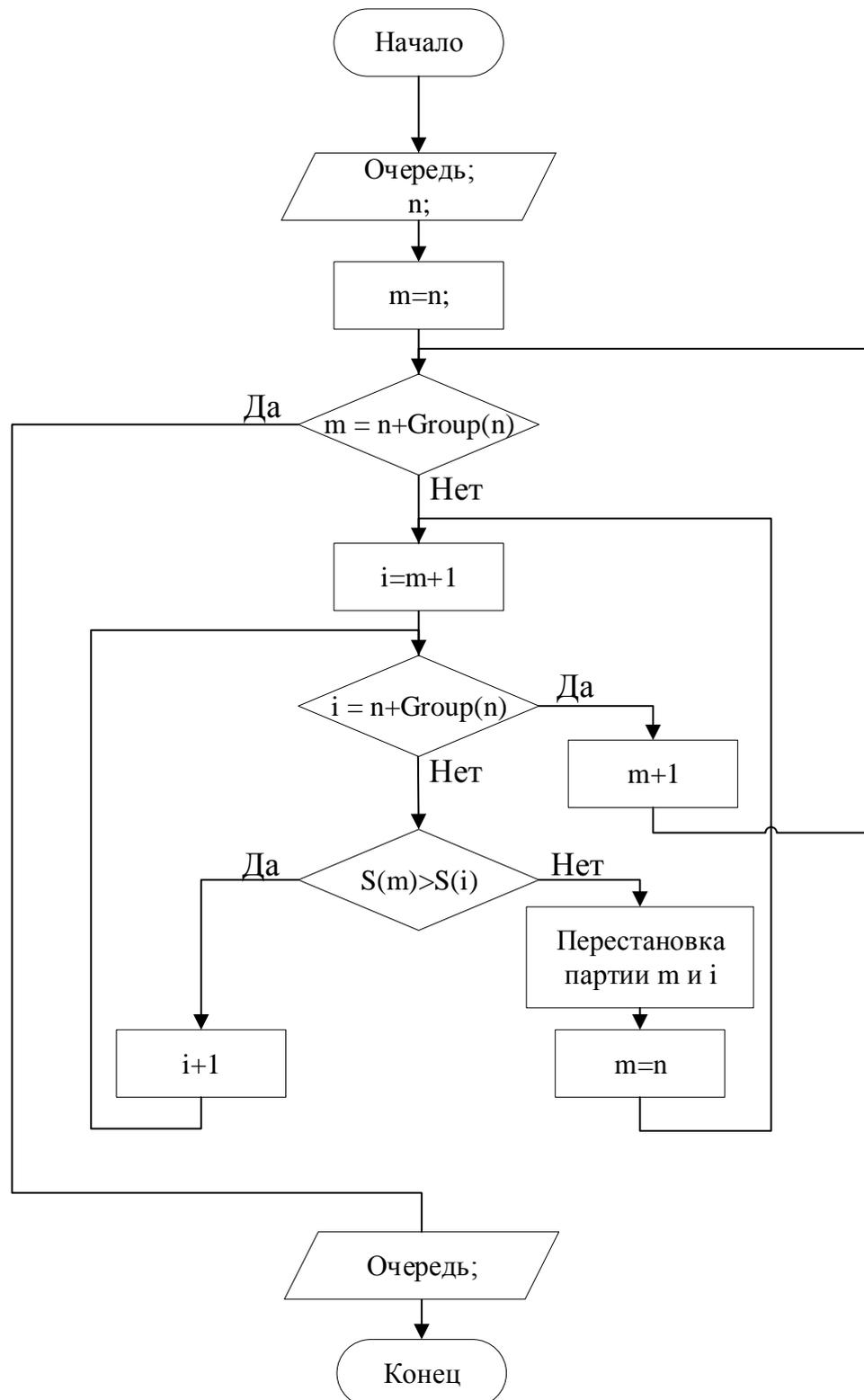
Блок-схема алгоритма функции перестановки партий и их групп



Приложение Ж

(обязательное)

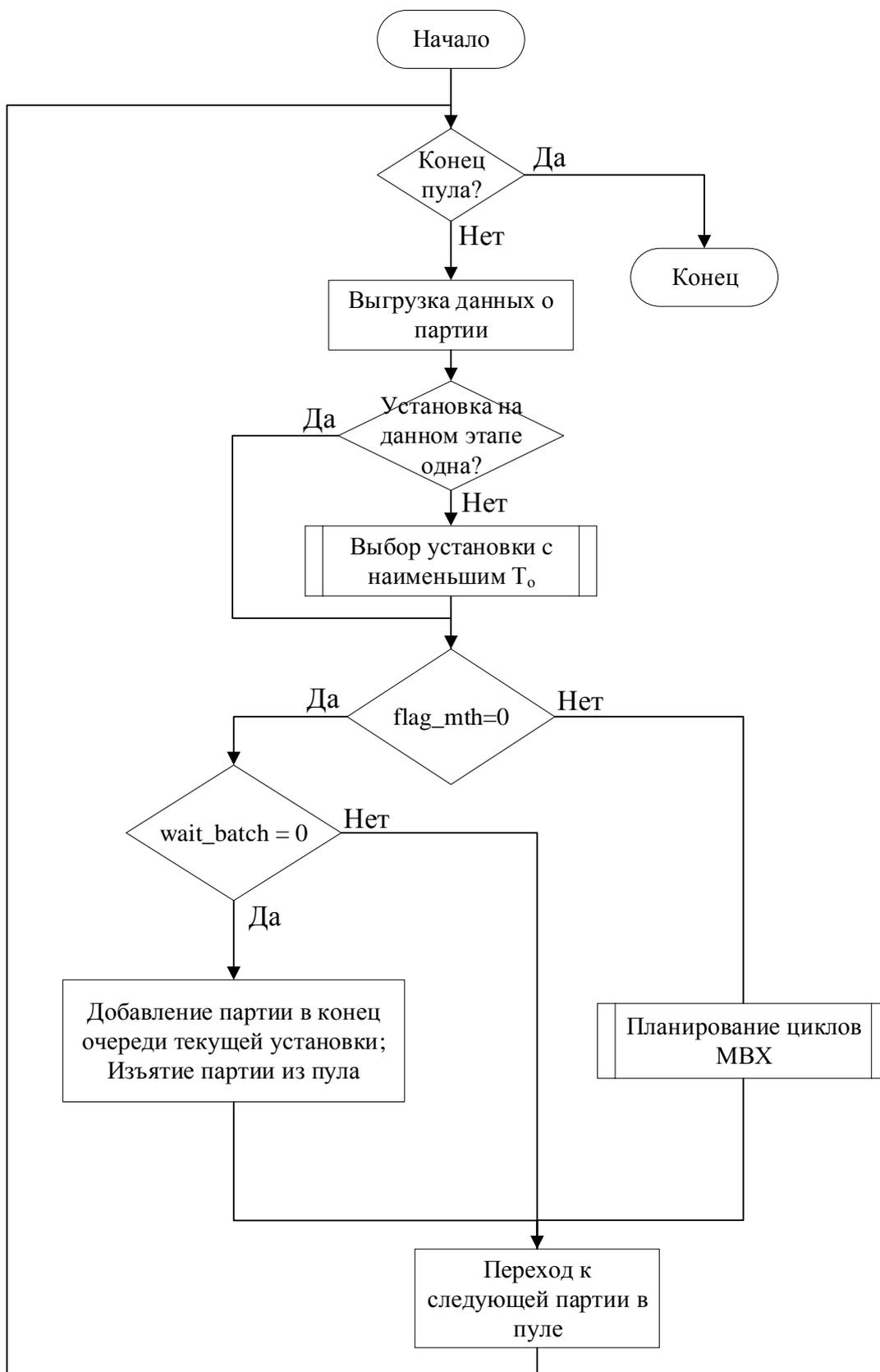
Блок-схема алгоритма перестановки партий в группе



Приложение 3

(обязательное)

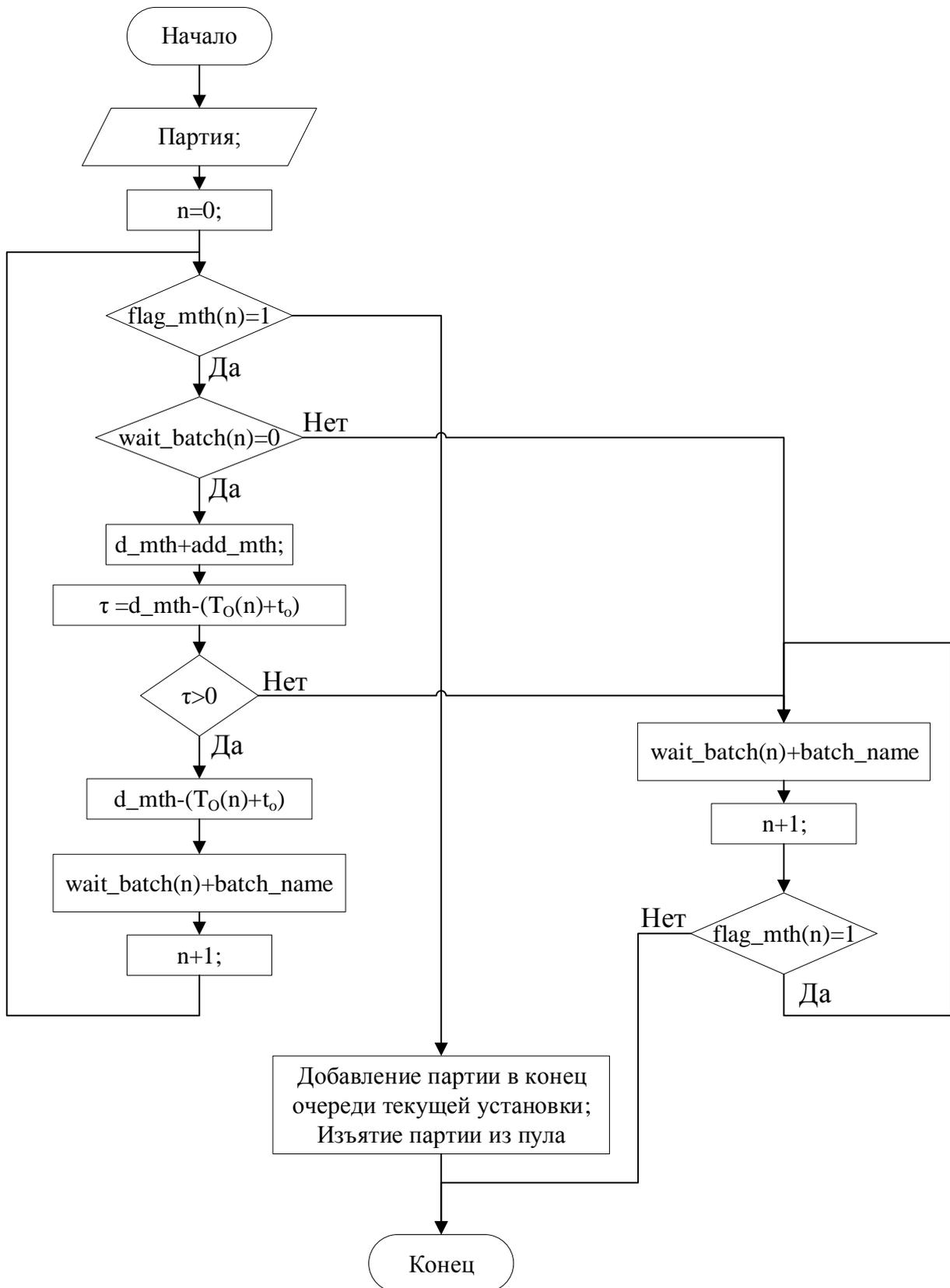
Блок-схема алгоритма планирования очередей



Приложение И

(обязательное)

Блок-схема алгоритма планирования циклов МВХ



Приложение К

(дополнительное)

Программный код реализации глобальной функции планирования

```
import time
from src.functions import functions
# Функция для сортировки пула по значению веса партии
def sort_by_value(part):
    return parts_set[part].value
# Функция глобальной оптимизации
@functions.conn_decorator
def global_optimize(cursor=None):
    # Для возможности изменения
    global parts_set
    global machine_set
    global heap
    # Смотрим все партии, ищем мвхшные
    for item in parts_set:
        parts_set[item].update_attr()
        needs_to_print = False
        # Удаляем партии с предыдущих установок
        try:
            if not parts_set[item].wait:
                machine_set[parts_set[item].current_entity].out_queue[0].remove(parts_set[item].
                part_id)
                if not len(machine_set[parts_set[item].current_entity].out_queue[0]):
                    machine_set[parts_set[item].current_entity].out_queue.remove([])
        except ValueError:
            needs_to_print = True
```

```

if needs_to_print:
    print("Партия id {0} {1} была удалена из очереди на установку {2} с id
{3}").format(
        parts_set[item].part_id,
        parts_set[item].name,
        machine_set[parts_set[item].current_entity].name,
        machine_set[parts_set[item].current_entity].machine_id
    ))

# Обновим все данные о партии
# Отделяем только те мвхшные партии, которых еще нет в очередях
if (parts_set[item].part_id not in
machine_set[parts_set[item].current_entity].in_queue) and
parts_set[item].time_limit:
    # Добавляем в очередь, если установка доступна для планирования
    if parts_set[item].queue is not None:
machine_set[parts_set[item].current_entity].in_queue.append(parts_set[item].part_
id)

    # Ставим флаг запрета планирования
    # machine_set[parts_set[item].current_entity].forbidden = True
    print('Добавлена в очередь ({5}) установки id:{0} "{1}" партия с id {2}
с рецептом {3} и МВХ {4}').format(
        machine_set[parts_set[item].current_entity].machine_id,
        machine_set[parts_set[item].current_entity].name,
        parts_set[item].part_id,
        parts_set[item].recipe_id,
        parts_set[item].time_limit,

```

```

machine_set[parts_set[item].current_entity].in_queue.index(parts_set[item].part_id
)
    ))
    elif (parts_set[item].queue is not None) and (not parts_set[item].time_limit)
and (parts_set[item].part_id not in heap):
        heap.append(parts_set[item].part_id)

# Находим ту установку, куда мы можем дальше пойти, у которой
наименьшая очередь
functions.setting_next_entity(machine_set, parts_set)
# Вычисляем ценность партии
functions.calculate_entity_queue_gain(machine_set, parts_set)
heap.sort(key=sort_by_value, reverse=True)
# Сначала ищем партии, у которых появится MBX, затем распихиваем
обычные
tmp_heap = heap.copy()
for item in heap:
    # print(item)
    print("Чееаем хип:", tmp_heap)
    needs_to_stop = False
    i = 0
    while not needs_to_stop:
        sql = "SELECT time_limit, machines_machines_id, recipe_id FROM
`production`.recipe r " \
            "INNER JOIN `production`.machines_has_recipe mhr ON r.recipe_id =
mhr.recipe_recipe_id " \
            "WHERE r.recipe_id = (SELECT `{0}` FROM `production`.list
WHERE list_id={1})".format(
            int(parts_set[item].act_process) + i,

```

```

        parts_set[item].list_id
    )
    cursor.execute(sql)
    res = cursor.fetchall()

    for next_mach in res:
        # print(next_mach, parts_set[item].part_id, needs_to_stop, i)
        if not next_mach['time_limit']:
            if i:
                machine_set[parts_set[item].current_entity].in_queue.append(item)
                tmp_heap.remove(item)
            else:
                for ent in res:
                    if not machine_set[ent['machines_machines_id']].forbidden:
machine_set[ent['machines_machines_id']].in_queue.append(item)
                        parts_set[item].current_entity = ent['machines_machines_id']
                        tmp_heap.remove(item)
                        break

                print("Выводим очередь на установку {0}, если партия куда-
нибудь
добавилась:".format(machine_set[parts_set[item].current_entity].machine_id),
machine_set[parts_set[item].current_entity].in_queue)
                    needs_to_stop = True
                    break
            else:
                min_time_queue = 999
                ent_id = -1
                for ent in res:
                    time_queue = 0

```

```

        for items_queue in
machine_set[ent['machines_machines_id']].in_queue:
            time_queue += parts_set[items_queue].time_of_process
        for items_queue in
machine_set[ent['machines_machines_id']].out_queue:
            for _part in items_queue:
                time_queue += parts_set[_part].time_of_process

        if (time_queue < min_time_queue) and (not
machine_set[ent['machines_machines_id']].forbidden):
            ent_id = ent['machines_machines_id']
            min_time_queue = time_queue
            # print(parts_set[item].part_id, min_time_queue, ent_id)
        if ent_id > 0:
            if not i:
                parts_set[item].current_entity = ent_id
            if ent_id != 11 and ent_id != 40 and ent_id != 41 and ent_id != 42:
                machine_set[ent_id].forbidden = True
            if (ent_id == 11 or ent_id == 40 or ent_id == 41 or ent_id == 42) \
                and (len(machine_set[ent_id].in_queue) > 12):
                machine_set[ent_id].forbidden = True
            print("Машина {0} с id {1} заблокирована для партии {2} с id
{3}").format(
                machine_set[ent_id].name,
                ent_id,
                parts_set[item].name,
                parts_set[item].part_id
            ))
        else:
            needs_to_stop = True

```

```
        i += 1
        break

    # print(res, parts_set[item].part_id, needs_to_stop, i)
heap = tmp_heap.copy()
functions.setting_next_entity(machine_set, parts_set)
functions.calculate_entity_queue_gain(machine_set, parts_set)
parts_set = functions.create_parts() # Вызываем функцию создания партий
machine_set = functions.create_machines() # Вызываем функцию создания
партий
heap = [] # Пул
while True:
    a = functions.allow_for_planing()
    if a:
        t1 = time.clock()
        global_optimize()
        functions.local_optimization(machine_set, parts_set)
        functions.send_queue_db(parts_set)
        functions.disable_for_planing()
        t2 = time.clock() - t1
print(t2)
```