

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи



Маркевич Агата Владимировна

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА РАБОТЫ
МАШИНИСТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА**

2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
Доктор технических наук, профессор
Сидоренко Валентина Геннадьевна

Москва – 2023

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 МЕСТО ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ В УПРАВЛЕНИИ.....	12
1.1.Анализ опыта внедрения средств автоматизации планирования перевозочного процесса на железных дорогах и метрополитене	12
1.2.Роль системы сбалансированных показателей в управлении современным предприятием и ее связь с автоматизацией технологических процессов на производстве.....	18
1.3.Анализ опыта внедрения автоматизированных информационно–управляющих систем на промышленном предприятии.....	23
1.4.Анализ современных систем управления распределением времени персонала.....	33
1.5.Выбор метода решения задач распределения трудовых ресурсов	39
1.6.Принцип автоматизированного решения задач построения ГР ММ	40
1.7.Постановка задачи исследований.....	43
Основные выводы и результаты по первой главе.....	47
2 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ И ФОРМИРОВАНИЕ ГРАФИКА РАБОТЫ МАШИНИСТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА	49
2.1.Повышение эффективности использования рабочего времени основных машинистов метрополитена.....	49
2.1.1. Постановка задачи.....	49
2.1.2. Выбор и обоснование метода решения задачи.....	65
2.2.Повышение эффективности использования рабочего времени подменных машинистов метрополитена.....	71
2.2.1. Постановка задачи.....	71
2.2.2. Выбор и обоснование метода решения задачи.....	73
Основные выводы и результаты по второй главе.....	80
3 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ПЕРСОНАЛА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СТАДИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ	81
3.1.Анализ процессов реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене	81

3.2. Планирование работы ПрК при реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене	83
3.2.1. Постановка задачи	83
3.2.2. Выбор и обоснование метода решения задачи	93
3.3. Планирование работы ПрК при реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления	97
3.4. Построение ГР ПрК при реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене	104
Основные выводы и результаты по третьей главе	110
4 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ МАШИНИСТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА	111
4.1. Структура и функции ИСП ГР ММ	111
4.2. Анализ результатов построения ГР основных ММ с использованием разработанной ИСПГРММ	115
4.2.1. Использование направленного перебора элементов множества основных ММ в алгоритме распределения их по графику РС	115
4.2.2. Построение ГР основных ММ с использованием разработанной ИСПГРММ	118
4.2.3. Сравнение решений, полученных с использованием ИСПГРММ, и реальных ГР основных ММ	124
4.3. Анализ результатов построения ГР подменных ММ с использованием ИСПГРММ	132
4.4. Анализ результатов построения ГР ММ с использованием ИСП ГР ММ для МЦК	141
Основные выводы и результаты по четвертой главе	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	148
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	150
Приложение 1	172
Приложение 2	173
Приложение 3	176
Приложение 4	179
Приложение 5	182

Приложение 6	191
Приложение 7	192
Приложение 8	204
Приложение 9	206
Приложение 10	208
Приложение 11	210
Приложение 12	212
Приложение 13	214

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Метрополитен – один из основных видов общественного транспорта, эксплуатируемый по всему миру. Московский метрополитен входит в десятку крупнейших по годовому пассажиропотоку метрополитенов (2560 млн чел.) наряду с Пекинским (3848 млн чел.), Токийским (3617 млн чел.) и Шанхайским (3401 млн чел.), а также является первым по интенсивности использования вне Азии. В Москве в течение 2023-2028 гг. планируется открытие до пятидесяти новых станций метро без учета станций Московских Центральных Диаметров.

При изменении парности движения поездов большая нагрузка ложится на подразделения, занимающиеся планированием и управлением движением электроподвижного состава (ЭПС), задача которых оперативно формировать или корректировать плановый график движения (ПГД) поездов. Отдельной задачей является формирование графика рабочих смен (РС), возможностей подмен и различных трудовых мероприятий для персонала, задействованного в эксплуатации метрополитена. График работы (ГР) машинистов метрополитена (ММ) строится на основании ПГД и графика оборота (ГО) ЭПС, учитывает численность сотрудников и их допустимую плановую загрузку. В реалиях Московского метрополитена построение ГР ММ производится для каждого депо отдельно. Выполняют эту работу инженеры, специализирующиеся в эксплуатации линии, обменивающиеся опытом и экспертными знаниями внутри трудового коллектива. Качество итогового результата связано с влиянием человеческого фактора. На текущий момент технологический процесс нельзя считать полностью унифицированным в рамках столичного метрополитена и можно говорить о потенциале его совершенствования.

Условия труда могут различаться для сотрудников, задействованных в движении ЭПС разных линий. Интерес представляет комплексная

автоматизация планирования работы метрополитена и, в частности, автоматизация планирования работы машинистов метрополитена.

Существует ряд программ и методов, решающих задачу построения расписания при заданных начальных условиях. Каждый из них обладает преимуществами и недостатками, связанными в основном с ограниченной гибкостью ввода исходных значений и принципов расчета. Часть из них позволяет вести учет различных режимов труда, квалификации сотрудников разной специализации, перерывов в работе на отпуска и больничные.

При использовании существующих инструментов, особенно зарубежных, повышается риск несоблюдения локальных нормативных требований к работе сотрудников, связанный в том числе с техническими ограничениями программ. Под риском в работе понимается сочетание вероятности и последствий для проекта наступления неблагоприятных событий. Расширение стандартного функционала в рамках гибких решений, настраиваемых индивидуально в процессе внедрения, может быть сопряжено со значительными финансовыми затратами. Таким образом, разработка интеллектуальной системы построения ГР ММ (ИСП ГР ММ), отличительной чертой которой является организация посменной работы в условиях, отнесенных к вредным условиям труда, связь с другими элементами интеллектуальной системы управления метрополитеном (ИСУМ), с ПГД и ГО ЭПС, является актуальной задачей на текущий момент и определяет своевременность проводимых исследований.

Степень разработанности. Задаче планирования и управления движением поездов метрополитена посвящено множество работ, в том числе российских авторов, таких как Балакина Е.П., Баранов Л.А., Бестемьянов П.Ф., Ерофеев Е.В., Ершов А.В., Козлов В.П., Логинова Л.Н., Сафронов А.И., Сидоренко В.Г., Касьянов В.Н., Филиппченко К.М. Среди зарубежных авторов можно выделить Белмана Р.Э., Дюбуа С., Чжан В., Чжо М.А. В своих работах авторы приводят анализ теоретических представлений и практических

результатов использования математического аппарата: эвристических алгоритмов, графовых моделей, комбинаторной оптимизации и т.д.

Вопрос автоматизации ГР ММ не так широко освещен. Вопрос автоматизации ГР локомотивных бригад исследовали Бархатный В.Д., Бывшев С.А, Ладыгина В.И., Пазойский Ю.О., Шибаетов Е.С. и др.

Объектом исследования в данной работе является разработка ГР ММ, а также создание и внедрение элементов интеллектуальных транспортных систем, для чего привлекаются проектные команды (ПрК), деятельность которых также необходимо планировать.

Предметом исследования выступает принцип интеллектуального управления рабочим временем ММ и сопутствующего персонала при учете реальных условий российских предприятий и различных режимов работы.

Целью работы является создание интеллектуальной системы для автоматизации построения рационального графика работы машинистов на основе накопленных данных с учетом требований нормативных документов.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния вопроса, классификация задач планирования перевозочного процесса метрополитена и управления рабочим временем персонала в различных отраслях экономики, методов их решения и автоматизации.

2. Создание процедур построения графика посменной работы и определения числа основных и подменных ММ и их автоматизация, а именно:

- распределение рабочих смен согласно ПГД;
- формирование ГР основных и подменных ММ, исходя из РС и требований к организации работы согласно нормативным актам.

3. Создание автоматизированной процедуры построения ГР ПрК и определения их состава при реализации элементов ИСУМ. Проведение имитационных экспериментов с целью анализа качества функционирования

разработанного ИО, МО и ПО построения ГР привлеченных для реализации элементов ИСУМ ПрК.

4. Создание информационного, математического и программного обеспечения (ИО, МО и ПО) ИСП ГР ММ для метрополитена, а также ГР ПрК при реализации элементов ИСУМ;

5. Проведение имитационных экспериментов с целью анализа качества функционирования разработанного ИО, МО и ПО ИСП ГР ММ.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Разработан принцип автоматизированного построения ГР основных и подменных ММ, позволяющая включить решение этой задачи в жизненный цикл автоматизированного планирования движения поездов и сформулировать задачи автоматизированного построения ГР ММ, отличающиеся от известных учетом требований к условиям работы сотрудников согласно локальным нормативным актам с помощью настраиваемых параметров ИСП ГР ММ.

2. Созданы рекурсивный и эвристический алгоритмы назначения основных ММ на РС и организации работы подменных ММ, которые позволяют повысить равномерность занятости ММ по сравнению с неавтоматизированным построением ГР.

3. Разработан принцип автоматизированного построения ГР ПрК при реализации элементов ИСУМ, отличающаяся от известных учетом особенностей их работы, а именно:

- последовательности выполнения задач;
- квалификации трудовых ресурсов и связанной с ней стоимости работ;
- одновременного выполнения задач несколькими участниками ПрК;
- выполнения нескольких задач одним участником ПрК;
- особенностями организации командной работы.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования:

1. Применение выбранных на основе выполненного анализа методов автоматизированного решения задач построения ГР ММ, реализованных в рамках ИСП ГР ММ, позволяет ускорить решение задачи повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов.

2. Синтезированные процедуры автоматизированного построения графика посменной работы и определения числа основных и подменных ММ, реализованные в рамках ИСП ГР ММ, ускоряют сходимость решения по сравнению с методом полного перебора, учитывают локальные нормативные акты работы сотрудников метрополитена.

3. Синтезированные процедуры автоматизированного построения ГР ПрК, задействованных в создании элементов ИСУМ, в частности ИСП ГР ММ, повышают точность решения по сравнению с аналогами, а именно учитывают специфические особенности командной работы в отрасли информационных технологий, выявленные автором работы в ходе исследования.

4. Разработанное МО, ИО и ПО ИСП ГР ММ может стать составной частью ИСУМ для решения задач построения ГР ММ и решению других задач, связанных с управлением и повышением эффективности использования рабочего времени персонала. Заложенная в основу ИСП ГР ММ возможность ее адаптации к решению различных задач планирования загрузки персонала позволяет выполнить решение задач построения расписаний для сотрудников, работающих посменно и занятых проектной деятельностью по созданию элементов ИСУМ.

5. Сходимость результатов имитационных экспериментов и данных реальных ГР сотрудников для нескольких линий Московского метрополитена обеспечивает успешное функционирование ПО для различных линий метрополитена. Открытая архитектура ИСП ГР ММ позволяет оперативно расширять число используемых параметров входных данных для применения ПО на разных линиях метрополитена с учетом локальных особенностей планирования их работы, в том числе для Московского центрального кольца

(МЦК). Разработанная методика может быть применена к решению различных задач управления рабочим временем персонала в будущих исследованиях.

Методология и методы исследования. Результаты диссертационной работы получены на основе использования теории управления, теории расписаний, теории графов, рекурсивных алгоритмов, генетических алгоритмов и методов имитационного моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Классификация задач управления рабочим временем персонала, современных методов и средств их решения.
2. Принцип распределения ГО ЭПС на РС с последующим распределением основных ММ по РС.
3. Принцип планирования рабочего времени подменных ММ, исходя из возможностей проведения обеденных перерывов (ОП) основных ММ.
4. Описание фитнес-функции, хромосомы, кроссинговера, мутаций, используемых при организации работы генетического алгоритма для решения задачи построения ГР ПрК.
5. Процедуры автоматического построения ГР и состава ПрК.
6. Результаты имитационных экспериментов, выполненных с целью анализа качества функционирования разработанного математического и ПО.

Достоверность результатов исследований опирается на результаты проверки адекватности использованных моделей и обусловлена корректностью постановок задач, обоснованностью принятых допущений, высоким качеством работы математических моделей на основе данных, полученных от подразделений ГУП «Московский метрополитен», и совпадением результатов работы моделей с аналогичными результатами, полученными высококвалифицированными сотрудниками соответствующих подразделений ГУП «Московский метрополитен» без использования средств автоматизации.

Апробация результатов исследования. Основные идеи, положения и результаты, раскрытые в диссертации, докладывались и получили

положительную оценку на следующих международных и российских научных конференциях:

- Студенческая научно-практическая конференция «Неделя науки-2017», г. Москва, 2017 г.;
- Международная научно-практическая конференция «Научные достижения современной науки: новация, история, действительность, перспективы и практика реализации», г. Санкт-Петербург, 2017 г.;
- Студенческая научно-практическая конференция «Неделя науки-2018», г. Москва, 2018 г.;
- Студенческая научно-практическая конференция «Неделя науки-2019», г. Москва, 2019 г.;
- Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем», г. Москва, 2019 г.;
- IX Международная практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте», г. Гомель, 2019 г.;
- Международная научная конференция *IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, г. Батуми, 2019 г.;
- Международная научная конференция *IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, г. Батуми, 2021 г.;
- II Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные транспортные системы», г. Москва, 2023 г.;
- II Международной научно-практической конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: загляни за горизонт», г. Москва, 2023 г.

Структура и объем диссертации. Работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список используемой литературы, содержащий 174 наименований, 13 приложений, 54 рисунка и 23 таблицы. Общий объем рукописи – 171 страница без приложений.

1 МЕСТО ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ В УПРАВЛЕНИИ

1.1. Анализ опыта внедрения средств автоматизации планирования перевозочного процесса на железных дорогах и метрополитене

Вопросы планирования в различных коллективах на метрополитене и в промышленности, в том числе построение ПГД и ГР ММ, как правило, связаны с автоматизацией управления движения поездов. Системы планирования – составная часть интегрированных систем управления меторополитенов.

Работы по созданию интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене и железнодорожном транспорте можно разделить на работы планирования и автоматизации управления движением поездов.

К этим работам относятся исследования, проведенные АО «НИИАС», одним из масштабных проектов которых является создание Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ). В этой российской разработке предусмотрено использование методов искусственного интеллекта, а функционал ИСУЖТ охватывает широкий перечень процессов, относящихся к производственной деятельности ОАО «РЖД». Исследования описаны в работах [1, 2].

Задачи цифровизации российского метрополитена, в том числе формирование графиков движения ЭПС, построение автоматизированной системы безопасности пассажиров, создание цифровых двойников с виртуальной и дополненной реальностью и тренажеров реализует ряд компаний, в том числе ООО «Метроком» и «ТоксСофт» [3, 4].

Современные системы управления перевозочным процессом метрополитенов включают в себя разнообразное программное обеспечение, базы и банки данных, технические средства [5-7]. Автоматизированное

управление технологическими процессами, связанными с планированием и управлением движением поездов метрополитена, реализуется в рамках ИСУМ, которая в свою очередь может являться частью интеллектуальной системы управления городскими рельсовыми транспортными системами (ИСУ ГРТС) [8]. ИСУМ имеет несколько функциональных уровней, каждый из которых включает в себя автоматизированные системы, в разработке которых на кафедре «Управление и защита информации» РУТ (МИИТ) накоплен значительный опыт [8-15].

Пример взаимодействия систем в рамках ИСУ ГР ТС приведен на Рисунке 1.1 [8]. Применительно к ИСУМ блок, связанный с прогнозированием, планированием и анализом работы машинистов, на ряду с блоками, отвечающими за работу операторов и диспетчеров ГРТС, в рамках автоматизации процесса управления кадрами и их профессиональной подготовкой решают следующие задачи:

- обучение машинистов, оценка качества подготовки машинистов и их квалификации [16,17];
- оценка качества управления объектами транспортных средств метрополитена и выполнения работ [18];
- обеспечение безопасности управления объектами транспортных средств метрополитена с помощью анализа и прогнозирования нарушений при управлении подвижным составом [19];
- создание ГР машинистов. В ИСУМ функция реализуется с помощью ИСП ГР ММ.

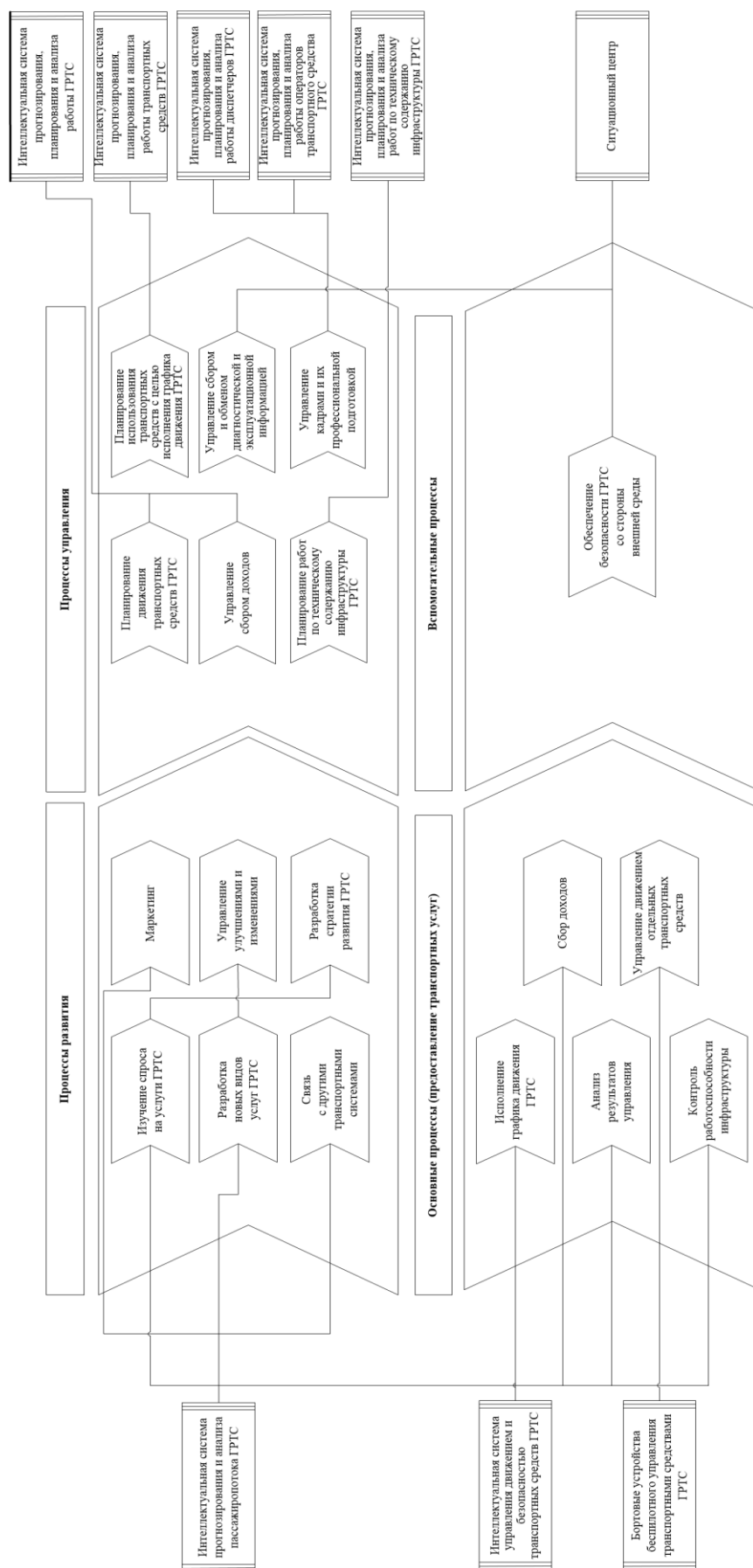


Рисунок 1.1 – Взаимодействие систем в рамках ИСУ ГРТР

Блок ИСУМ, связанный с прогнозированием, планированием и анализом работы группы разработчиков, поддерживающих работу ИСУМ в рамках разработки и реализации стратегии развития ГРТС и управления изменениями направлен на решение следующих задач:

- поддержка принятия решений по выбору объемов и сроков проектов развития ГРТС;
- поддержка принятия решений по составу проектных команд и подрядчикам для разработки и развития ГРТС;
- создание ГР групп разработчиков, задействованных в реализации стадий жизненного цикла ГРТС. Применительно к ИСУМ блок реализуется с помощью ИСП ГР ММ.

При разработке математического и программного обеспечения ИСП ГР ММ необходимо определить будущих пользователей системы, состав функциональных блоков и архитектуру системы [20]. Интерфейс ИСП ГР ММ описан в п. 4.1 диссертации.

Рассмотрим классификацию задач управления транспортными системами (Рисунок 1.2).

Задачи планирования движения транспортных средств и технического обслуживания подвижного состава широко освещаются в следующих направлениях [21]:

- разработки интеллектуальной системы управления метрополитеном и автоматизированных систем управления [22, 23];
- сервисного технического обслуживания движения транспортных средств и прогнозирования отказов объектов путевой инфраструктуры [24-28];
- сопровождения и обучения сотрудников [29, 30];
- разработки математических моделей ПГД, автоматизации бизнес-процессов, связанных с построением ПГД и формированием ГО [31-35].

Задачи управления транспортными системами			
Планирование движения транспортных средств [31-35]	Планирование технического обслуживания подвижного состава [24-28]	Оперативное планирование [36-38]	Планирование работы персонала [39-42]
Связь систем управления движением ЭПС и интервального регулирования движения ЭПС [43, 44]	Планирование технической инфраструктуры [45, 46]	Взаимодействие разных транспортных систем [14,22, 47]	Анализ пассажиропотока [11, 48]

Рисунок 1.2 – Задачи управления транспортными системами

К задачам планирования работы персонала относятся в том числе задачи совершенствования организации работы машинистов посредством [49]:

- формирования схем и длин участков работы машинистов, управление которыми косвенно влияет на численность машинистов [50, 51];
- нормирования контингента машинистов [52];
- построения ГР машинистов и их явки на работу [53, 54];
- оперативного регулирования машинистов [55];
- повышения роли графика как технологической основы перевозочного процесса [56].

Анализ показывает, что вопросы планирования работы локомотивных бригад (ЛБ) до сих пор решаются неавтоматизированно, а значит:

- качество планирования связано с человеческим фактором;
- критерии качества планирования работы ЛБ не формализованы [57];
- отсутствуют методы организации разработок, позволяющих в сжатые сроки при ограниченных ресурсах реализовать процесс создания внедрения.

Современный уровень информационных технологий позволяет использовать интеллектуальные алгоритмы планирования, которые необходимо использовать в связи с большой размерностью задачи построения

ГР, большим числом ограничений, наличием трудноформализуемых требований, которые необходимо учитывать при формировании ГР. Одной из разновидностей интеллектуальных алгоритмов является генетический алгоритм [58].

Согласно международной классификации систем автоматизированного управления движением поездов метрополитена [59, 60] (САУПМ) степень автоматизации процесса делится на 5 градаций: от полностью ручного управления ЭПС (G_0A0) до автоматизированного управления ЭПС без участия какого-либо персонала на борту (G_0A4). Большинство существующих в мире САУПМ классифицируются как G_0A1 , G_0A2 . При этом, несмотря на появление первых беспилотных ЭПС, очевидно, что до повсеместного отказа от привлечения к управлению ЭПС ММ пройдет достаточно много времени. До перехода на полностью автоматизированное управление ЭПС будет реализован промежуточный период нахождения в кабине машиниста, контролирующего процесс движения поезда, а также потребуется время на законодательное регулирование данного вопроса.

Часто используемым инструментом автоматизации в области формирования графиков расписаний смен является *Microsoft Excel* или специализированные программы на его основе [61-63]. Инструменты автоматизации используются для первичного построения расписаний (обычно от 40 до 70 %) с последующей ручной доработкой, что ведет к возникновению ошибок и затягиванию процесса планирования работы сотрудников.

Задача формирования и регулирования расписаний смен возникает регулярно, занимает много времени у квалифицированного персонала и требует интеллектуального автоматизированного решения. Поэтому тема диссертационного исследования актуальна.

1.2. Роль системы сбалансированных показателей в управлении современным предприятием и ее связь с автоматизацией технологических процессов на производстве

Система Сбалансированных Показателей (ССП) (Рисунок 1.3) позволяет выбрать критерии, в соответствии с которыми осуществляется управление и автоматизация технологических процессов и производств современного предприятия [64], в частности оценивать эффективность внедрения элементов ИСУМ.

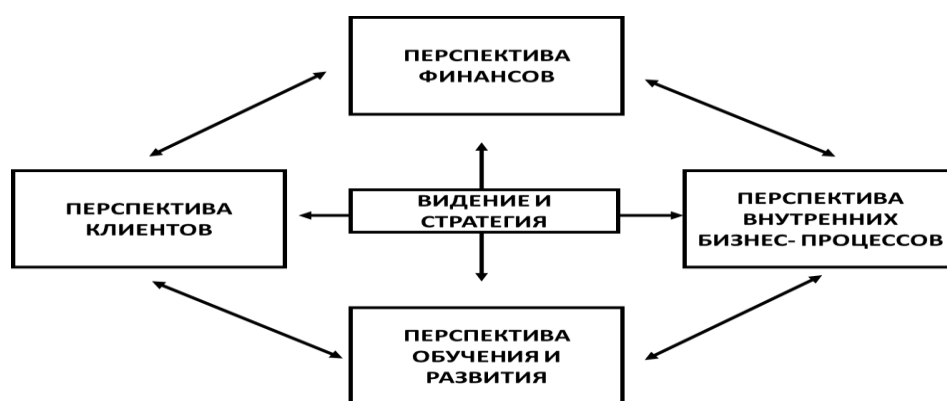


Рисунок 1.3 – Инструменты стратегического планирования ССП

На Рисунке 1.3 показано, как четыре равновесных направления формируют реализацию видения и стратегии предприятия. В свою очередь, каждое из направлений связано друг с другом. Так, развитие внутренних бизнес-процессов порождает задачи обучения персонала, что может благоприятно влиять на развитие взаимоотношений с клиентами за счет повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов и автоматизации бизнес-процессов или повышения качества предоставляемых услуг. Расширение клиентской базы и объемов продаж ведет к повышению финансовых показателей.

Видно, что интеллектуальная система, описанная в п. 1.1, поддерживает четыре основных направления ССП:

- финансы (сбор доходов, анализ результатов управления и др.);

- внутренние бизнес-процессы (планирование движения транспортных средств ГРТС и др.);
- обучение и развитие (управление кадрами и их профессиональной подготовкой и др.);
- клиенты (изучение спроса на услуги ГР ТС, разработка новых видов услуг ГРТС и др.).

В рамках каждого направления формируются ключевые показатели эффективности (КПЭ), с помощью которых можно оценить достигнутые результаты в конце периода. Существуют стандартные базы КПЭ, затрагивающие все сферы деятельности предприятий (финансовая, бизнес-аналитика, бухгалтерия, развитие). При построении ССП КПЭ учитываются общие правила формирования показателя (Рисунок 1.4), при этом стандартные формулировки адаптируются под компанию и ее стратегические цели [65].



Рисунок 1.4 – Особенности формирования КПЭ

В первую очередь адаптируются формулировки показателей, формируется так называемое дерево целей: перед генеральным директором предприятия стоят стратегические цели, он формирует карты КПЭ своих прямых подчиненных, связывая их со своей картой и стратегическими целями компании, те декомпозируют свои цели в карты подчиненных уровнем ниже и

так далее до рядовых сотрудников. В разных отраслях экономики используются разные КПЭ, а ССП формируется совместно с экспертами.

На Рисунке 1.5 приведены типичные карты КПЭ сотрудников с одинаковым уровнем должности (прямые подчиненные генерального директора) в разных областях бизнеса.

На основании данной выборки можно выделить особенности для разных сфер деятельности: в консалтинге основными КПЭ являются финансовые показатели, в государственной сфере – ориентация на развитие, в банках много качественных показателей, на заводах – в основном количественные цели (Рисунок 1.6).

Система КПЭ транспортных компаний включает в себя оценку качества инфраструктуры, в том числе, скорости и частоты движения поездов, которые влияют на состав обслуживающего персонала.

Для Московского метрополитена характерны особенности предприятий, относящихся к государственной сфере и транспортным компаниям. При расчете финансовых показателей департаментов или направлений в явном (затраты на персонал, соотношение прибыли и затрат на каждое направление) или косвенном виде (общая результативность отдела планирования) решается задача повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов. При модификации внутренних бизнес-процессов и реализации программы обучения также необходимо корректно учитывать потребности в трудовых ресурсах. Своевременное управление их составом позволяет сохранять конкурентное преимущество предприятия.

<u>Банк: Директор по интернет и мобильному банку</u> Общественные цели: 1. Уровень индекса потребительской лояльности. 2. Процент новых клиентов. 3. Обеспечение контроля и выполнения бюджета. 4. Обеспечение исполнения баланса доходов / расходов. Проектные цели: 1. Завершение сервиса мобильного банкинга. 2. Реализация обратной связи на веб-сайте. Функциональные цели: 1. Прохождение процесса тестирования интерфейса. 2. Поддержка веб-сайта. 3. Поддержка развития клиентского сервиса. 4. Улучшение интерфейса внутренних систем.	<u>Завод : Управляющий подразделением</u> Корпоративные цели компании: 1. Процент достижения компании целей по EBITDA (прибыль компании до вычета процентов, налогов и амортизации). Мотивационные КПЭ: 1. Процент отклонения от планового рабочего времени оборудования. 2. Процент отклонения от целевой производительности по основным технологическим системам (фосфорные удобрения). 3. Производительность труда (тонн/ чел.). 4. Сумма признанных рекламаций потребителей. 5. Процент прироста условно-постоянных затрат. Отсекающие КПЭ: 1. Коэффициент LTIF (Lost Time Injury Frequency) – частота случаев с потерей рабочего времени. При наличии смертельных несчастных случаев значение выполнения всех показателей приравнивается к нулю.
<u>Ритейл: Руководитель департамента продаж</u> 1. Количество проданных билетов (тыс. шт.). 2. Размер оборота (млн. руб.). 3. Размер выручки от продаж билетов (сервисный сбор + комиссия, тыс. руб.). 4. Значение EBITDA (млн. руб.) (прибыль компании до вычета процентов, налогов и амортизации). 5. Запуск в полноценном режиме интеллектуальной системы на базе скриптов. 6. Сформировать годовой бюджет на оплату кассирам. 7. Обучение репертуару и скриптам.	<u>Консалтинг : Руководитель практики</u> Количественные цели: 1. Биллинг направления. 2. Маржа направления. 3. Проектная работа в пользу других направлений (практик). 4. Проектная работа в пользу своего направления (практики).

Рисунок. 1.5 – Карты КПЭ в различных отраслях. Уровень должности – прямой подчиненный генеральному директору

Государственная сфера: ■ специфика построения стратегии – больше про развитие и потенциал, меньше – про деньги.	Консалтинг: • гибкая система, ориентация на финансовый результат.
Банковская сфера: • большой удельный вес общепанковской результативности; • разнообразие функциональных, проектных целей.	Ритейл: • высокий процент учета компетенций в годовой оценке; • учет сезонности.
Заводы: • у рабочих частое премирование и узкий горизонт планирования; • наличие отсекающих КПЭ.	Транспортные компании: • КПЭ охватывает не только прибыль и выручку, но и качество инфраструктуры (в том числе скорость движения поездов).

Рисунок. 1.6 – Специфика КПЭ в зависимости от отрасли

Пример дерева целей для транспортной компании представляет собой цепочку чётких формулировок целей, представленную на Рисунке 1.7. Эта цепочка целей выполняется специалистами разных уровней. Здесь задача «Запланировать потребность локомотивов», связанные с ней задачи «Запланировать потребность персонала» и «Запланировать регулировочные задания по пересылке локомотива», являются скорее расчетными, стандартными. Задача же «Запланировать подвязку тяговых ресурсов» относится к творческим, интеллектуальным. Реализовать последнюю на высоком уровне планирования без осуществления первых трех затруднительно [66, 67].

У каждой из этих задач есть рамки точности, временные ограничения на выполнение. Каждая из этих задач может быть решена с помощью выделенных модулей единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) [66, 67].



Рисунок 1.7 – Пример дерева целей для транспортной отрасли

При разработке автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) необходимо принимать во внимание учёт и оценку ССП. С другой стороны, сложно переоценить роль ИСУЖТ при разработке системы ССП. Результаты работы ИСУ ГР ТС и ее элементов используются для формирования КПЭ и ССП метрополитена или ГРТС [68, 69], стратегического управления соответствующих предприятий.

При внедрении новых элементов ИСУ ГР ТС закладываются метрики, согласно которым впоследствии возможно проведение оценки по КПЭ. Следующий раздел раскрывает особенности внедрения автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС), осуществляемой в рамках проектной деятельности.

1.3. Анализ опыта внедрения автоматизированных информационно–управляющих систем на промышленном предприятии

Прогнозная оценка и повышение эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов при решении проектных и других видов рабочих задач – мощный инструмент планирования и управления.

С одной стороны, корректное решение данной задачи позволяет сформировать систему управления эффективностью, мотивации и развития команды, а с другой – перераспределить финансовые затраты и фонд

заработной платы команды. АИУС – часть средств автоматизации современного промышленного и транспортного предприятия.

На современных промышленных предприятиях наряду со множеством средств автоматизации, в том числе как составной элемент ИСУ, широко используются АИУС [70]. В статьях [68, 71-73] рассматриваются проблемы информационного общества и определяется место технических решений в процессе операционного и стратегического управления. На примере эксплуатации автоматизированных систем управления персоналом сформулированы преимущества и возможные риски эксплуатации АИУС на транспортных и других предприятиях.

Центральным требованием к внедряемым вне зависимости от отрасли АИУС является уверенность в надежности хранения данных, корректность методологии и процессов, заложенных в них, удобство пользовательского интерфейса. Промышленные и транспортные предприятия в условиях высокой конкуренции вынуждены не только использовать современный программный продукт, но и производить внедрения АИУС в максимально сжатые сроки.

Темой данного раздела является исследование процесса внедрения АИУС, выявление факторов, оказывающих влияние на сроки, стоимость и качество реализации проекта.

Рассмотрим процесс внедрения. Процесс внедрения зависит от следующих факторов:

- состав и число управленческих процессов, которые планируется автоматизировать;
- состав и число модулей АИУС;
- специфика предприятия, определяемая не его размером и сферой деятельности, а сложностью и разнообразием управленческих процессов.

В вопросах, связанных с управлением персоналом, предприятия все чаще выбирают облачные решения *SAP SuccessFactors*, Мираполис (*Mirapolis*

Human Capital Management) и другие российские аналоги решения, характеризующиеся относительно невысокой стоимостью внедрения и поддержки конечных решений, а также более короткими сроками внедрения проектов по сравнению с классическими продуктами [72, 74, 75].

Российские предприятия выбирают в качестве инструмента автоматизации данные решения в том числе в связи с тем, что они базируются на лучших мировых практиках (*best practices*) управления персоналом.

SAP SuccessFactors и решения на его основе объединяют в себе комплекс бизнес-процессов от найма и подбора сотрудников до выплаты заработной платы и может быть частью ИСУМ. Подробнее о задачах автоматизации на предприятиях сказано в п. 1.4. На Рисунке 1.8 приведена схема типичного внедрения АИУС *SAP SuccessFactors* [76].

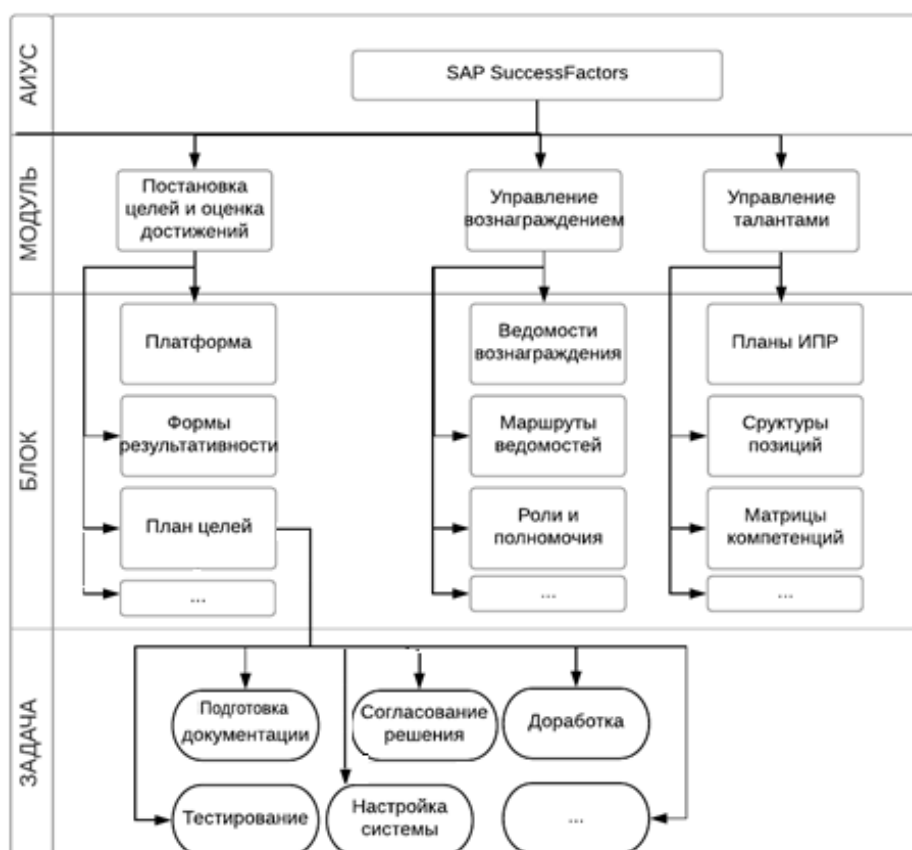


Рисунок 1.8 – Общая структура проекта

АИУС состоит из набора модулей (стратегическая аналитика кадров, внешний карьерный портал, подбор и адаптация, постановка целей и оценка достижений, управление вознаграждением, управление талантами, обучение и развитие персонала, кадровое администрирование), которые, согласно методологии внедрения, делятся на блоки (настройка электронных форм, настройка маршрутов форм, обучение пользователей). Для внедрения разных блоков необходимо выполнить ряд идентичных для каждого блока задач (согласовать, настроить, протестировать и т.д.). В виду модульности, конечного числа возможных комбинаций настройки и простоты масштабирования решения процесс реализации стандартизирован и значимо не отличается при переходе от внедрения одной системы / модуля / блока ко внедрению последующих. На Рисунке 1.9 приведена схема внедрения модуля постановки целей и оценки достижений (одна из типичных реализаций), на анализе опыта реализации которого построен данный раздел.

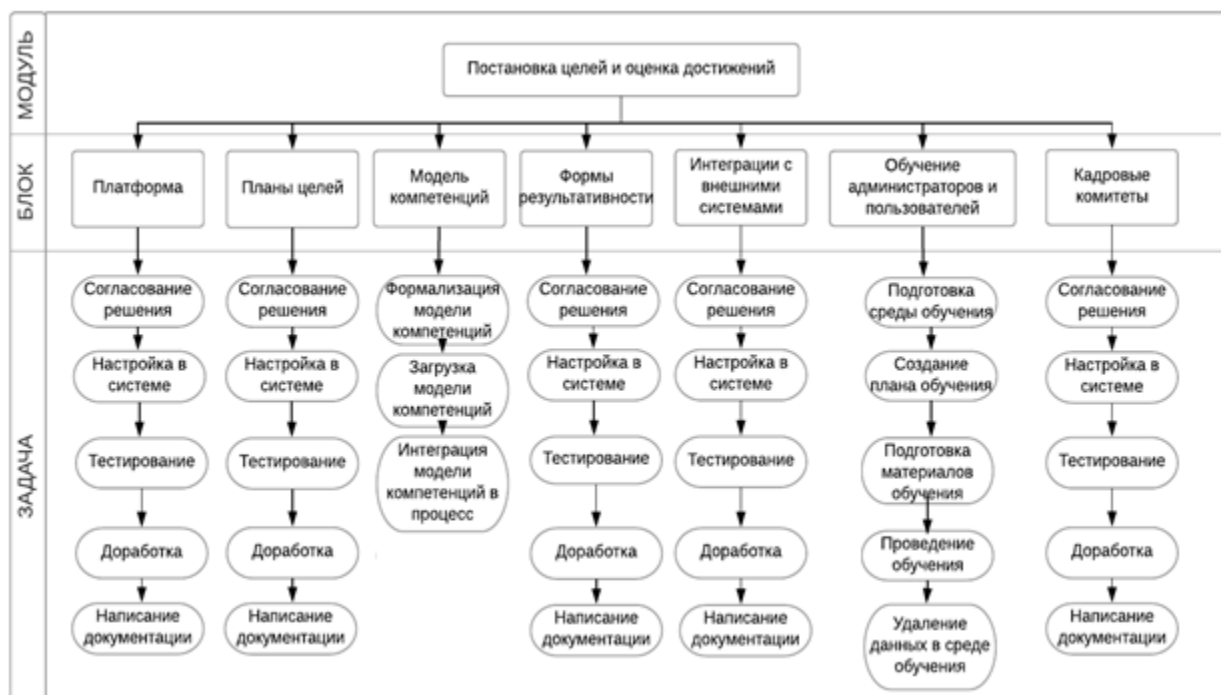


Рисунок 1.9 – Пример процесса внедрения модуля постановки целей и оценки достижений

Модуль постановки целей и оценки достижений используется для построения ССП предприятия, может внедряться как в комплексе решений, так и в качестве независимого функционала. К мировым практикам относится профилирование должностей, формирование модели компетенций и уровень их проявления для сотрудников, занимающих должность. Благодаря периодической оценке сотрудников можно определить их актуальный уровень владения компетенциями и результаты достижений по КПЭ. По итогам оценки рассчитывается величина единовременной выплаты или производится повышение заработной платы сотрудника в рамках текущего грейда (уровня, определяющего диапазон возможной заработной платы на позиции), или происходит повышение в должности сотрудника / его грейда, расширение ответственности и обязанностей. В главе 3 описано влияние уровня должности сотрудника на его задачи при реализации стадий жизненного цикла автоматизированных систем управления технологическими процессами.

В данном случае на Рисунке 1.8 представлен процесс относительно быстрого внедрения бизнес-процессов при заранее сформированном проектном решении, базирующемся на формализованных процессах компании. При наличии у клиента желания и возможности усовершенствовать процессы проект с одной стороны усложняется предварительным анализом текущих процессов и их адаптацией под автоматизацию, а с другой, это упрощает последующее внедрение за счет специфики продукта.

В Таблице 1.1 приведены характеристики компаний, в которых на протяжении 2015-2020 гг. внедрялся модуль постановки целей и оценки достижений, а также характеристики внедряемого процесса. Автор работы участвовала в проектах в роли ключевого исполнителя, архитектора или руководителя проекта. Ниже приводятся выводы из такого сравнения [76].

Значение параметра «Уровень сложности процесса» в Таблице 1.1 определялся с учетом мнений экспертов, построенной на основе анализа:

- количества подпроцессов (целеполагание, мониторинг и т.д.);

- числа периодов оценки (в год);
- частоты постановки целей (в год);
- количества уникальных элементов в системе (форм результативности, планов целей и т.д.);
- количества различных ролей в процессе.

Основные выводы к Таблице 1.1:

- при наличии в компании устоявшейся методологии и формализованных процессов постановки целей и оценки достижений клиент неохотно соглашается на их изменение;
- система хорошо масштабируется, поэтому количество пользователей тестовой группы напрямую не влияет на уровень сложности процесса;
- при одновременном внедрении методологии постановки целей и оценки достижений соответствующих процессов и системы автоматизации процессов удастся заметно снизить вероятность возникновения рисков и ущерб от них, связанных с удлинением сроков проекта вследствие необходимости разработки дополнительных элементов и расширением ПрК;
- число членов ПрК со стороны клиента не оказывает прямого влияния на сроки реализации проекта;
- нет прямого влияния принадлежности компании к той или иной отрасли на результаты проекта;
- риски, связанные с удлинением сроков проекта, а значит его стоимости для компании, внедряющей АИУС, можно снизить, повысив качество предпроектного анализа, тем самым заранее определив число дополнительных элементов, расширяющих стандартный функционал АИУС, и повысив эффективность использования рабочего времени консультантов.

Процесс постановки целей и оценки достижений включает в себя обычно следующие подпроцессы: целеполагание, мониторинг выполнения целей, оценка достижений, калибровка результатов на кадровом комитете.

Таблица 1.1 – Характеристики реализованных проектов автоматизации процесса постановки целей и оценки достижений

п/п	1	2	3	4	5
Характеристики компаний					
Отрасль	Банковская	Химическая промышленность	Ритейл*	Металлургия	Транспорт / перевозки
Количество пользователей тестовой группы	До 200	До 200	До 200	Более 20 000	До 500
Характеристики процесса					
Наличие процесса постановки целей и оценки достижений в компании в начале проекта	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Проведение предварительной адаптации процесса под автоматизацию	Да	Нет	Да	Нет	Да
Уровень сложности процесса, закладываемого в систему	1	4	2	5	3
Количество дополнительно разрабатываемых элементов/ расширений	0	3	1	12	0
Характеристики проекта					
Плановый срок реализации (Тп), месяц	4	5	4	6	3
Количество консультантов в ПрК (план), чел.	3	2	2	3	3,5
Количество консультантов в ПрК (факт), чел.	4	3	3	6	5
Фактический срок реализации (Тф), месяц	6	11	4	12	3,5
Плановая трудоемкость, человеко-месяц	16	15	12	36	15
Фактическая трудоемкость, человеко-месяц	24	33	12	72	17,5
Количество членов ПрК со стороны клиента, чел.	2	2	1	6	7

*компании, деятельность которых связана с оптовой закупкой товаров для последующей их продажи на своих торговых точках в розницу с наценкой.

На Рисунке 1.10 представлена схема процесса целеполагания, характерная для мировых зарубежных практик, заложенных в *SAP SuccessFactors* (а), и используемая некоторыми российскими компаниями, требующая создания дополнительных элементов (расширений) (б). Схемы иллюстрируют собой обобщенный процесс, автоматизированный на нескольких проектах, в выполнении которых участвовал автор диссертации. Для описания схем использовалась система условных обозначений *BPMN 2.0* [77, 78].

Несмотря на модульность и адаптируемость продукта, базово в него заложены определенные практики, например, нацеленность на персонафицированность карты целей. В рамках модуля постановки целей и оценки достижений в реализованной в составе *SAP SuccessFactors* эталонной модели (Рисунок 1.10 (а)) предполагается повысить культуру общения между руководителем и сотрудником, а также повысить ответственность сотрудника за выполнение целей путем его вовлечения в процесс их постановки. При формировании целей третьими лицами с предварительной выгрузкой статистики из системы и анализом выполнения целей за прошлые периоды, как это реализовано в модели, представленной на Рисунке 1.10 (б), появляется потребность в создании расширений. Доскональный предпроектный анализ процессов заказчика позволяет избежать дополнительных трат, связанных с внеплановым написанием расширений.

Примечательно, что предварительный анализ усложняется сжатыми сроками проведения тендеров на внедрение, предполагающих расчет итоговой стоимости проекта по ограниченным данным о проекте, и высокой стоимостной конкуренцией на рынке компаний, внедряющих АИУС.

Задача корректного расчета и повышения эффективности использования рабочего времени консультантов, которые все чаще привлекаются на постоянную работу в компании как внутренние сотрудники, занятых во внедрении АИУС, в качестве которого может выступать ИСП ГР ММ, более подробно освещенная в главе 3.

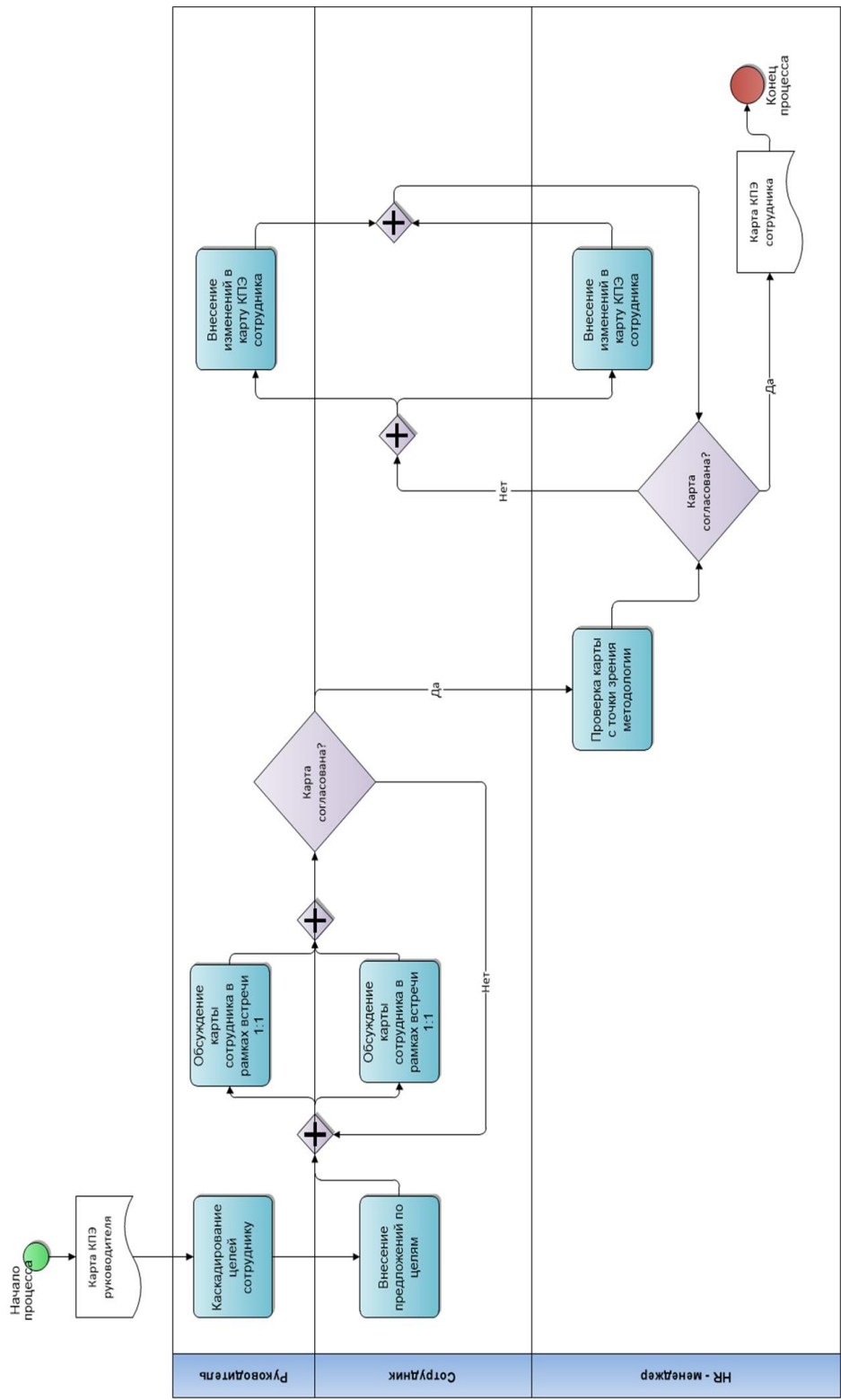


Рисунок 1.10 – (а) Фрагмент процесса целеполагания, автоматизируемого в рамках модуля постановки и оценки достижений без сторонних расширений

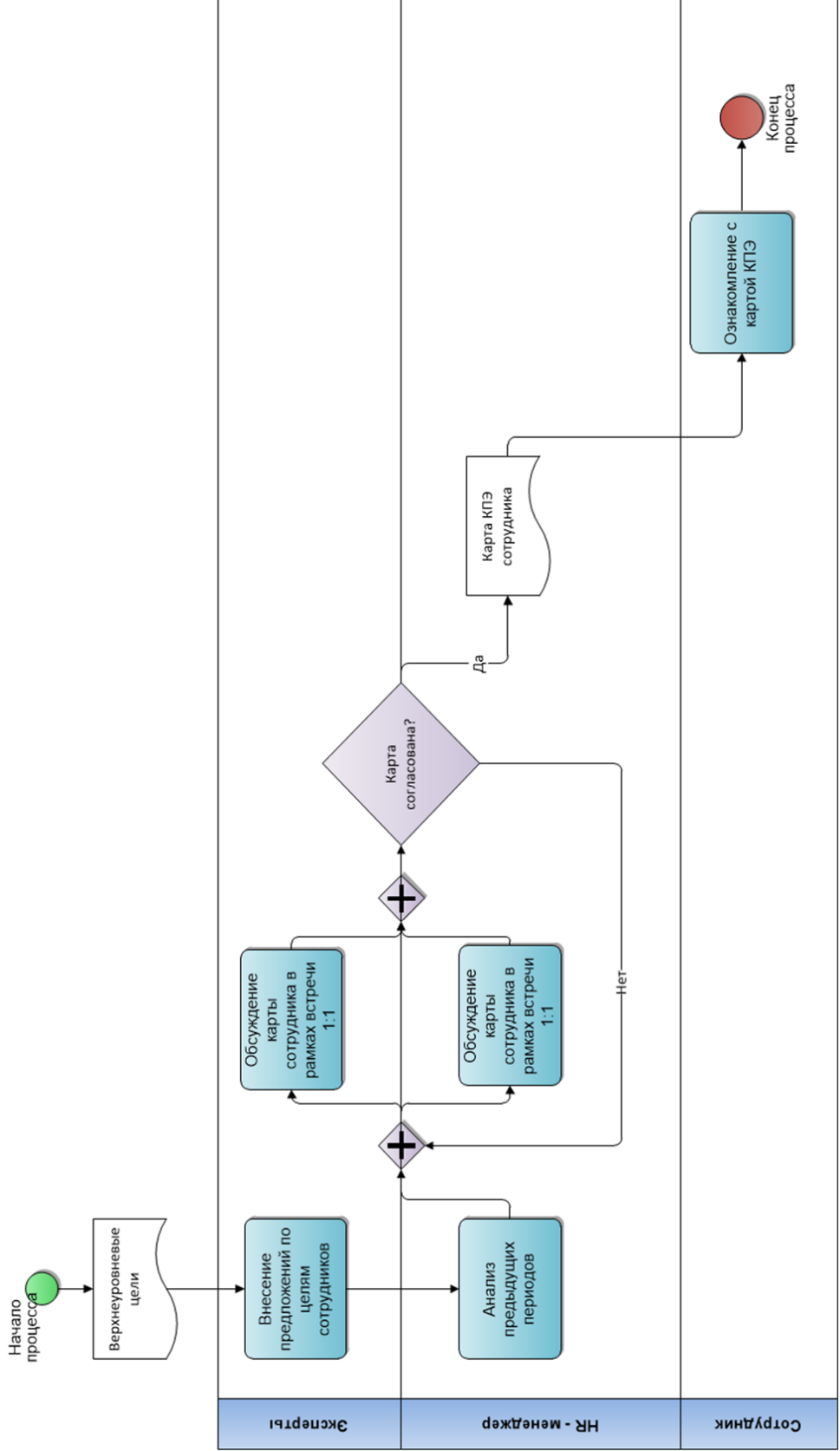


Рисунок 1.10 – (б) Фрагмент процесса целеполагания, автоматизируемого в рамках модуля постановки и оценки достижений со сторонними расширениями

1.4. Анализ современных систем управления распределением времени персонала

Говоря про тотальную и повсеместную автоматизацию и цифровизацию, необходимо понимать, что развивается она эволюционно: сначала точно (решения отдельных задач цифровыми средствами), затем кусочно (соединение задач в блоки), процессно (когда автоматизации подвергается целый процесс) и, наконец, интегрально (между разными процессами не остается «ручного» труда сотрудников и администраторов, их заменяет интеграция между процессами) [79].

Сегодня на рынке можно найти множество продуктов, позволяющих вести учет рабочего времени сотрудников. Они подразумевают фиксацию времени нахождения в офисе с использованием систем распознавания лиц, скрининга рабочего экрана, анализа посещаемых ссылок в Интернете. При этом недостаточно внимания уделяется анализу рабочей деятельности, а именно скорости и качеству выполнения работ [80].

Цифровые технологии давно используются на всех уровнях управления организацией и во всех подразделениях: в бухгалтерии и отделе продаж, на производстве и при управлении персоналом. Для решения глобальных, стратегических задач используют интегральные решения, охватывающие максимальный объем функций организации. Для решения локальных задач зачастую предпочтение отдается отдельным специализированным программам [79]. Связана такая тотальная цифровизация с необходимостью повышения скорости всех внутренних процессов организации, точности реализации отдельных задач и системности в процессах управления (Рисунок 1.11).

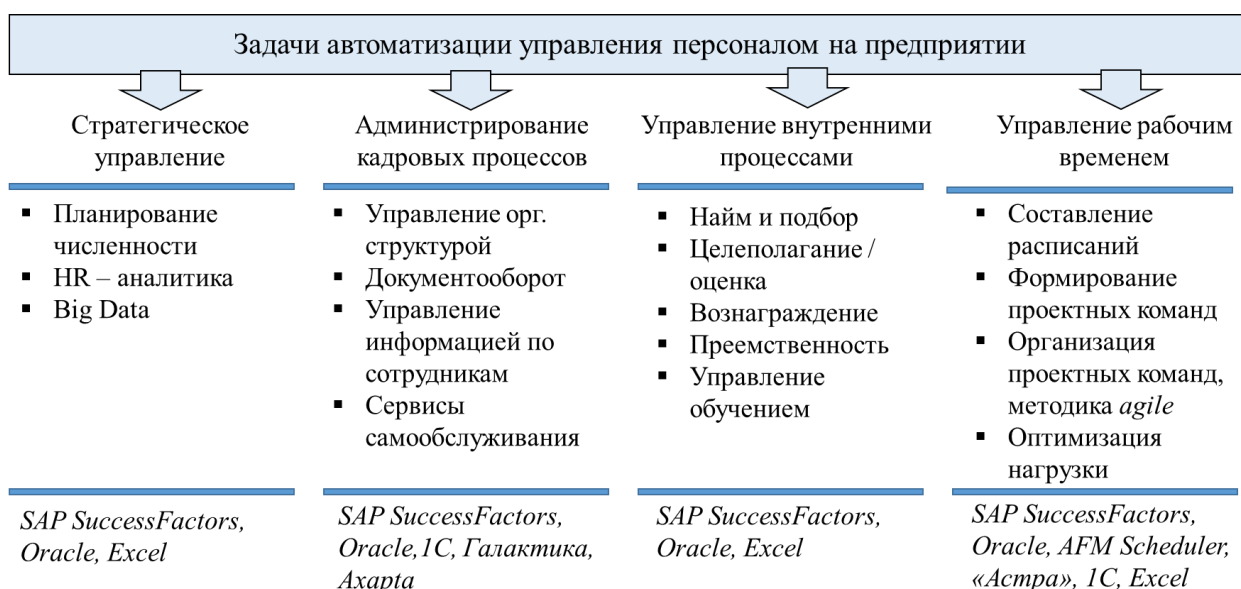


Рисунок 1.11 – Классификация задач автоматизации на предприятии, связанных с управлением персоналом, и методы их решения

Центральной операционной задачей управления персоналом является распределение и учет рабочего времени сотрудников (Рисунок 1.12). Решение этой задачи используется при расчете сдельной заработной платы как основание для нормирования команды и оплаты ее труда, и оно непосредственно влияет на снижение издержек организации. При возникновении вариативности распределения ресурсов такие задачи принято решать методом перебора или другими математическими методами поиска оптимального решения [81, 82], закладываемыми в специализированные программы. Входными условиями задач являются формальные правила распределения трудовых ресурсов (посменная работа или нормированный рабочий день, график загруженности или расписание рабочих задач) и различные ограничения (на время реализации проекта, допустимые затраты, число членов ПрК). Для использования программы на предприятии имеют значение возможности оперативного внесения дополнительных ограничений и быстрой оценки итоговых затрат.

Задачи автоматизации управления распределения трудовых ресурсов	
Формирование расписаний	Формирование проектных команд
• Комбинаторная оптимизация, «Составление временных таблиц» [83-86]; • Динамическое программирование [87]; • Эвристические алгоритмы, графовые модели (метод ветвей и границ, р-алгоритм) [88]; • Классические методы в терминах целочисленного линейного программирования или задачи о раскраске графа, графовые модели [89]; • Метаэвристические методы – метод имитации отжига, генетические алгоритмы и др. [90];	• Диаграмма Ганта [91]; • Генетические алгоритмы [92-97]; • Нечеткие множества [98]; • Комплекс средств (сети Петри, генетические алгоритмы) [99].

Рисунок 1.12 – Классификация задач автоматизации на предприятии, связанных с повышением эффективности использования рабочего времени персонала

В современном управлении, особенно часто это встречается в ИТ сфере, уже давно в обиход вошли трекинги задач, системы учета рабочего времени, где каждый сотрудник компании (от отделов маркетинга и продаж до разработчиков и консультантов) указывает свою ежедневную загрузку в привязке к проектам, над которыми он работал. Это значительно упрощает анализ занятости персонала. Надо уточнить, что внесение подобных данных обязательно верифицируется, например, ведется учет физического нахождения сотрудника в офисе или за компьютером. Учет результата обычно подтверждается руководителями проектов.

На старте каждого проекта производится оценка времени на все задачи и формируется ПрК. При этом зачастую этот процесс связан с поиском новых сотрудников или переводом кого-то из штатных сотрудников с проекта на проект, что может затягивать запуск проекта, поэтому точность таких оценок важна на самых ранних этапах.

На предприятиях, в том числе профессионально занимающихся проектной деятельностью, такие оценки производятся без использования математических моделей. Это влияет на качество оценки.

В рамках работы сформулированы и предложены решения для нескольких задач повышения эффективности использования рабочего времени персонала.

К ключевым требованиям итогового программного решения относились [100]:

1. Объективность. Разработка критериев и метода расчета проводится для должности, а не для сотрудника, занимающего эту должность. Такой подход позволяет минимизировать затраты на изменения модели в случае увольнения или ротации сотрудников. Такой подход можно считать удачным для компаний, формирующих ПрК или привлекающих внешних специалистов для решения конкретных задач.

2. Прозрачность. Базирование моделей на признанных источниках.

3. Понятность. Подробное описание математической модели, включающее формализацию задач и алгоритмы поиска решений. Для пользовательского интерфейса ПО это заключается в учете требований эргономики.

4. Динамичность. Возможность изменять решение при незначительном изменении входных данных (изменение ежедневного времени работы или введение дополнительных ограничений на входные данные).

Важным требованием к математическим моделям, затрагивающим организацию труда на различных предприятиях, является соблюдение законодательства Российской Федерации.

Примечательно, что на множестве предприятий не используют средства автоматизации или используют программы, самостоятельно разработанные под локальные задачи.

В работах [101-104] приведены алгоритмы и решена задача по планированию движения поездов метрополитена. Вопрос, посвященный

планированию РГ ММ, не так широко освещен в литературе. В работах Пазойского Ю.О [105] и Сальченко В. Л. [49] приводятся оригинальные алгоритмы построения графика рабочих смен ЛБ на железнодорожном транспорте.

Автор [105] на примере депо Апрелевка приводит формализацию и методику решения задачи построения ГР ЛБ на месяц для железной дороги. Автор разбивает задачу построения ГР ЛБ на два этапа: построение графика РС и последующего распределения по нему ЛБ. Построение графика РС сводится к задаче нахождения кратчайшего пути в сетях, минимизации числа ЛБ, при этом учитываются местные нормы работы и нормы трудового законодательства [106]. К особенностям алгоритма можно отнести доступность превышения нормы непрерывной работы, если нет возможности произвести смену бригады раньше.

Автор [49] формулирует и апробирует метод построения именных ГР ЛБ на железных дорогах с учетом влияния основных факторов, в том числе вида движения (грузовое, пассажирское, пригородное) и соблюдения требований трудового законодательства машинистов и их помощников. Задача сводится к «задаче коммивояжера», для формирования оптимальной последовательности обслуживания поездов одной ЛБ применяется модифицированный метод «ветвей и границ». Задача состоит в минимизации значения критерия оценки именного ГР ЛБ, принятого как сумма отклонений моментов готовности ЛБ к работе от моментов явки в пункте приписки за выбранный период. Работа легла в основу написания технического задания для системы автоматизированного построения именных графиков работы ЛБ для железной дороги. К особенностям методики можно отнести высокую размерность задачи и необходимость разбивать массив всех поездов на «эталонные» группы.

Актуальной остается задача поиска оптимального распределения времени работы ММ.

Входные ограничения задачи, т.е. параметры организации труда ММ, формулируются на базе двух нормативных актов: «Трудовой кодекс РФ» [106] и «Положение об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха работников метрополитена». Смены сотрудников напрямую зависят не только от формальных требований к условиям труда, но и от планового графика движения поездов [104]. Для решения задачи распределения и повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов нельзя использовать общепринятый производственный календарь или стандартные режимы работы, что усложняет требования к предполагаемому программному обеспечению.

Примеры используемых программных продуктов:

- 1С:Предприятие : ведение отпусков и командировок, учет рабочего времени [107];
- *Namely, SAP SuccessFactors*: облачные системы управления персоналом [108];
- *Mas Project* : для среднего, малого бизнеса [109].

Существует ряд программных продуктов, в том числе для формирования расписания занятий в учебных заведениях и маршрутов движения транспорта [110-112], однако нет стандартного определения задачи, т.е. при учете дополнительных особенностей процесса или требований к их усовершенствованию по заданным параметрам функционала стандартных программных продуктов недостаточно.

Необходимо отметить, что при внедрении любого нового программного продукта и, особенно, при обновлении целого комплекса внутренних бизнес-процессов перед предприятием встает вопрос об оценке целесообразности такого нововведения [113-115]. Первичный анализ предложений включает в себя оценку стоимости, технических характеристик, продолжительность предполагаемого проекта и внутренние трудозатраты на внедрение нового продукта. Учитываются последующие расходы на его поддержку и развитие,

на переобучение внутренних специалистов или расширение штата квалифицированными кадрами. В качестве бюджетной оценки предполагаемого проекта можно использовать различное ПО, предназначенное для повышения эффективности использования рабочего времени и состава ПрК. Подробнее этот вопрос освещен в главе 3 диссертационного исследования.

Таким образом, можно утверждать, что в условиях всеобщей цифровизации остаются узкоспециализированные задачи, требующие детального рассмотрения и создания специализированного программного продукта для их решения.

1.5. Выбор метода решения задач распределения трудовых ресурсов

Тема применения алгоритмов повышения эффективности использования рабочего времени персонала в проектном управлении достаточно широко освещена, и есть ряд продуктов, позволяющих решать определенные прикладные задачи в проектном управлении и управлении загрузкой персонала в целом. Однако, эксперты сходятся во мнении, что каждый из методов имеет ряд ограничений и потенциал для развития.

Классические методы решения, подходы полного перебора нецелесообразно применять для задачи повышения эффективности использования рабочего времени и распределения ресурсов в связи с тем, что они не эффективны для решения задач с большим массивом данных [116, 117].

Актуальными задачами автоматизации распределения трудовых ресурсов являются задачи формирования и управления загрузкой ПрК, формирования расписаний работы сотрудников, в частности, построения расписаний работы преподавательского состава в вузах [118, 119], расписаний посменной работы персонала, определения численности персонала, занятого операционной деятельностью.

Задачи управления проектами при внедрении средств автоматизации решаются с помощью генетического алгоритма [120-123], метода искусственных нейронных сетей [123]. Для решения задачи формирования расписания используется комбинаторная оптимизация и другие методы [124, 125].

Классическими методами решения задач повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов считаются динамическое программирование [126], эвристические алгоритмы, графовые модели (метод ветвей и границ, киевский веник) [127-131].

Для решения задачи построения расписания работы ММ мною выбран метод направленного перебора.

Для решения задачи построения ГР ПрК, привлеченных к реализации автоматизированных средств, в данном диссертационном исследовании выбран генетический алгоритм, являющийся разновидностью интеллектуальных алгоритмов [132]. В работе широко использовались графовые модели [133, 134].

1.6. Принцип автоматизированного решения задач построения ГР ММ

ГУП «Московский метрополитен» и другие предприятия, связанные с эксплуатацией метрополитена, характеризуются государственным участием и являются стратегически, социально значимыми для города. В рамках работы центральное место отведено проблемам автоматизации планирования персонала на метрополитене.

Важную часть рабочего персонала метрополитена составляют ЛБ, которые могут комплектоваться одним из следующих способов:

- один ММ;
- ММ и его помощник.

Принципы управления и автоматизации построения ГР ЛБ не зависят от метода их комплектации.

ММ по характеру работы могут выступать как [17]:

- основные ММ, непосредственно задействованные в реализации ПГД;
- подменные ММ, задействованные в реализации ПГД во время перерывов в работе основных ММ;
- маневровые ММ, задействованные в реализации маневровых перемещений составов на станциях [135].

Наиболее распространенным типом работы для такой категории сотрудников является посменная работа.

На Рисунке 1.13 представлена модель процесса автоматизированного анализа и формирования ПГД пассажирских поездов метрополитена (ППМ) и ГО, а также процесс передачи данных заинтересованным службам [136, 137]. Жизненный цикл – это V-образная модель процессов от написания технического задания, проектной документации, реализации до опытной эксплуатации. Слева от корня V-образной модели происходит задание исходных данных, корнем выступает блок, описывающий производство, справа – внедрение и эксплуатация продукта. В конце жизненного цикла возникает потребность в модернизации продукта, что по сути возвращает нас в начало цикла. Период жизненного цикла может различаться (обычно измеряется в годах, месяцах).

Данный жизненный цикл можно расширить процессами подготовки данных и построения ГР ММ, задействованного в эксплуатации ЭПС. На Рисунке 1.14 приведены принципы построения ГР ММ как части процесса планирования перевозочного процесса метрополитена.

Процесс построения ГР ММ (S_W) включает в себя несколько подпроцессов:

- формирование ГР основных ММ S_{MW} ;
- формирование ГР подменных ММ S_{HW} ;
- формирование ГР маневровых ММ S_{LW} .

S_W представляет собой объединение этих трех.

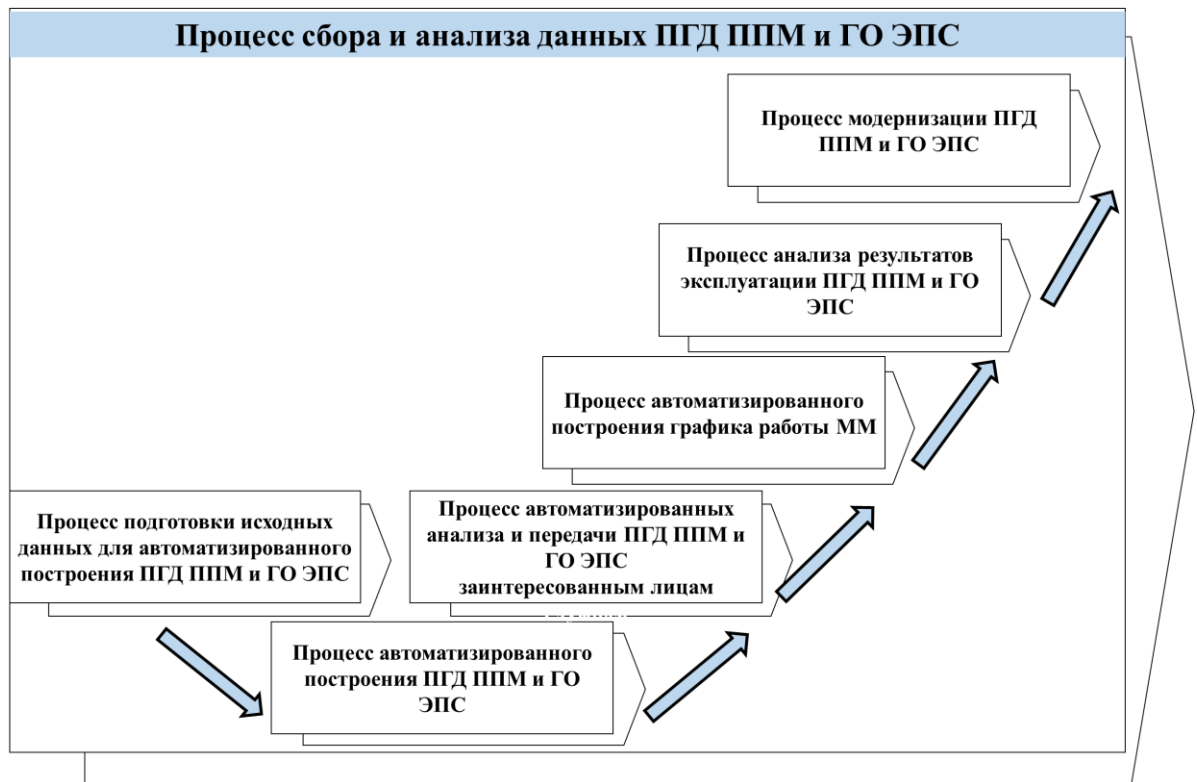


Рисунок 1.13 – V-образная модель жизненного цикла ПГД ППМ и ГО ЭПС

При этом ГР разных ММ не являются независимыми, а тесно связаны (Рисунок 1.14). Эта связь будет более подробно рассмотрена в главе 2.

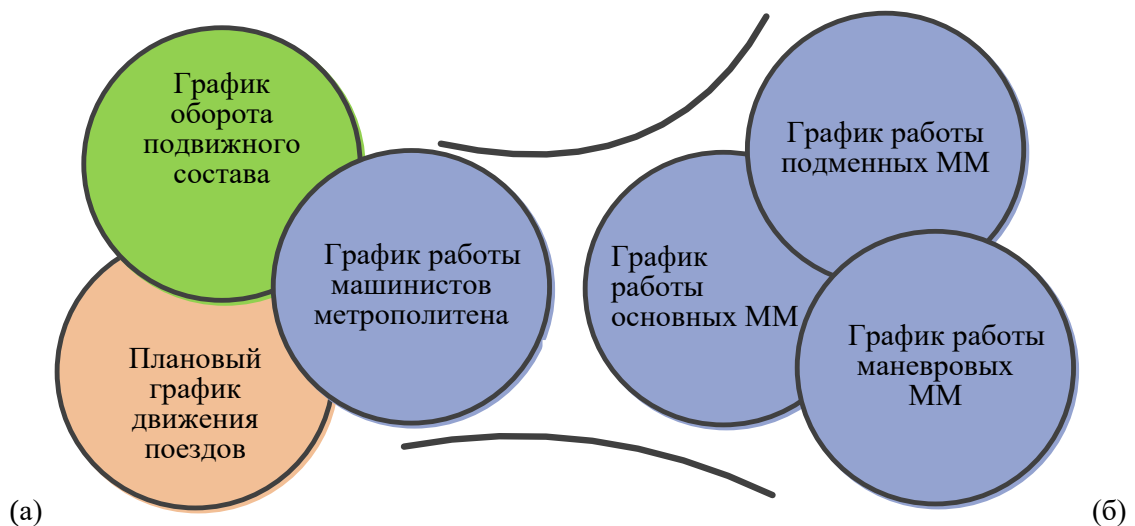


Рисунок 1.14 – Связь процессов построения ПГД ППМ, ГО ЭПС и ГР ММ (а) и его детализация (б)

На Рисунке 1.15 приведена схема построения процесса формирования ПГД ППМ с помощью автоматизированной системы построения (АСП ПГД ППМ), ГО ЭПС и ГР различных типов ММ. Описание процесса реализовано с использованием модели типа *EPC (Event-Driven Process Chain)* [138]. На входе процесса, являющегося составной частью архитектуры ИСУМ (параграф 1.1), обрабатываются данные по типам расписаний, времен хода по перегонам и стоянкой [9], пунктам линейных осмотров и отстоев, указателям ночной расстановки. На выходе процесса формируются ГР ММ с учетом предварительного разбиения ГО ЭПС на рабочие интервалы [139].

В работе исследуются вопросы построения ГР основных и подменных ММ (глава 2). Принцип построения ГР маневровых машинистов похож на соответствующий принцип для подменных ММ, поскольку процесс их работы строго регламентирован ПГД ППМ, а именно длительностью оборотов в различные промежутки времени.

1.7. Постановка задачи исследований

Согласно приведенной в работе классификации задач планирования перевозочного процесса метрополитена и управления рабочим временем персонала в различных отраслях экономики, методов их решения и автоматизации, актуальной задачей на сегодняшний день является разработка методики автоматизированного управления временем работы ММ. Включение данной методики в ИСП ГР ММ позволяет при выборе значений различных параметров (максимальной продолжительности РС, продолжительности обеденных перерывов (ОП) основных ММ и т.п.) сформировать график работы (ГР) трудовых ресурсов. Для реализации соответствующего ПО необходимо определить математический аппарат, формализовать задачу повышения эффективности использования рабочего времени и распределения ресурсов, выбрать критерии отбора решений и синтезировать соответствующие алгоритмы.



Рисунок 1.15 – Модель процесса построения ПГД ППМ, ГО ЭПС и ГР ММ

На этапе формирования требований к ИО, МО и ПО ИСП ГР ММ необходимо учитывать особенности ССП для метрополитена. С одной стороны, необходимо использовать в качестве критерия отбора решений актуальные метрики КПЭ, связанные с численностью персонала, а с другой, обеспечить прогнозируемость продолжительности и стоимости внедрения ИСП ГР ММ на предприятии за счет создания методики автоматизированного управления ГР ПрК, занятых в реализации стадий жизненного цикла ИСУМ и его элементов.

С учетом существующих методик и ПО для построения расписания работы машинистов на железных дорогах [105, 49] в рамках диссертационной работы предлагается алгоритм распределения РС и назначения на них основных ММ, ранее не автоматизированная процедура построения их ГР.

Согласно трудовому кодексу РФ основным ММ необходимо предоставлять перерывы в работе на обед. На этот период времени на управление ЭПС привлекаются подменные ММ.

В рамках диссертационной работы предлагается процедура построения ГР подменных ММ, задействованных в управлении ЭПС в периоды ОП основных ММ.

При исследовании вопроса построения ГР ПрК, занятых процессом внедрения ИСП ГР ММ, интерес представляет задача распределения ресурсов в производственном цехе [140]. При реализации имитационной модели производственного цеха здесь используются временные сети Петри. Задача – определение исполнителей на каждом участке сети, при котором общее время выполнения не превысит заданных границ. По условию все ресурсы равнозначны в рамках выполнения одной задачи и задана четкая структура их выполнения.

Статья [99] посвящена построению расписания проекта с помощью гибридных генетических алгоритмов. Здесь на входе задаются фиксированные ресурсы и последовательность выполнения задач на проекте, основным критерием повышения эффективности использования рабочего времени

персонала выступает минимизация времени продолжительности проекта. По условию предполагается фиксированное время выполнения работ и исполнителей, также задана четкая структура выполнения.

Задача планирования работы команды по внедрению АИУС на метрополитене, которая ставится в диссертационном исследовании, может быть решена с применением генетического алгоритма, однако автором не найдено статей, описывающих готовый программный продукт, обладающий необходимым функционалом. Трудовые ресурсы, вовлеченные в процесс внедрения АИУС, обладают разной квалификацией и не могут считаться равнозначными, а потому должно быть доступно одновременное вовлечение одного участника ПрК в решение нескольких задач и решение одной задачи несколькими участниками ПрК.

В рамках диссертационной работы предлагается процедура автоматического построения ГР и определение состава ПрК при реализации стадий жизненного цикла ИСУМ и его элементов (гл.3).

Важным направлением исследования являлось создание ИО, МО и ОП средств автоматизации построения ГР ММ и ГР ПрК при реализации стадий жизненного цикла ИСУМ и его элементов с последующей их апробацией с помощью имитационных экспериментов.

Основные выводы и результаты по первой главе

1. Приведена классификация и проанализированы существующие подходы, методы и средства распределения трудовых ресурсов предприятий.

2. Проанализированы существующие системы и задачи управления рабочим временем персонала в различных отраслях экономики, методы их решения и автоматизации. Определена актуальность задач повышения эффективности использования рабочего времени персонала при различном типе занятости: построение расписаний ММ при посменной работе и график работ при проектной деятельности.

3. Определена актуальность задачи построения ГР ММ. Отличие данной задачи от построения ГР ЛБ на железнодорожном транспорте определяется условиями движения ЭПС и условиями работы.

4. Построена модель процесса совместного построения ПГД ППМ, ГО ЭПС и ГР ММ, являющаяся основой методики автоматизированного планирования работы ММ. Модель интегрирована в существующую модель жизненного цикла ПГД ППМ и ГО ЭПС.

5. Выявлена связь задач планирования рабочего времени ММ с жизненным циклом ПГД ППМ и ГО, которая позволила сформулировать и выполнить постановку задачи распределения времени работы ММ в рамках планирования всего перевозочного процесса.

6. Определены роль АИУС в построении ССП транспортного предприятия и необходимость корректного формирования модели ССП для использования точных критериев в разработке и модификации АИУС транспортного предприятия.

7. На основании многолетнего опыта внедрения АИУС на предприятиях различных отраслей, в том числе транспортной, сформированы базовые требования по загрузке персонала на проектах внедрения модульных АИУС. Предложены рекомендации по снижению рисков. Сформированные требования могут лечь в основу формализации задачи и построения

математического и программного обеспечения повышения эффективности использования рабочего времени персонала и затрат на их работу при внедрении АИУС на метрополитене, а именно ИСУМ.

8. Выполнены анализ современного состояния вопроса, классификация задач планирования реализации средств автоматизации, постановка и решение задачи повышения эффективности использования рабочего времени и построения ГР ПрК, привлеченных к реализации стадий жизненного цикла ИСУМ и его элементов.

2 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ И ФОРМИРОВАНИЕ ГРАФИКА РАБОТЫ МАШИНИСТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

2.1. Повышение эффективности использования рабочего времени основных машинистов метрополитена

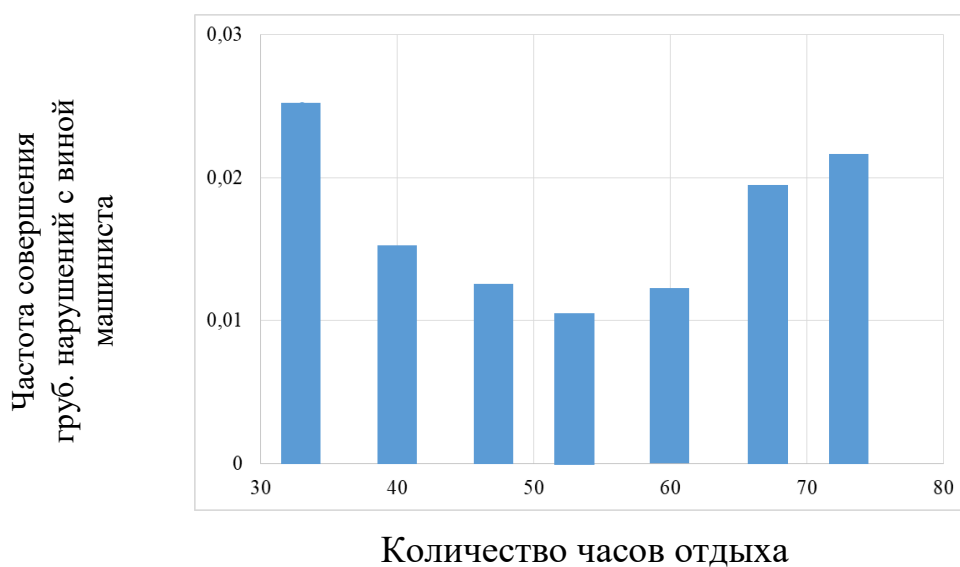
2.1.1. Постановка задачи

Представляет практический интерес комплексное решение задачи планирования движения поездов, формирование ГО ЭПС и построение рабочего расписания персонала метрополитена. Потребность в персонале является входным условием в задаче повышения эффективности использования рабочего времени и привлечения персонала к управлению поездами метрополитена.

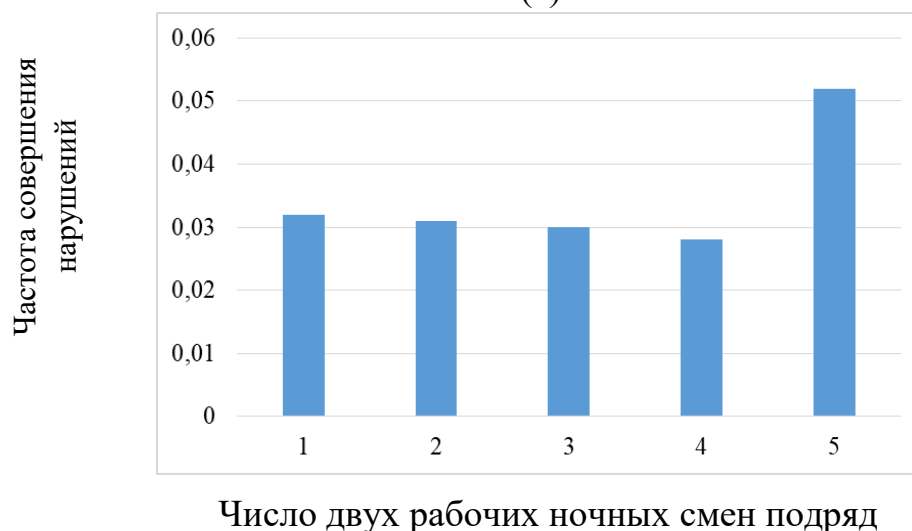
Человеческий фактор наряду с состоянием инфраструктуры и подвижного состава является основным, влияющим на безопасность транспортных систем. Факторы, характеризующие работу машинистов, можно разбить на следующие группы [17, 141-143]:

- трудовая дисциплина (опоздания на работу, прогулы, дисциплинарные взыскания и т.п.);
- технологическая дисциплина (нарушения безопасности движения, перерасход топлива или энергии и т.п.);
- технические знания (баллы, получаемые за плановое и неплановое тестирование по различным областям профессиональной деятельности);
- психологические факторы (группа профпригодности);
- социальные факторы (возраст, семейное положение, образование, количество несовершеннолетних детей и т.п.);
- внешние факторы (режим труда и отдыха, погода на улице, различные экстренные ситуации в дороге).

Анализ статистических данных на Российских железных дорогах [17] показал, что нарушение пропорции между периодами труда и отдыха – резкое увеличение одного и сокращение другого, при этом в обе стороны, приводит к значительному (более, чем в два раза) увеличению частоты нарушений в работе машинистов. Ограничения в работе ММ сформированы, в том числе, исходя из статистических данных, пример такой аналитики приведен на Рисунке 2.1.



(a)



(б)

Рисунок 2.1 – Зависимость частоты совершения грубых нарушений машинистом в зависимости от режима труда и отдыха

Согласно статистике, приведенной на Рисунке 2.1 (а), число грубых нарушений возрастает как при работе с низкой продолжительностью отдыха за период, так и при привлечении сотрудников на незначительные периоды времени работы [144]. На Рисунке 2.1 (б) видно, что частота совершения нарушений незначительно колеблется при четырехразовом привлечении сотрудников к работе в ночные периоды две смены подряд и значительно увеличивается после пятой итерации.

Создание и внедрение современных автоматизированных средств планирования способствует повышению качества режима труда и отдыха [145-148], культуры обслуживания пассажиров [149], а также реализации концепции бережливого производства. Использование стандартных средств управления персоналом в этом случае невозможно, так как смены сотрудников напрямую зависят не только от формальных требований к условиям труда, сформулированных в первую очередь на базе Трудового кодекса РФ [106], Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха работников метрополитена, но и от ПГД.

Результатом планирования функционирования транспортной системы является ПГД S_M^P , например, ППМ. С ним тесно взаимосвязаны ГО ЭПС (S_V) и ГР ММ (S_W). Эти три графика, а именно множество элементов их реализации, ($S = \{S_M^P \cup S_V \cup S_W\}$) имеют жизненный цикл, на каждом из этапов которого они находятся в тесном взаимодействии (п. 1.6 Рисунок 1.14).

При подготовке исходных данных для автоматизированного построения S производится проверка условий реализуемости [17] заданных размеров движения – проверка на наличие необходимых ресурсов, в том числе трудовых.

В ходе автоматизированного построения S_M^P по возможности учитываются ограничения на минимальную и максимальную продолжительность РС ММ, требуемые условия труда в процессе последующего построения S_W [17].

В ходе автоматизированного анализа и передачи S заинтересованным службам после успешного построения проводится расчет эксплуатационных измерителей и показателей качества каждого из элементов S [144, 150].

По аналогии с тем, что для S_M^P вычисляются значения критериев равномерности ввода или снятия составов; интервалов движения, а для S_V – значения критерия равномерности проведения осмотров и ремонтов ЭПС, для S_W можно ввести критерии равномерности длительности РС, длительности периодов отдыха, интервалов времени между началами РС, времени переработки количества СР не по норме, и рассчитывать их для каждого ММ, состава или S_W в целом [144].

Одновременно в качестве критерия качества S_W можно рассматривать количество ММ N_W , задействованных в его реализации.

Анализ результатов эксплуатации S предусматривает сравнение S_M^P и графика исполненного движения S_M^R (ГИД), вычисление значений эксплуатационных измерителей для S_M^R и сравнение с плановыми значениями, определение меры влияния возмущающих факторов на успешную реализацию элементов S . ГИД позволяет оценить качество управления движением поездов метрополитена и устойчивость ПГД ППМ к воздействию возмущающих факторов [145].

По аналогии с критериями, введенными для оценки S_M^R , можно ввести критерии оценки качества исполнения S_V и S_W . Кроме фактических времен начала и окончания движения ЭПС и работы ММ, а также фактической продолжительности интервалов движения ЭПС без осмотров, их длительностей и фактических периодов труда и отдыха ММ можно ввести следующие критерии качества:

- фактическая величина превышения допустимых значений продолжительности интервалов движения ЭПС без осмотров, периодов труда и отдыха ММ, снижение длительности осмотров ниже допустимых значений;
- реализация S_V :

- количество отмененных осмотров;
- количество перенесенных осмотров;
- количество дополнительно выполненных осмотров;
- коэффициент выполнения S_V (отношение количества фактически выполненных осмотров к количеству плановых);
- количество дополнительных РС;
- реализация S_W :
 - количество дополнительно выполненных осмотров;
 - количество дополнительных РС;
 - коэффициент выполнения S_W ;
- равномерность S_V :
 - критерий равномерности S_V , вычисленный по данным S_M^P ;
 - коэффициент равномерности выполнения S_V – отношение фактических значений критериев равномерности S_V , вычисленные по данным S_M^P , к их плановым значениям;
- равномерность S_W :
 - критерий равномерности S_W , вычисленный по данным S_M^P ;
 - коэффициент равномерности выполнения S_W – отношение фактических значений критериев равномерности S_W , вычисленные по данным S_M^P , к их плановым значениям;
- время восстановления графика для S_W (с момента ликвидации причины сбоя до возвращения последнего ММ в график) – время вхождения в график.

При модернизации S предполагаются решения по модернизации элементов S с целью повышения его качества и устойчивости к воздействию возмущающих факторов, а значит, минимизации значений выбранных критериев качества.

В ходе диссертационного исследования сформулированы ключевые требования к организации труда ММ (Рисунок 2.2). Для соблюдения

обязательных требований проанализированы следующие нормативные документы: Трудовой кодекс РФ [106], Положение об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха работников метрополитена (Таблицы 2.1 и 2.2).

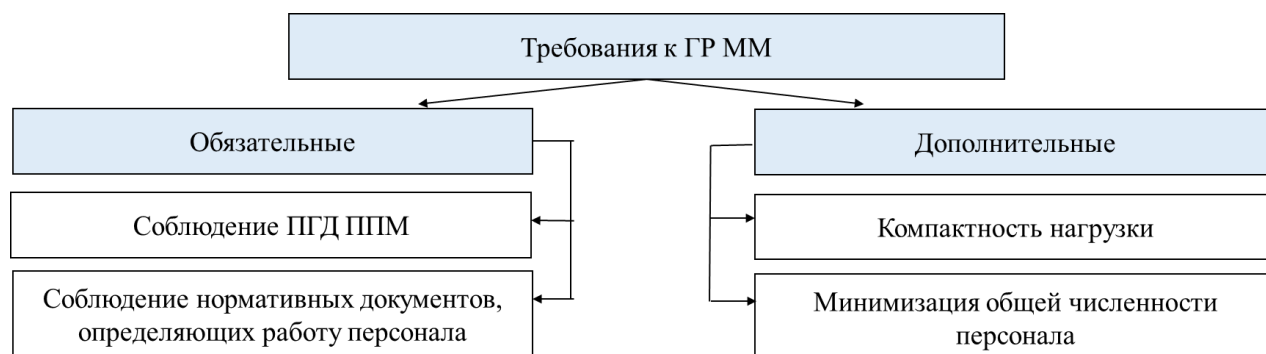


Рисунок 2.2 – Требования к графику работы ММ

Процесс построения S_W можно рассматривать как завершающий подпроцесс процесса автоматизированного построения S , который происходит после окончания построения S_M^P и S_V , или как один из подпроцессов процесса автоматизированных анализа и передачи S заинтересованным службам.

На выходе производится анализ результатов, объединение этих трех графиков и сравнение рассчитанных и реальных параметров численности рабочего персонала (Рисунок 1.15).

Множества основных M_{MW} , подменных M_{HW} и маневровых M_{LW} ММ могут пересекаться, так как один и тот же ММ в разные моменты времени может быть задействован в реализации различных действий. Множество ММ представляет собой объединение этих трех множеств: $M_W = \{M_{MW} \cup M_{HW} \cup M_{LW}\}$.

На Рисунке 2.3 приведен пример ГО ЭПС, использованного при тестировании ИСП ГР ММ.

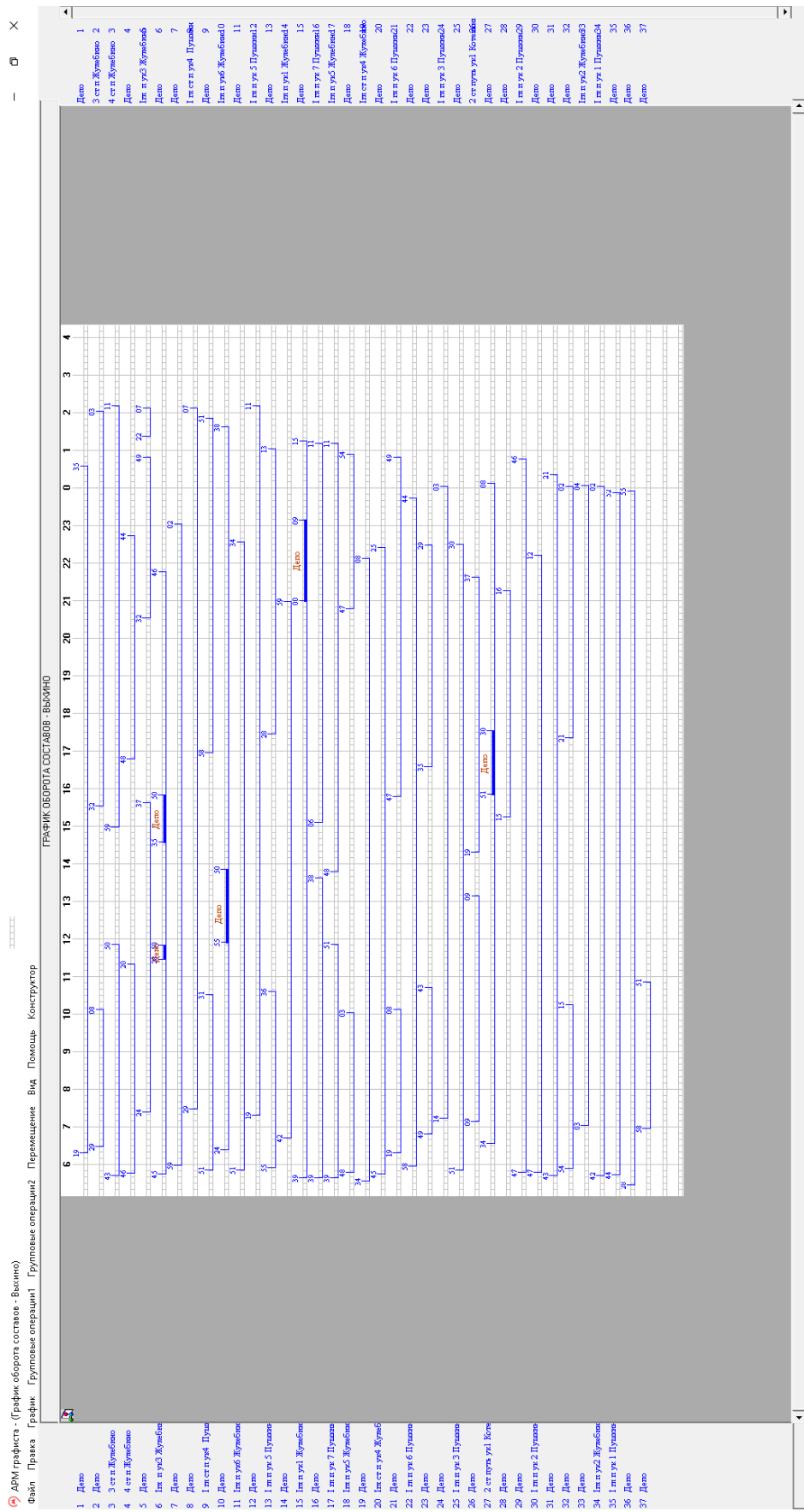


Рисунок 2.3 – ГО ЭПС депо «Выхино», Таганско-Краснопресненская линии

Таким образом, построение ГР ММ сводится к распределению ПГД ППМ на РС и распределение РС между разными машинистами. При этом критерий качества решения можно описать следующим образом:

$$|M_W| \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где $|M_W|$ – мощность множества M_W .

Для описания ограничений работы ММ вводятся следующие константы:

$T_{train}^{\max}$ – продолжительность движения поездов по линии в течение суток, которая обычно составляет 21,5 часа (с 5:00 до 2:30 следующих суток);

P^0 – число дней в отчетном периоде (1 или 3 месяца);

T_{max}^{day} – максимально возможный промежуток времени в рамках суток, ограниченный величиной $T_{train}^{\max}$. При расчете РС ночные смены учитываются в рамках суток, когда они были начаты;

T_{fi}^{day} – промежутки работы, обеденного времени или отдыха, ограниченные одними сутками, где f – тип деятельности, i – порядковый номер промежутка из L промежутков;

T_{0i}^{day} – промежуток времени, ограниченный одними сутками, отведенный под отдых, где i – порядковый номер промежутка;

T_{1i}^{day} – промежуток времени, ограниченный одними сутками, отведенный под работу, где i – порядковый номер промежутка. Если смена включала в себя ОП, то продолжительность смены определяется суммой двух промежутков времени – i и $i + 1$;

T_{2i}^{day} – промежуток времени, ограниченный одними сутками, отведенный под перерывы в работе, где i – порядковый номер промежутка;

a_j – ограничения в работе ММ (измеряется в часах), продиктованные нормативными актами, где j – номер ограничения.

$t_{fi,st}^{day}, t_{fi,fin}^{day}$ – время начала и окончания промежутка времени T_{fi}^{day} .

Ограничения, накладываемые на ГР ММ, описаны и формализованы в Таблицах 2.1 и 2.2 [139]. Условные обозначения и величина ограничений a_j , используемые в формулах, приводятся в первом столбце таблицы.

Таблица 2.1 – Условия работы. Источник – «Трудовой кодекс РФ»

п/п	Лингвистическое описание условия	Формализованное описание условия
1.1	Работа в течение двух смен подряд запрещается	(Подробнее описано в условии 2.1)
1.2	Рабочий день может быть разделен на части с тем, чтобы общая продолжительность рабочего времени не превышала установленной продолжительности ежедневной работы.	(Подробнее описано в условии 2.1)
1.3	Для работников, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, допускается не более 36 рабочих часов (a_1) в неделю	$\sum_{k=1}^7 \sum_i T_{1i}^{day} \leq a_1$ $i = 1 \dots L$
1.4	В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов (a_2) и не менее 30 минут (a_3) Дополнительное условие – о невозможности проводить ОП в первые 30 минут работы (a_4)	$a_3 \leq T_{2i}^{day} \leq a_2$ $t_{21,st}^{day} - t_{11,st}^{day} \leq a_4$
1.5	Продолжительность еженедельного непрерывного отдыха не может быть менее 42 часов (a_5).	$\begin{cases} \max(t_{11,st}^{day'} - t_{1L,fin}^{day}) \geq a_5 \\ [t_{1i,st}^{day''}; t_{1L,fin}^{day''}] \notin [t_{1L,fin}^{day}; t_{11,st}^{day'}] \end{cases}$ $day = 1, \dots, 6$ $day' = 2, \dots, 7$ $day'' = 1, \dots, 7$
1.6	В нерабочие праздничные дни допускается производство работ, приостановка которых невозможна по производственно-техническим условиям работ, вызываемых необходимостью обслуживания населения	(Учитывается при формировании смен)

Таблица 2.2 – Условия работы. Источник – положение «Об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха работников метрополитена»

п/п	Лингвистическое описание условия	Формализованное описание условия
2.1	Рабочих часов в день: $\leq 8,5$ (a_6) или ≤ 12 (a_7) в 2 смены (при этом $8 + < 4$) (a_8, a_9)	$\sum_i T_{1i}^{day} \leq a_6$ $i = 1, 2$ или $\begin{cases} \sum_i T_{1i}^{day} \leq a_7, i = 1, \dots, 3 \\ T_{11}^{day} + T_{12}^{day} \leq a_8, \\ T_{13}^{day} \leq a_9 \end{cases}$
2.2	Нельзя устанавливать более 2-х смен подряд, охватывающих промежуток от 00:00 до 5:00 часов по местному времени ($[a_0; a_{10}]$)	Если $\begin{cases} t_{1i,fin}^{day} \in [a_0; a_{10}] \\ t_{1i,fin}^{day+1} \in [a_0; a_{10}] \end{cases}$, то $t_{1i,fin}^{day+2} \notin [a_0; a_{10}]$
2.3	Через 3-4,5 (a_{11}, a_{12}) после начала работы необходим перерыв на обед (0,5 – 2 часа) (a_{13}, a_{14})	Если $T_{1i}^{day} \geq a_{12}$, то $\begin{cases} t_{11,st}^{day} + a_{11} \leq t_{12,st}^{day} \leq t_{11,st}^{day} + a_{12} \\ a_{13} \leq T_{21}^{day} \leq a_{14} \end{cases}$
2.4	Отдых сегодня $\geq 2 \times$ Работа вчера (a_{15})	$a_{15} \sum_i T_{1i}^{day} \leq \sum_i T_{0i}^{day+1}$
2.5	Отдых сегодня ≥ 12 часов (a_{16})	$\sum_i T_{0i}^{day} \geq a_{16}$
2.6	Число выходных дней $a_{18} \geq$ число воскресных дней в отчетном периоде a_{17} .	$\begin{cases} a_{17} = \sum_{k=1}^{p^0} \{(24 - \sum_i T_{0i}^{day}) = 0\} \\ a_{18} \geq a_{17} \end{cases}$
2.7	Машинисты могут консолидировать отдых и брать разом (но только за 2 недели)	(Нет противоречия условиям 1.3, 1.5, 2.6)
2.8	Перерыв для отдыха от 25 минут (a_{19}) при работе свыше 7 часов (a_{20})	Если $T_{2i}^{day} \geq a_{19}$ то $\sum_i T_{1i}^{day} \geq a_{20}$
2.9	При работе ночью в 2 смены перерыв между ними должен быть $\geq 2,5$ часа (a_{21}).	Если $\begin{cases} t_{1i,fin}^{day} \in [a_0; a_{10}] \\ t_{11,st}^{day+1} \in [a_0; a_{10}] \end{cases}$ то $t_{11,st}^{day+1} - t_{1i,fin}^{day} \geq a_{21}$ Или если $\begin{cases} t_{1i,fin}^{day} \in [a_0; a_{10}] \\ t_{1i-1,fin}^{day1} \in [a_0; a_{10}] \end{cases}$ то $t_{1i,st}^{day} - t_{1i-1,fin}^{day1} \geq a_{21}$

К особенностям формирования ГР ММ можно отнести необходимость учета правил приемки и сдачи ЭПС (с учетом рассматриваемой станции), так как рабочее время ММ не ограничивается временем движения ЭПС. Модели, определяющие действия ММ и другого рабочего персонала (диспетчеры, мойщики, инструкторы, медработники и т.д.) при приемке и сдаче ЭПС в различных условиях (в зависимости от места нахождения состава: промежуточная станция, электродепо, тупик) и позволяющие выполнить их учет в алгоритмах планирования работы ММ, представлены на Рисунках 2.4 и 2.5.

Модели построены с использованием параметров, описанных в Таблице 2.3. Конкретные виды работ, связанные с приемкой-сдачей ЭПС, прохождением предрейсового и послерейсового медосмотра (ПРМО), проходом, проследованием до мест нахождения комнат отдыха (КО) и последовательностью выполнения отдельных элементов работы, зависят от ПГД, вида приемки-сдачи и места, где они производятся.

Таблица 2.3 – (а) Расчетные нормативы времени для ММ

Наименование составляющих элементов	Время в мин.
Приемка ЭПС	
Прохождение медицинского осмотра, получение маршрутного листа. Ознакомление с диспетчерскими указаниями, с приказами и указаниями, с информационными бюллетенями, получение указаний от машиниста-инструктора и оператора. Ознакомление с книгой ремонта, получение указаний от дежурного по депо, ручки КВ. Получение поездного инвентаря.	до 11,42
Ознакомление с состоянием состава, получение указаний, получение ручки КВ, маршрутного листа, поездного инструмента и инвентаря. Проверка устранения неисправностей на вагонах по записям в книге ремонта.	2,31
Оформление выхода из тоннеля у ДСП (дежурный станционного поста или дежурный по станции). Сдача маршрутного листа, ручки КВ, написание донесения при необходимости на линейном пункте.	2,9
Проход машиниста по установленному маршруту.	местный норматив
Проход машиниста к месту стоянки ЭПС	местный норматив
Приёмка электроподвижного состава согласно Инструкции И-015ТЭ.	16,4 - 37,0
Проезд электроподвижного состава до светофора «Е».	местный норматив
Проезд электроподвижного состава на главный станционный путь.	местный норматив
Смена машиниста на промежуточной станции согласно Инструкции И-015ТЭ.	1,15
Дополнительная информация	
Проход от КО – ДСП	7,0
Проход одного указателя	3,0
Проход из локации дежурного по депо (ДДЭ) – здрав. пункт	2,0
Проход из ДДЭ – инструментальная	3,0
Проход из ДДЭ – место стоянки подвижного состава	2,0
Проход из КО – ДДЭ	3,0
Проход от места стоянки подвижного состава – инструментальная	5,0

Таблица 2.3 – (б) Расчетные нормативы времени для ММ

Наименование составляющих элементов	Время в мин.
Сдача ЭПС	
Проезд электроподвижного состава к месту расстановки	местный норматив
Оформление выхода из тоннеля у ДСП. Сдача маршрутного листа, ручки КВ, написание донесения при необходимости на линейном пункте.	2,9
Следование электроподвижного состава от входного светофора до указателя остановки на деповском пути.	местный норматив
Проходы машиниста по установленному маршруту.	местный норматив
Сдача инструмента, ручки КВ и маршрутного листа. Запись в книгу ремонта и написание донесения по необходимости.	3,12
Мойка подвижного состава по графику.	местный норматив
Сдача подвижного состава согласно Инструкции И-015ТЭ.	6 - 21,1
Смена машиниста на промежуточной станции согласно Инструкции И-015ТЭ.	1,15
Написание донесения при необходимости.	0,62
Проход (проезд) на линейный пункт.	местный норматив
Сдача маршрутного листа и донесения.	0,88
Проход (проезд) на линейный пункт.	местный норматив
Дополнительная информация	
ПРМО (ДДЭ, направление на ПРМО, роспись – проход до ПРМО – ПРМО – проход до ДДЭ и сдача маршрутного листа, роспись)	10,0
Следование ЭПС от входного светофора до указателя остановки на деповском пути	5,0
Проезд ЭПС с канавы до светофора «Е»	4,0
ПРМО (линейный пункт, направление на ПРМО, роспись – ПРМО – сдача маршрутного листа, роспись)	10,0
ПРМО (получение маршрутного листа – ПРМО – ознакомление с приказами, указаниями, инструктаж у машиниста-инструктора, роспись в книге приказов – смена машиниста)	15,0

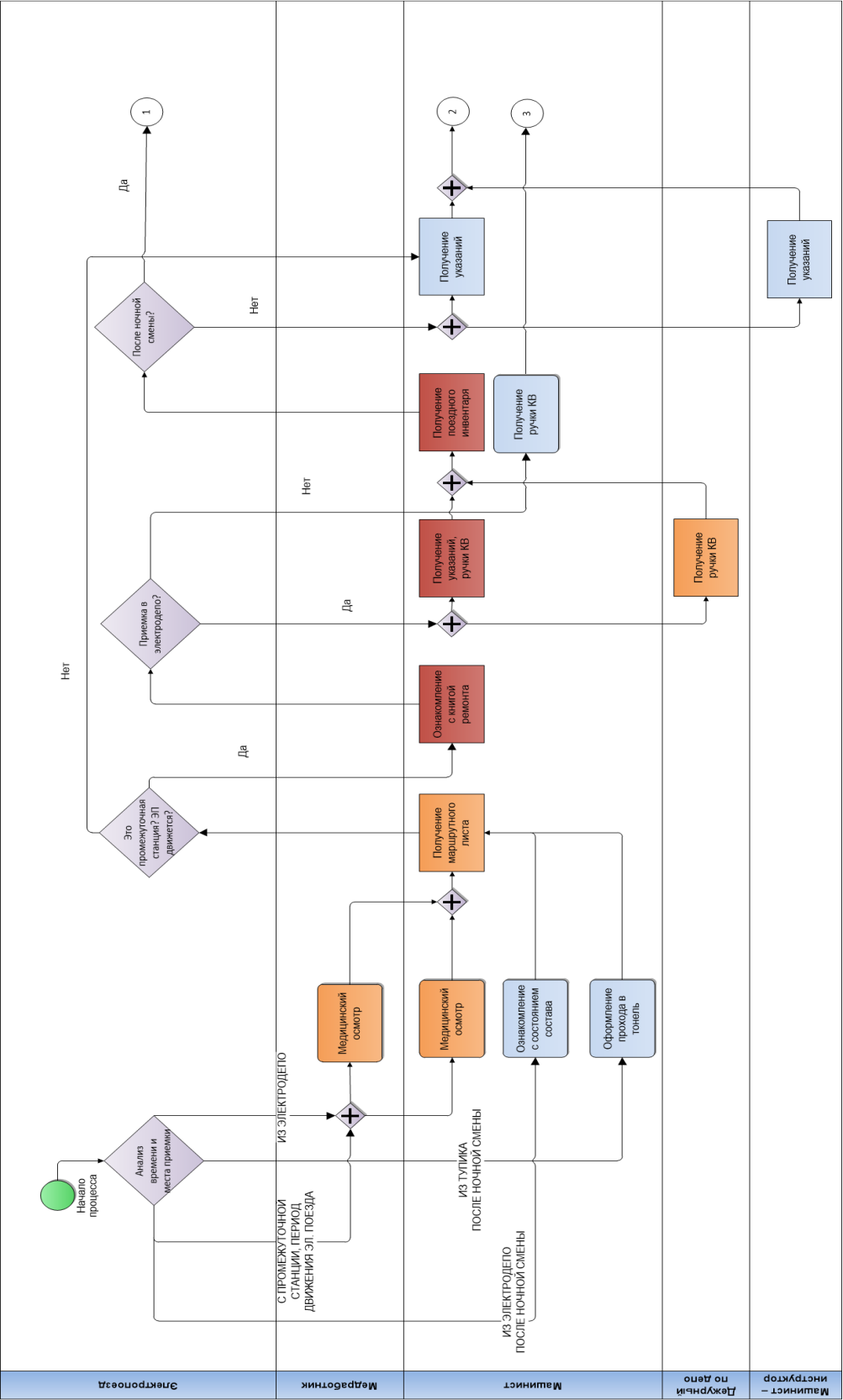


Рисунок 2.4 – Модель процесса приемки ЭПС (а)

Рисунок 2.4 – Модель процесса приемки ЭПС (б)

Рисунок 2.5 – Модель процесса сдачи ЭПС

2.1.2. Выбор и обоснование метода решения задачи

Решение задачи построения ГР основных ММ проводилось в два этапа:

- первичное деление ГО ЭПС на рабочие интервалы (РИ), из которых формируются РС с учетом перерывов в работе, приемки и сдачи ЭПС;
- распределение времени работы ММ по графику РИ.

Распределение ГО по РС проводилось со следующими особенностями:

- равномерное разделение ГО таким образом, чтобы продолжительность РИ не превышала фиксированное значение (один из параметров модели, не включающий время приемки / сдачи ЭПС);
- «укорачивание» первого в сутки РИ проводилось в случае, когда между его началом и окончанием последнего РИ накануне существует такой промежуток времени (в рассматриваемых примерах 3 часа), который допускает теоретическую возможность связи этих РИ. Такой подход допускает возможность связи этих РИ, т.е. может выполняться условие выхода одного ММ на оба РИ. На Рисунке 2.6 приведена схема «смещения» РИ. Красным цветом выделены границы суток, пунктиром указано разбиение РИ без «смещения», черные границы разделяют ГО на РИ после «смещения».

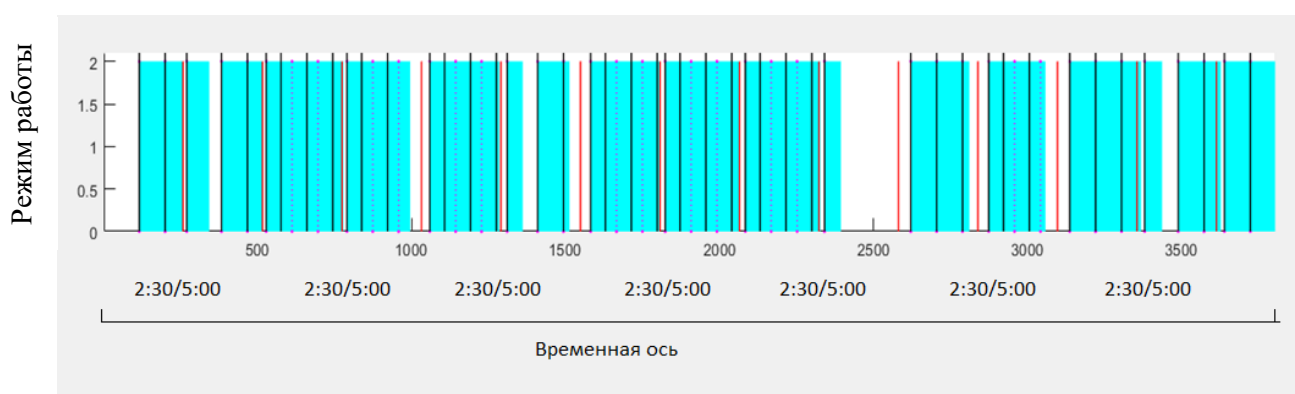


Рисунок 2.6 – Схема деления ГО на РИ

Для решения задачи формирования ГР основных ММ разработан алгоритм построения S_{MW} (Рисунок 2.7), заключающийся в рекурсивном

вызове процедуры добавления в S_{MW} РИ, необходимого для реализации заданного элемента e_V ГО ЭПС S_V , начиная с заданного момента времени τ при заданной последовательности работы РИ, реализующих предыдущие и текущий элементы ГО до момента времени τ , т.е. при заданном текущем составе основных ММ M_{MW} и S_{MW} . При первом вызове этой процедуры в качестве фактических значений ее параметров выступают:

- первый элемент S_V ;
- значение времени, равное началу первого элемента S_V ;
- пустое множество $M_{MW} = \emptyset$;
- пустое множество $S_{MW} = \emptyset$.

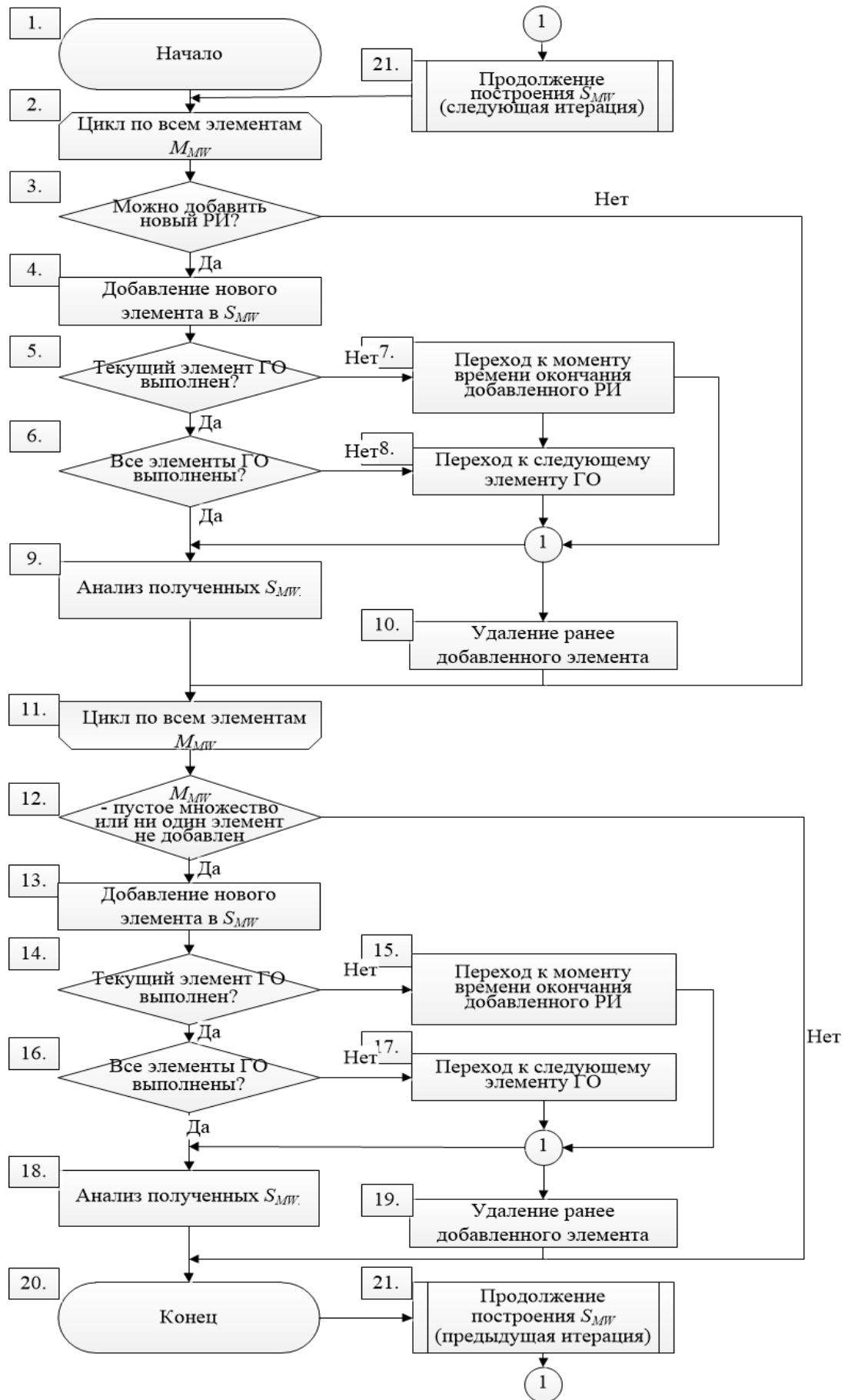


Рисунок 2.7 – Схема алгоритма распределения ММ по РС

Блок 1: Начало алгоритма.

Блок 2-11: В ходе выполнения процедуры в цикле для всех элементов множества M_{MW} проверяется условие возможности добавления РИ, реализующего заданный e_V с момента времени t , в соответствии с правилами организации режима труда и отдыха.

Блок 3: Условие возможности добавить новый РИ учитывает:

- чередование работы разных ММ;
- чередование периодов работы и отдыха одного ММ в течение суток, одной и двух недель с учетом работы в ночное время;
- минимальную и максимальную продолжительности РИ и периодов отдыха в течение суток, одной и двух недель с учетом работы в ночное время.

Блок 4: В случае, если добавление РИ согласно ГО отвечает ограничениям работы рассматриваемого ММ (Таблицы 2.1 и 2.2), выполняется добавление РИ для текущего элемента в множество S_{MW} . Затем алгоритм переходит к блоку 5. Если добавление РИ для текущего ММ невозможно, то алгоритм переходит к блоку 11, и рассматривается следующий ММ.

Блок 5: Выполняется проверка на выполнение текущего элемента ГО. Если текущий элемент ГО выполнен, то алгоритм переходит к блоку 6. Если текущий элемент не выполнен, то рассматривается следующая РС текущего элемента (блок 7), после чего алгоритм вызывается заново (1).

Блок 6: Выполняется проверка на выполнение всех ГО рассматриваемого промежутка. Если не все элементы ГО выполнены, то алгоритм переходит к следующему элементу ГО, и в качестве заданного e_V начинает рассматриваться следующий элемент S_V (блок 8), после чего алгоритм вызывается заново (1).

Блок 9: После прохождения всех элементов ГО полученное решение S_{MW} анализируется. Критериями анализа являются:

- минимизация среднеквадратичного отклонения (СКО) длительности всех РИ ММ (предполагается привлечение основных ММ к работе на

равнозначные промежутки времени, соответствующие требованиям к их рабочей неделе);

– минимизация числа ММ.

Блок 10: Удаление ранее добавленного элемента производится для того, чтобы рассмотреть все возможные последовательности работы ММ в рамках M_{MW} .

Блок 11: Завершение цикла по всем ММ (элементам M_{MW}).

Блок 12: В случае, если условие добавления РИ из ГО не реализуется ни для одного ММ из массива элементов M_{MW} (или при первом вызове рекурсивного алгоритма, когда массив M_{MW} нулевой), добавляется новый элемент множество M_{MW} . При добавлении нового ММ добавление нового РИ не проверяется на соответствие ограничениям работы ММ (Таблицы 2.1 и 2.2) по условию деления ГО на РИ, поскольку новый ММ ранее не был задействован в расписании.

Блоки 13-19: зеркально повторяют блоки 4-10.

Блок 20: Конец алгоритма.

Блок 21: Возвращение из рекурсивного вызова процедуры добавления в S_{MW} РС с новыми параметрами.

Критерий равномерности назначения основных ММ на сформированное расписание РИ $R_M(x_1, \dots, x_N)$ формализуется следующим образом:

$$R_M(x_1, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^{I_{MW}} \left[\sum_{k=1}^N (f_{Mk} | x_k = i) \right]^2, \quad (2.2)$$

где x_k – номер основного ММ, задействованного для реализации k -го РИ;

f_{Mk} – вес ребра, соответствующего назначению выбранного основного ММ на k -й РИ, равный длительности РИ;

N – продолжительность процесса, число РИ;

$i = 1, \dots, I_{MW}$ – возможные значения номера основного ММ из результирующего множества M_{MW} ;

I_{MW} – число задействованных основных ММ, мощность множества M_{MW} .

Оценкой сверху мощности множества решений можно считать $(I_{MW})^N$. Оценка сверху сложности алгоритма аналогична сложности алгоритмов обхода графов по глубине и ширине [151]. Время выполнения для обоих – $O(V + E)$, где V – количество вершин, E – количество ребер в графе. Схема построения древовидного графа визуализирована на Рисунке 2.8. В качестве вершин графа выступают элементы множества M_{MW} . Каждая ветвь определяет последовательную реализацию всех РИ в рамках S_{MW} . В качестве истока дерева всегда выступает первый элемент множества M_{MW} , каждый следующий РИ может отработать любой из участвующих в процессе реализации S_{MW} основной ММ.

Количество вершин графа можно оценить по формуле [139]:

$$V = 1 + \sum_{i=0}^{N-1} I_{MW} (I_{MW} - 1)^i, \quad (2.3)$$

Количество ребер графа можно оценить по формуле [139]:

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} I_{MW} (I_{MW} - 1)^i, \quad (2.4)$$



Рисунок 2.8 – Схема определения сложности алгоритма распределения ММ по РИ

В следующих разделах представлены результаты работы алгоритма и сравнения их с данными реальных линий.

2.2. Повышение эффективности использования рабочего времени подменных машинистов метрополитена

2.2.1. Постановка задачи

В соответствии с требованиями труда и отдыха основных ММ должны быть предусмотрены ОП в их работе (Таблица 2.1). Согласно Рисунку 1.14 ГР подменных ММ формируется с учетом ГР основных ММ. При формировании ГР подменных ММ для линии выбирается станция метрополитена, оборудованная под проведение ОП для основных ММ (фрагменты ПГД ППМ в Приложениях 2,3). Данную функцию можно выполнять на более, чем одной станции на линии. После чего производится анализ ПГД на предмет выявления возможности проведения ОП, а именно интервалов времени между двумя прибытиями одного и того же маршрута на оборудованную под проведение ОП станцию, на которой основные ММ могут смениться подменными ММ.

На Рисунке 2.9 приведен пример сформированных возможностей для проведения ОП для фрагмента Замоскворецкой линии (ЗЛ) (красным и голубым цветом выделены интервалы времени между моментами прибытия маршрутов на станцию Автозаводская по I и II главным путям ЗЛ). Часть промежутков не подходит для проведения ОП (красная маркировка) по следующим причинам:

- промежуток не удовлетворяет условиям работы основных ММ (Таблица 2.1, условие 1.4 и Таблица 2.2, условие 2.3);
- начало промежутка попадает на конец РИ и отработать осталось менее заданного времени (20 минут), в этом случае проведение ОП считается нецелесообразным;
- продолжительность РИ позволяет не проводить ОП;
- ОП для данного основного ММ уже предоставлялся в текущих сутках.

Для решения задачи формируется дерево возможностей для проведения ОП. Вершины описывают промежутки ОП с указанием времени их начала и окончания, принадлежности к определенному маршруту, номера подменного ММ, который реализует данный ОП. Каждому подменному ММ соответствует свой цвет. Примеры таких деревьев будут рассмотрены в главе 4 п. 4.3.

Значение критерия назначения подменных ММ на сформированное расписание РИ и выбор промежутков под проведение ОП основных ММ R_H определяется суммарной продолжительностью промежутков между привлечением ММ к работе (в рамках суток), простым ММ, который находится по формуле:

$$R_H = \sum_{i=2}^{I_{HW}} \sum_{d=2}^{N_{D_i}} (t_{id}^{\text{нач}} - t_{id-1}^{\text{кон}}), \quad (2.5)$$

где d – идентификатор промежутка подмены;

$t_{id}^{\text{нач}}$ – начало не первого промежутка подмены;

$t_{id-1}^{\text{кон}}$ – окончание не последнего промежутка подмены;

N_{D_i} – продолжительность процесса для i -го подменного ММ, количество выполненных им подмен;

I_{HW} – число задействованных подменных ММ.

Оценкой сверху мощности множества решений можно считать $(I_{HW})^{N_D}$, где N_D – продолжительность процесса (число РС, для которых должны быть реализованы ОП).

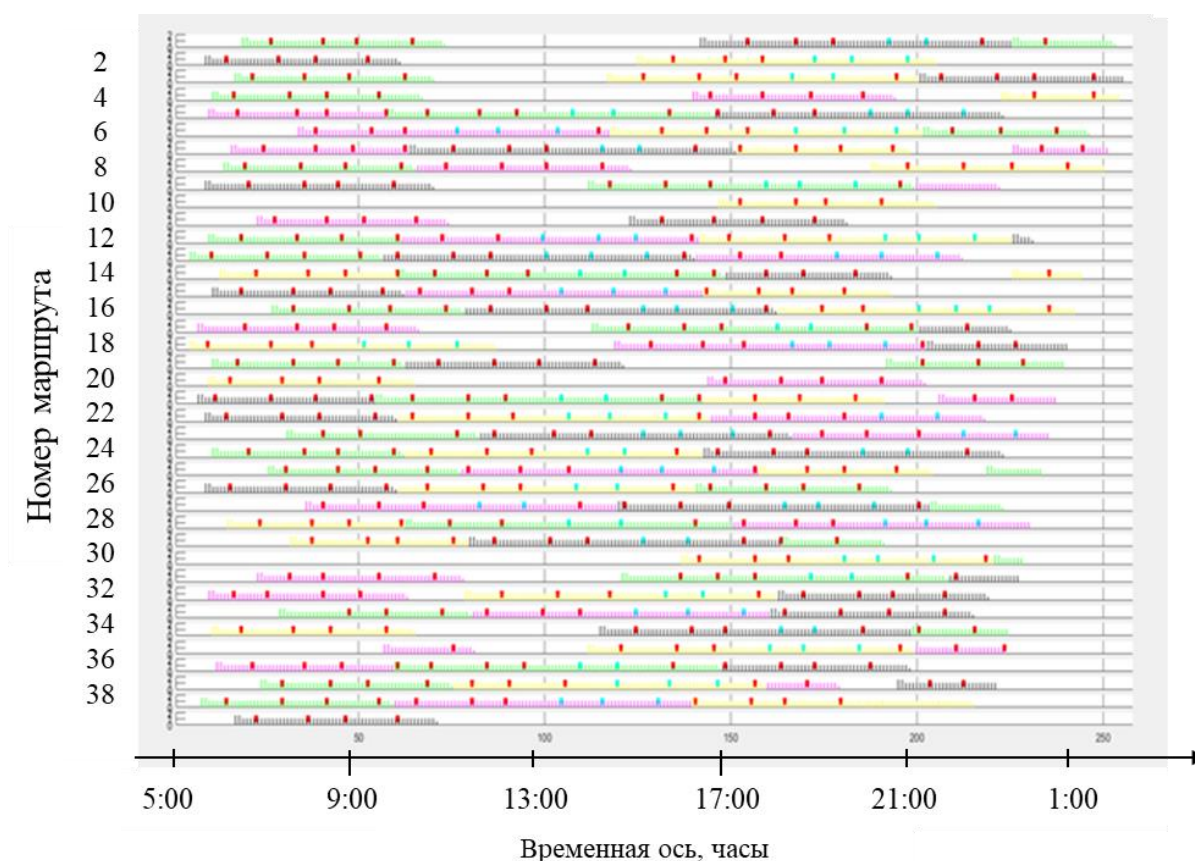


Рисунок 2.9 – ГР основных ММ с возможными ОП, ЗЛ

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основного ММ №2; желтым – основного ММ №3; розовым – основного ММ №4; красным цветом указаны возможности для осуществления подмен, голубым цветом указаны промежутки, подходящие для проведения ОП.

2.2.2. Выбор и обоснование метода решения задачи

Для решения задачи построения ГР подменных ММ автором формализован и реализован алгоритм формирования ОП основных ММ и расписания работы подменных ММ [139]. (Рисунок 2.10).

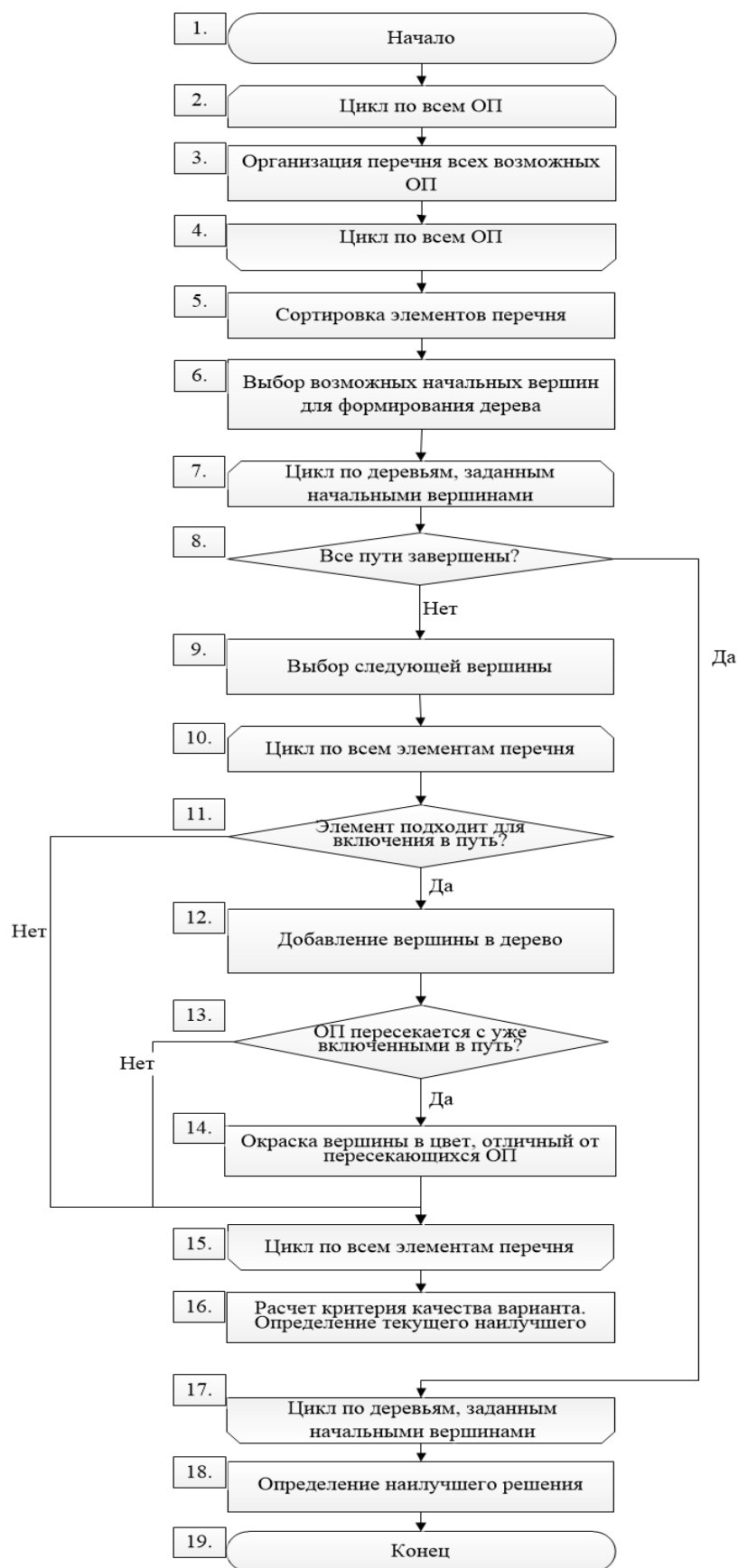


Рисунок 2.10 – Алгоритм формирования ОП основных ММ и ГР подменных ММ

Блок 1: Начало работы алгоритма.

Блоки 2-4: Для всех сформированных РС согласно правилам формирования ОП (не ранее чем через 3 часа работы и не позже чем через 4,5 часа работы ММ, условие 2.3 Таблицы 2.2) выбирается перечень возможностей для перерывов в работе (в рамках одной РС может быть несколько возможностей).

Блок 5: Производится сортировка всех элементов перечня (потенциальных ОП) в порядке возрастания моментов времени, когда они начинаются.

Блок 6: Для последующего построения дерева ОП выбираются те элементы перечня, которые можно считать начальными вершинами (после них в ряде отсортированных значений встречаются хотя бы по разу все РС, для которых запланированы ОП).

Блок 7-17: Для каждой из вершин, выбранных в качестве начальных, реализовано построение дерева возможностей для проведения ОП.

Блок 8: В случае, если все пути в рамках дерева построены, алгоритм переходит к следующему дереву (блок 17). Если нет – продолжается построение текущего дерева (блок 9).

Блок 10-15: Цикл по всем элементам отсортированного перечня возможных ОП.

Блок 11: Рассматриваются все элементы перечня, удовлетворяющие следующим условиям:

- элемент стоит в перечне отсортированных элементов правее элемента, соответствующего рассматриваемой вершине;
- элемент не относится к той же РС, что предыдущие вершины дерева в рассматриваемом пути;
- правее этого элемента в ряде отсортированных значений встречаются хотя бы по разу все РС, для которых запланированы ОП, но они еще не включены в рассматриваемый путь дерева.

В случае, если элемент не удовлетворяет условиям, он исключается из рассмотрения, и осуществляется переход к блоку 15.

Блок 12: Если элемент удовлетворяет условиям в блоке 11, то в дерево ОП добавляется вершина, ему соответствующая, в качестве следующей к рассматриваемой. При этом цвет элемента зависит от номера задействованной для его реализации подменного ММ.

Блок 13: Если начало добавленного элемента пересекается с промежутками ОП, уже использованных в рассматриваемом пути дерева, то элемент окрашивается в цвет, отличный от тех вершин, с которыми он пересекается (блок 14), т.е. привлекается еще один подменный ММ к реализации вершины. Алгоритм определения минимального числа ММ, которых необходимо задействовать в качестве подменных, приведен на Рисунке 2.11 (для рассматриваемого в п.4.3 примера с 14 маршрутами расчетное значение эквивалентно трем ММ).

Блок 15: Окончание цикла по всем элементам перечня.

Блок 16: После прохождения всех элементов и завершения каждого пути дерева производится расчет критерия качества данного пути (минимизация числа подменных бригад, минимальное количество перерывов в работе каждого подменного ММ).

Блок 17: Окончание цикла по всем деревьям.

Блок 18: Выбор наилучшего значения по всем путям деревьев.

Блок 19: Конец работы алгоритма.

На Рисунке 2.11 приводится алгоритм, с помощью которого можно оперативно определить минимальное число подменных ММ, которые необходимо привлечь для реализации перечня ОП. Алгоритм служит для верификации основного алгоритма, приведенного на Рисунке 2.10 или для первичной обработки массива ОП при большом объеме данных.



Рисунок 2.11 – Алгоритм определения минимального числа подменных машинистов метрополитена (число пересекающихся возможностей для проведения ОП основных ММ)

Блок 1: Начало работы алгоритма. По умолчанию предполагается, что минимальное число подменных ММ, которые будут привлечены к работе, равно 1. В случае, если несколько возможностей для проведения ОП реализуются одновременно, необходимо привлечение дополнительных ММ.

Блок 2-4: Для всех рассматриваемых маршрутов и РС согласно правилам формирования ОП (не ранее чем через 3 часа работы и не позже чем 4,5 часа работы ММ в соответствии с п. 2.3 Таблицы 2.2) выбирается перечень возможностей перерывов в работе (в рамках одной РС может быть несколько возможностей).

Блок 5: Производится сортировка всех элементов перечня (потенциальных ОП) в порядке возрастания моментов времени, когда они могут начаться.

Блок 6-18: Цикл по всем элементам перечня.

Блок 7: Присвоение переменным T_H и T_K времени начала и окончания выбранного элемента.

Блок 8: Выбирается следующий элемент перечня.

Блок 9: Если начало выбранного элемента меньше, чем T_K , или если это последний элемент перечня, то число ММ увеличивается на один (блок 10). В противном случае алгоритм возвращается к блоку 8.

Блок 11: T_H переносится в начало текущего элемента, а T_K присваивается минимальное значение между временем окончания текущего элемента и текущего значения T_K .

Блок 12-15: Цикл по всем элементам перечня, правее выбранного. В рамках цикла проверяются все элементы перечня правее выбранного до этого элемента на предмет попадания этого элемента в промежуток $[T_H, T_K]$

Блок 13: В случае, если элемент попадает в промежуток $[T_H, T_K]$, то число ММ увеличивается на один (блок 14), если нет – алгоритм продолжает цикл.

Блок 15: Завершение цикла блоков 12-15.

Блок 16: Сравниваются текущее минимальное число подменных ММ и число ММ, рассчитанное в блоках 10 и 14.

Блок 17: Если минимальное число подменных ММ меньше, чем рассчитанное, то минимальное число увеличивается до значения рассчитанного. После этого или если минимальное число подменных ММ больше, то алгоритм продолжается до тех пор, пока не будут перебраны все элементы перечня.

Блок 18: Окончание цикла по всем элементам перечня.

Блок 19: Конец работы алгоритма.

Основные выводы и результаты по второй главе

1. Сформулирована актуальность задачи повышения эффективности использования рабочего времени и планирования работы ММ, задействованных в управлении транспортными средствами. Установлена связь культуры режима труда, отдыха и качества работы сотрудников, для ММ выражающегося в числе грубых нарушений при эксплуатации ЭПС.

2. Сформированы обязательные и дополнительные требования к формированию ГР ММ. Формализована задача построения ГР посменной работы основных ММ при эксплуатации ЭПС метрополитена, учитывающая локальные особенности и нормативные акты Московского метрополитена.

3. Формализована задача построения ГР работы подменных ММ при эксплуатации ЭПС метрополитена, учитывающая локальные особенности Московского метрополитена.

4. Синтезирован эвристический алгоритм назначения основных ММ на предварительно сформированный набор РИ для обеспечения движения ЭПС согласно ГО ЭПС и ПГД ППМ.

5. Синтезирован эвристический алгоритм назначения подменных ММ во время проведения ОП основным ММ. Для его верификации синтезирован вспомогательный алгоритм для определения минимального числа подменных ММ.

3 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ПЕРСОНАЛА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СТАДИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ

3.1. Анализ процессов реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене

ПО, связанное с построением ГР ММ, в перспективе может стать частью интеллектуальной системы прогнозирования, планирования и анализа работы персонала транспортных средств (ИСПП АРПТС). Место разработанной во второй главе диссертационной работы ИСП ГР ММ в общей иерархии систем планирования и управления городским транспортом показано на Рисунке 3.1.

Разработка и внедрение такого комплексного продукта обычно связана с проектной деятельностью. При планировании внедрения ПО необходимо учитывать не только функциональные особенности и специфику автоматизируемых процессов, но и влияние внедрения на каждое из основных направлений ССП. При запуске проекта реализации различных стадий жизненного цикла элемента ИСУМ до принятия решения о реализации проводится анализ финансовых затрат на внедрение ИСП ГР ММ, планируются необходимые мероприятия по включению продукта в систему внутренних бизнес-процессов, обучение персонала, технический обмен данными между внутренними системами, возможное влияние на клиентский сервис. Для точной предварительной оценки этих факторов необходимо использование блока ИСУМ, связанного с прогнозированием, планированием и анализом работы группы разработчиков, поддерживающих работу ИСУМ в рамках разработки и реализации стратегии развития ГРТС. В части понимания продолжительности, стоимости и состава проекта, в том числе его ресурсной

структуры, в качестве одного из инструментов может использоваться разработанная ИСП ГР ММ.



Рисунок 3.1 – Иерархия систем планирования и управления городским транспортом

Проектная деятельность предполагает привлечение ПрК, которые могут быть как сотрудниками стороннего предприятия, так и внутренними сотрудниками. Зачастую предприятия формируют внутреннюю команду на этапах сопровождения, модификации и эксплуатации автоматизированных систем. Принципы планирования ГР ПрК отличается от принципов построения ГР сотрудников, работающих посменно, сформированных во второй главе диссертационного исследования.

Управление и прогнозирование ресурсного состава проекта является важным инструментом принятия решений по его целесообразности.

3.2. Планирование работы ПрК при реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене

3.2.1. Постановка задачи

Процесс формирования ПрК сопряжен с определенными сложностями даже при наличии технического задания и фиксированного срока реализации проекта на этапе его запуска [152-154]. Использование специализированного ПО для управления проектами предполагает постоянную актуализацию большого количества форм для учета бюджета, ресурсов, временных границ проекта и рисков в случае расхождения хода плановой и фактической реализации проекта [155].

Существует тенденция автоматизации бизнес-процессов и роботизации, то есть, с одной стороны, приведение всех внутренних процессов компании к одному виду, их формализация и автоматизация с помощью современного ПО, с другой – замена «ручного» труда при часто повторяющихся однотипных действиях на работу запрограммированного «робота», непосредственно выполняющего те же действия через интерфейсы внутренних систем. Достаточно сильно изменяются функциональные обязанности сотрудников, число и свойства задач (постепенно они становятся более «интеллектуальными», творческими).

Как показывает анализ опыта внедрения АИУС [70, 79, 80, 156, 157], основными задачами по снижению рисков, связанных с удлинением сроков проекта, являются качественный и полный предпроектный анализ и повышение рентабельности проекта за счет повышения эффективности использования рабочего времени консультантов и затрат на их работу.

Задача повышения эффективности использования рабочего времени консультантов и затрат на их работу связана с более точным прогнозированием повседневной загрузки и возможностью использования их в качестве ресурсов на нескольких параллельных проектах. В статьях [99, 140]

описываются модели и решаются задачи распределения ресурсов, в том числе при условии наличия нескольких критериев оценки. В разрабатываемой модели рассматривается 3 параметра минимизации: расходы на персонал C , фактическое время выполнения проекта T_{ϕ} и возможные риски R . Коэффициенты значимости этих параметров обозначим k_C , $k_{T\phi}$, k_R соответственно:

$$Cost = k_C C + k_{T\phi} T_{\phi} + k_R R \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

где $C = \sum_{j=1}^J c_j$ – сумма всех затрат на персонал по каждой задаче проекта c_j ,

которые несет компания, выполняющая работы по внедрению АИУС;

j – порядковый номер задачи;

J – общее число задач в проекте;

$T_{\phi} = \sum_{j=1}^J T_j$ – время выполнения (реализации) проекта, в случае

последовательного выполнения задач определяемое как сумма всех временных затрат на решение отдельных задач в составе проекта;

R – суммарные риски, часть из которых связана с дополнительными затратами на ресурсы и удлинением времени на проект, описываются следующим образом:

$$R = k_{Co} R_{Co} + k_{To} R_{To} + k_{Eo} R_{Eo}, \quad (3.2)$$

где R_{Co} – риски, связанные с внутренними ресурсами;

k_{Co} – коэффициент значимости рисков, связанных с внутренними ресурсами;

R_{To} – риски, связанные со сроками проекта;

k_{To} – коэффициент значимости рисков, связанных со сроками;

R_{Eo} – риски, связанные с привлечением внешних ресурсов;

k_{Eo} – коэффициент значимости рисков, связанных с привлечением внешних ресурсов.

В Таблице 3.1 приведены факторы, которые могут влиять на модель.

Таблица 3.1 – Факторы, формирующие риски

Тип риска	Факторы
R_{Co}	– появление стандартных задач, не запланированных на начальных этапах проекта (например, необходимость проводить дополнительные обучающие сессии для пользователей); – учет болезни и необходимость развития внутренних ресурсов, приводящих к оплачиваемым периодам простоев в работе.
R_{To}	– технические проблемы, приводящие к временным потерям: технические проблемы у поставщика услуг, проблемы связи; – проблемы неравномерной загрузки сотрудников, отсутствие реальных задач.
R_{Eo}	– появление в проекте нестандартных задач, не запланированных на этапе формулирования проекта; – время на разработку дополнительных элементов, усовершенствование и адаптацию отдельных процессов.

Как показывает практика реализации проектов [76], фактический срок реализации проекта часто превышает его плановую оценку. Это особенно ярко выражено для компаний, не проводящих предварительную адаптацию процессов, а автоматизирующих процессы «как есть» (Таблица 1.1). В таких проектах разрабатывается большее количество дополнительных элементов, что, в свою очередь, приводит к необходимости привлечения дополнительных ресурсов, в том числе внешних, и серьезно увеличивает сроки проектов.

Пропуски в виду больничных листов и время на развитие внутренних ресурсов можно учесть исходя из данных статистики. По данным Росстата за 2016 г. в России люди в среднем болели не более 8 дней в месяц, при этом часть из них продолжала ходить на работу (вплоть до 80%). Для молодого коллектива (20-35 лет) среднее число полноценных больничных в месяц можно оценить как 1 из 20 рабочих дней [158-160].

Хорошим тоном для современной компании считается предоставлять своим сотрудникам минимум 2 недели в год на обучение и профессиональное развитие. При этом не все затраты на обучение консультантов окупаются: по данным *Antal Russia* [158] текучесть кадров в области ИТ и телекоммуникационных технологий в России составляет 11%. Таким образом, компания, выполняющая работы по внедрению АИУС, теряет в месяц около

$0.11(Z \sum_{i=1}^I p_i)$, где Z – затраты на обучение одного сотрудника в месяц, $p_1, p_2, p_3, \dots, p_I$ – количество участников команды каждого из I типов сотрудников в штате.

Дополнительным ограничением модели является необходимость выполнить проект в срок:

$$(T_{\Phi} - T_{\Pi}) \rightarrow 0, \quad (3.3)$$

где T_{Π} – плановое время выполнения проекта (обозначения приведены в Таблице 1.1).

В статьях [97, 140] рассматривалось последовательное выполнение операций и накладывались ограничения на то, что одна операция начнется не ранее, чем закончится предыдущая. В предлагаемой модели рассматривается распараллеливание выполнения задач и их совместное выполнение. Модель предполагает учет следующих особенностей (ограничений):

- последовательность реализации задач;
- одновременное выполнение одной задачи несколькими консультантами;

- одновременное выполнение разных задач одним консультантом;
- учет соотношения «квалификация/стоимость» разных консультантов.

Рассмотрим модель подробнее.

1. Учет последовательности реализации задач. Путем построения графовой модели учтена возможность выполнения ряда работ по внедрению АИУС не последовательно, а параллельно, устанавливая время начала задачи лишь после окончания нескольких предыдущих. Пример распределения задач приведен на Рисунке 3.2. Граф использовался для тестирования разработанного математического аппарата. Истоком графа является задача $N1$ – запуск проекта и получение доступов. Стоком графа является задача $N29$ – завершение проекта (удаление данных в среде обучения) [133, 151, 161].

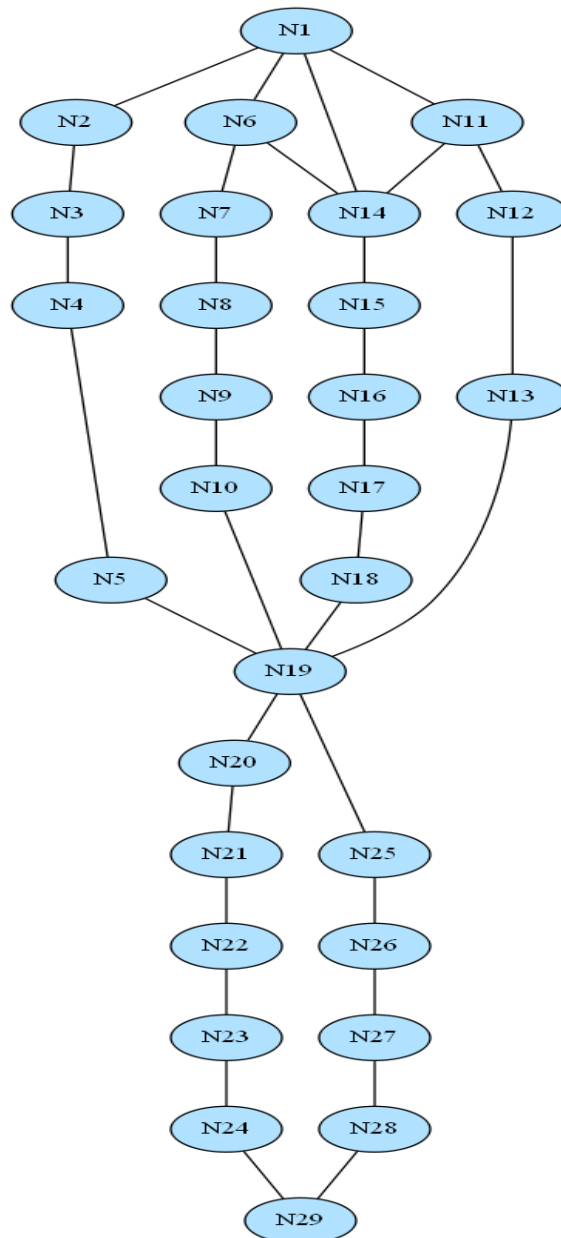


Рисунок. 3.2 – Граф, описывающий последовательность решения задач проекта по внедрению модуля *Performance & Goal Management SAP SuccessFactors*

На Рисунке 3.3 приведен перечень задач при внедрения АИУС (N2-N29), решаемых в ходе выполнения рассматриваемого проекта [76]. Перечень не повторяет полностью список, изображенный на Рисунке 1.9, поскольку является частным случаем внедрения.

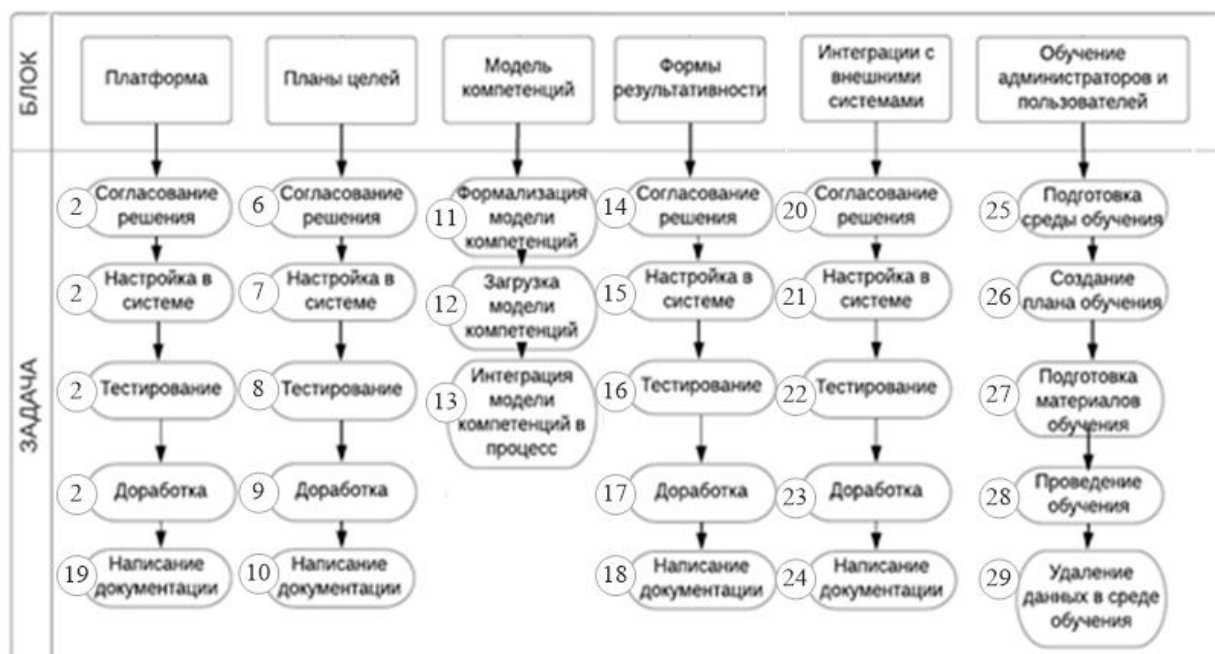


Рисунок 3.3 – Перечень задач при внедрения АИУС, модуль *Performance & Goal Management SAP SuccessFactors*

2. В работе [162] описывается современная методология ведения проектов, экстремальное программирование, для которой характерен процесс разработки и тестирования продукта, производимого небольшой командой (от двух до десяти программистов) с установкой ежедневных целей. Авторы [160] утверждают, что при такой организации работы удастся снизить сроки выполнения задач. Одновременная работа небольшой команды над одним блоком также характерна для *agile* (семейства «гибких» методологий внедрения) [163, 164]. Для задач и проектов по внедрению АИУС может использоваться парное программирование, предполагающее увеличение индивидуальной эффективности консультантов при работе в паре [165].

С другой стороны, авторы [160] ссылаются на то, что при работе с ИТ-продуктами специализированные сотрудники непосредственно программируют 55% от своего рабочего времени. Остальное время уходит на коммуникацию с менеджментом, коллегами, тестировщиками, дизайнерами и клиентом. При работе над одной задачей более двух консультантов появляется необходимость ведения задач в специализированных программах (*task-*

менеджмент, командная разработка [166, 167]), выполнение этих действий требует времени. На основании этих положений на Рисунке 3.4 предлагается кусочно-линейная аппроксимация зависимости индивидуальной эффективности консультантов от количества членов команды: от 100% эффективности при индивидуальной работе до 55% эффективности при работе 11 человек.

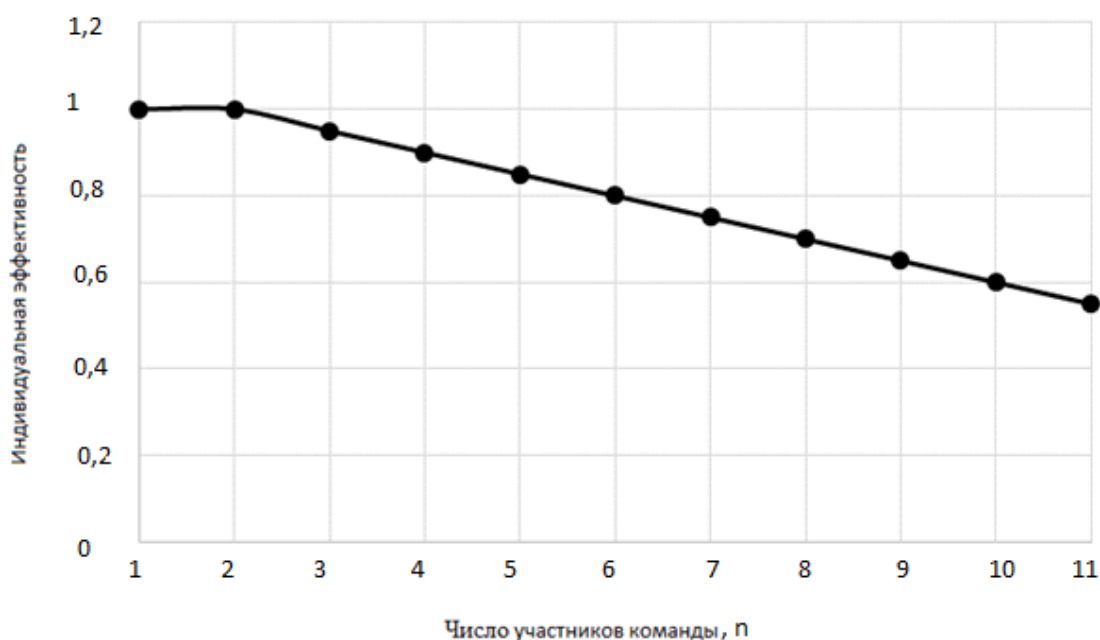


Рисунок 3.4 – Зависимость индивидуальной эффективности консультанта при работе в команде K_n от числа участников ПрК n

3. Учет возможности одновременного выполнения разных задач одним консультантом. Как показано в пункте 2, выполнение одной задачи несколькими консультантами не всегда приводит к повышению эффективности их общей работы. Например, выполнение нескольких задач одним консультантом может снизить затраты на избыточную коммуникацию. Поэтому, в рамках создаваемой модели такая организация труда допустима.

4. Учет квалификации / стоимости разных консультантов. Управление командой – процесс творческий, а эффективность ее работы зависит от большого количества факторов. Заметное влияние на эффективность

оказывают культура взаимодействия в команде (наравне с индивидуальными способностями ее элементов), поддержание между ее членами неформальных отношений. Как было сказано выше, при работе с использованием технологий парного программирования (для консультантов одной квалификации) может наблюдаться рост индивидуальной эффективности. С другой стороны, практика внедрения показывает, что при работе с младшими коллегами старшие тратят время на наставничество (10-20%), дольше объясняют специфику задач – за счет этого условно теряют в индивидуальной эффективности при решении текущей задачи, а их младшие коллеги приобретают.

В Таблице 3.2 приводится коэффициент изменения индивидуальной эффективности консультанта при работе в паре, значения определены экспертно с учетом принципов, описанных в 4 пункте: по горизонтали приведены консультанты и их эффективность, а по вертикали – наименование их «напарника». Знак «X» используется для обозначения «запрещенных» пар: в рамках одного проекта не рекомендуется привлекать двух бизнес-консультантов или архитекторов. В таблице не приводится информация об еще одном типе сотрудников – руководителе проекта, загрузка которого обычно оценивается как 0,25 плановой (дневной) загрузки на протяжении всего проекта.

Таблица 3.2 – Коэффициент индивидуальной эффективности при работе в паре $K_{i_1 i_2}$

	Бизнес-консультант	Архитектор	Старший консультант	Консультант	Младший консультант	Разработчик
Бизнес-консультант	X	1	0,8	0,8	0,8	0,8
Архитектор	1	X	0,8	0,8	0,8	0,8
Старший консультант	1,2	1,2	1,1	0,8	0,8	0,8
Консультант	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8	0,8
Младший консультант	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8
Разработчик	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1

Учет квалификации и разницы в стоимости ресурсов при одновременном выполнении нескольких задач одним участником ПрК и выполнении одной задачи несколькими участниками ПрК можно провести в таблице (Таблица 3.3), в столбцах которой приведены задачи проекта, в строках – наименование ресурсов, в ячейках – затраты c_j на j -ю задачу, которые можно рассчитать по формуле:

$$c_j = \frac{1}{K_j} \sum_{i=1}^I m_i Pr_{ij}, \quad (3.4)$$

где m_i – дневная ставка ресурса i -го типа;

K_j – общая эффективность работы ресурсов при выполнении j -й задачи;

Pr_{ij} – производительность ресурса i -го типа при выполнении j -й задачи.

Почасовая ставка ресурсов указана во втором столбце Таблицы 3.3. Значения запланированной производительности и стоимости ресурсов соответствуют примеру проекта 5, Таблица 1.1. Эффективность ресурса оценивается в единицах [задача/день]. Максимальные значения численности работников отражают данные по ряду проектов различной сложности и учитываются в качестве ограничений.

Знаком «X» в Таблице 3.3 обозначаются запрещенные позиции.

Общая эффективность работы ресурсов $K_j(p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, \dots, p_{Ij})$ зависит от состава участников команды, работающих над j -й задачей, и учитывает изменение индивидуальной эффективности K_{ij} сотрудника при работе в команде. Функция учитывает зависимость, приведенную на Рисунке 3.4 (для команд от 3-х человек), и данные Таблицы 3.2 (для команд из 2-х человек). Зависимость описывается формулой (3.5) [76, 160, 162]. $p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, \dots, p_{Ij}$ – количество или доля, если значение параметра меньше единицы, участников ПрК каждого из I типов, задействованных в работе над j -й задачей, $n = \sum_{i=1}^I p_{ij}$, $p_{ij} \neq 0$, число p_{ij} , отличных от 0.

$$K_j(p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, \dots, p_{lj}) = \begin{cases} 1, n = 1; \\ \frac{\sum_{i=1}^2 m_i p_{ji} Pr_{ji}}{m_{i_1} p_{i_1} Pr_{i_1} / K_{i_1 i_2} + m_{i_2} p_{i_2} Pr_{i_2} / K_{i_2 i_1}}, n = 2; \\ K_{nj}(p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, \dots, p_{lj}), n \geq 3. \end{cases} \quad (3.5)$$

где $m_i p_{ji} Pr_{ji}$ – величина затрат на i -й ресурс без учета изменения его эффективности;

$K_{i_1 i_2}$ – значение коэффициента индивидуальной эффективности при работе в паре (Таблица 3.2);

$m_{i_1} p_{i_1} Pr_{i_1} / K_{i_1 i_2} + m_{i_2} p_{i_2} Pr_{i_2} / K_{i_2 i_1}$ – величина затрат на оба ресурса с учетом изменения их индивидуальной эффективности.

Таблица 3.3 – Представление модели в формате классической транспортной задачи

	Ставка в день, усл. ед.	Настройка	Согласование решения	Доработка	Написание документации	Тестирование	...	Допустимое число
Бизнес-консультант	4	X	$4K_j / 20$	X	X	X		0-1
Архитектор	3,5	$3,5K_j / 10$	$3,5K_j / 20$	$3,5K_j / 10$	$3,5K_j / 5$	$3,5K_j / 10$		1
Старший консультант	3	$3K_j / 15$	$3K_j / 30$	$3K_j / 15$	$3K_j / 7,5$	$3K_j / 15$		0-1
Консультант	2	$2K_j / 20$	$2K_j / 40$	$2K_j / 20$	$2K_j / 10$	$2K_j / 20$		0-1
Младший консультант	1	$K_j / 25$	X	$K_j / 25$	$K_j / 12,5$	$K_j / 25$		0-2
Разработчик	2,5	X	X	X	X	X		0-1

Учет последовательности реализации задач, заданной графовой моделью, пример которой представлен на Рисунке 3.2, совместно с расчетом, выполненным в ходе решения, сформулированной задачи распределения трудовых ресурсов, позволит оценить длительность выполнения проекта с учетом очередности решения задач.

3.2.2. Выбор и обоснование метода решения задачи

В ходе диссертационного исследования проанализировано множество работ (Таблица 3.4), посвященных построению ГР ПрК. Часть из них решала задачу планирования ГР ПрК с заданным множеством исполнителей задач в качестве начальных условий, часть – с фиксированным временным распределением графика задач. При этом ни одна не отвечала всем требованиям, приведенным в Таблице 3.4:

- учет последовательности выполнения задач;
- учет квалификации трудовых ресурсов;
- учет одновременного выполнения задач несколькими ресурсами;
- учет выполнения нескольких задач одним ресурсом;
- учет стоимости трудовых ресурсов разных квалификаций;
- учет особенностей командной работы сотрудников;
- визуализация в виде диаграммы Ганта.

Таблица 3.4 – Анализ литературы, посвященной построению ГР
ПрК

Особенность задачи / Источник	[92]	[91]	[93]	[94]	[99]
Учет последовательности выполнения задач	+		+	+	+
Учет квалификации трудовых ресурсов			+		
Учет одновременного выполнения задач несколькими ресурсами		+			
Учет выполнения нескольких задач одним ресурсом		+	+	+	
Учет стоимости трудовых ресурсов разных квалификаций				+	
Учет особенностей командной работы сотрудников					
Визуализация в виде диаграммы Ганта	+			+	

Для решения данной задачи был выбран метод генетического алгоритма, поскольку этот метод широко использовался [94, 96, 103, 168] для решения задач повышения эффективности использования рабочего времени персонала и управления проектами. В то же время в других работах не учитывались одновременно все условия и возможности, рассматриваемые в модели, созданной в этой работе. Схема решения приведена на Рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Схема решения задачи построения ГР и распределения участников ПрК

В Таблице 3.5 приведены основные понятия генетического алгоритма [93] и их смысл в решаемой задаче [80].

Таблица 3.5 – Основные понятия генетического алгоритма и использование их в решении задачи

Понятие	Определение	Использование в задаче
Ген	Атомарный элемент хромосомы	Отражает число или долю каждого типа ресурсов в решение j -й задачи: $x_j = \{p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{Ij}\}, j = 1, \dots, J$.
Хромосома (особь)	Упорядоченная последовательность генов	Представляет собой ряд генов x_j , описывающих вовлеченность каждого типа ресурсов в решение каждой из задач: $X = \{x_j\}$.
Популяция	Набор особей (хромосом)	Представляет собой ряд особей, на каждом этапе решения (Рисунок 3.5) выбираемых по принципу максимальной приспособленности. При классическом подходе к решению задачи используется фиксированное число особей в популяции.
Фитнес-функция	Критерий приспособленности хромосом	Суперпозиция затрат на проект, которые определяются исходя из стоимости работы сотрудников разного типа, их производительности, степени вовлеченности в задачу и ограничений по времени. В рассматриваемой задаче определяется по формуле (3.7). Решение задачи направлено на минимизацию фитнес-функции.
Генетические операторы	Операторы скрещивания и мутации. Кроссинговер – скрещивание двух особей. Мутация – намеренное искусственное изменение определенных генов в хромосомах.	В задаче использован арифметический кроссинговер: $X_{parent1}, X_{parent2}$ – родительские хромосомы, а X_{child} – дочерняя. Если $Cost(X_{parent1}) \leq Cost(X_{parent2})$, то: $X_{child} = \alpha X_{parent,1} + (1 - \alpha) X_{parent,2}$; $\alpha = 0,9$, В качестве мутации нескольким ячейкам присваивались нулевые значения (данная мутация значительно повысила скорость сходимости решения задачи).

Время выполнения j -й задачи может быть однозначно рассчитано исходя из индивидуальных эффективностей, участвующих в выполнении задачи сотрудников (Таблица 3.2 и Рисунок 3.4) и их индивидуальных производительностей (Таблица 3.3), зависящей от числа участников [76]:

$$\Delta\tau_j = \sum_{i=1}^I \frac{1}{K_j Pr_{ij} p_{ij}}. \quad (3.6)$$

Время выполнения каждой задачи используется при расчете ограничений на последовательность их выполнения и анализе конечного

решения. При этом степень вовлеченности сотрудников ограничена числом сотрудников каждого типа в ПрК. При построении модели считалось, что при работе над задачей сотрудник загружен ежедневно на долю своей производительности, равную p_i , в том числе загрузка остается равномерной при командной работе. Допустимые нагрузки на одного сотрудника в день определялись с шагом 0,25 и принимали значения: 0, 0,25 – четверть, 0,5 – половина, 0,75 – три четверти, 1 – целиком. Загрузка нескольких сотрудников одного типа обозначается значениями выше 1 с тем же шагом (1,25; 1,5; ...). Допустимые значения числа членов команды приведены в Таблице 3.3.

Решение задачи минимизации времени выполнения проекта включает в себя расчет критического пути [169]. В этом случае задача повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов сводилась к минимизации резервного времени выполнения задач, представленных в графе на Рисунке 3.2, то есть к минимизации простоев задействованной на проекте команды. Веса (длины) ребер графа определялись временем выполнения j -й задачи, рассчитываемым по формуле (3.6).

Фитнес-функция определяется следующим образом [76]:

$$Cost = k_C \sum_{j=1}^J \frac{\frac{1}{K_j(p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, \dots, p_{Ij})} \sum_{i=1}^I m_i p_{ji} Pr_{ji}}{\sum_{i=1}^I p_{ji} / Pr_{ji}} + k_{\Delta T} \Delta T, \quad (3.7)$$

где ΔT – сумма разниц минимально и максимально возможного начала выполнения каждой из задач;

$k_{\Delta T}$ – коэффициент значимости параметра ΔT ;

$\frac{1}{K_j(p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, \dots, p_{Ij})} \sum_{i=1}^I m_i p_{ji} Pr_{ji}$ – величина затрат на ресурсы, занятые в реализации j -й задачи в единицу времени;

$\sum_{i=1}^I p_{ji} / Pr_{ji}$ – объем решаемой j -й задачи в единицу времени.

Для решения задачи в рамках диссертационного исследования разработано ПО среде *Matlab*, с использованием которого

получены результаты и графики, представленные в следующих разделах. Интерфейс ПО описан в п. 4.1. Для выбранного объема данных решение было найдено менее чем за 100 итераций.

3.3. Планирование работы ПрК при реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления

В п. 3.2 сформулирована задача повышения эффективности использования рабочего времени исполнителей каждой проектной задачи из общего числа доступных участников ПрК, исходя из их квалификации и стоимости (п. 4.1). Рассмотрим результаты решения этой задачи с помощью ПО, описанного в п.4.1. для конкретного проекта. Для реального процесса построения ГР ПрК представляет интерес ограничение выборки сотрудников, вовлеченных в один проект, то есть распределение консультантов различных типов между различными проектами.

На Рисунке 3.6 показаны основные характеристики решения задачи при изменении коэффициентов значимости параметров времени и командных затрат. $CostC$ – первое слагаемое из формулы (3.7), а $CostT$ – второе слагаемое из формулы (3.7), T_n – расчетное время выполнения последней задачи [80].

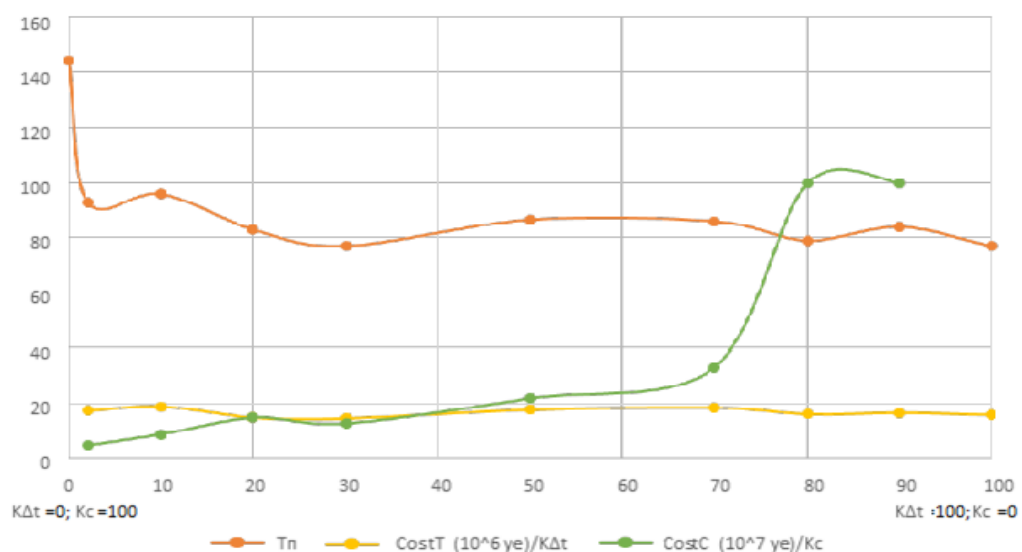


Рисунок 3.6 – Зависимость основных параметров от коэффициентов значимости критериев

На Рисунке 3.6 видно, что при увеличении значимости слагаемого фитнес-функции, отвечающего за продолжительность проекта, величина T_{Π} снижается.

На Рисунке. 3.7 показана динамика изменения параметров решений в зависимости от итерации, выраженная в постепенном снижении значения фитнес-функции всех генов популяции.

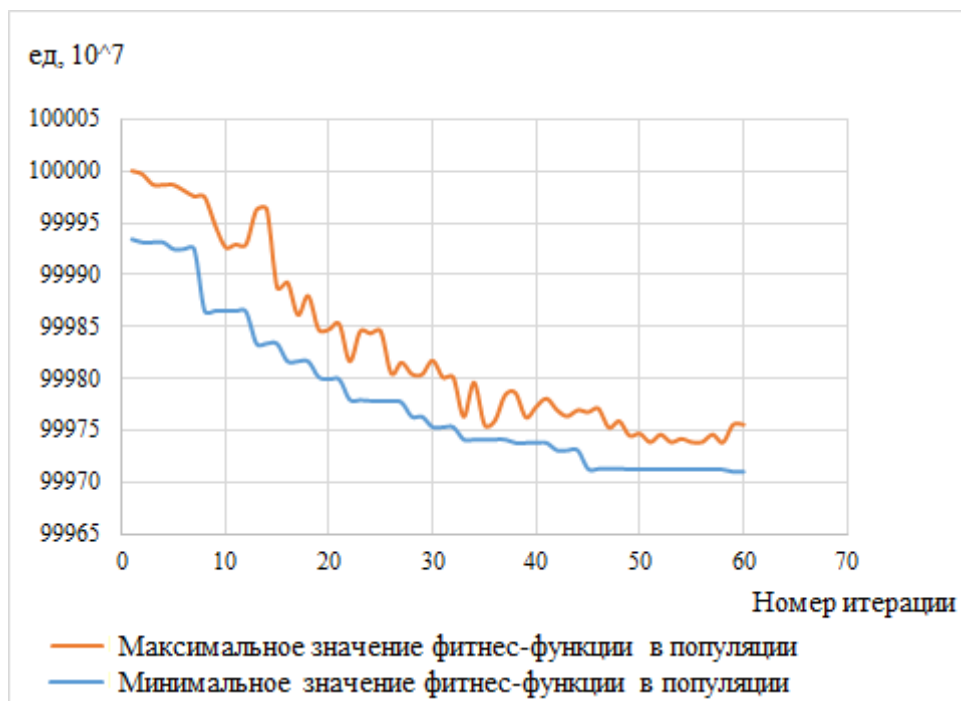


Рисунок 3.7 – Зависимость значения фитнес-функции решений от номера итерации

На Рисунке. 3.8 показано распределение ресурсов по всей длительности проекта. Для задач, приведенных на Рисунке 3.3, определяется число (доля) консультантов, задействованному на каждом этапе проекта. Одновременная работа нескольких ресурсов в текущей визуализации может обозначать как работу их над одной задачей, так и работу над разными параллельно выполняемыми задачами. Для определения загрузки ресурсов в разрезе каждой задачи использовалась визуализация, приведенная на Рисунке 3.9.

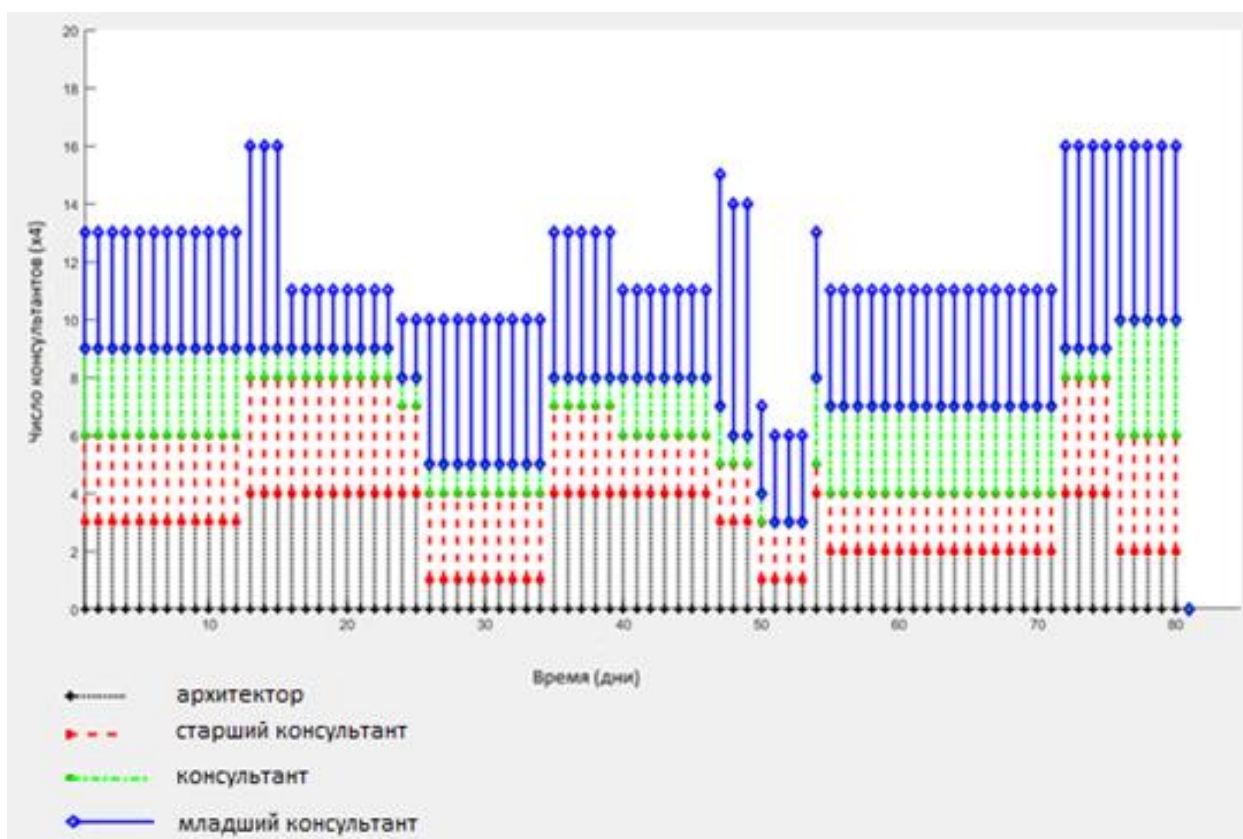


Рисунок 3.8 – Распределение ресурсов по проекту

При решении задачи кроме критериев обеспечения заданного времени выполнения каждой задачи и минимума стоимости проекта для функционирования предприятия, основной деятельностью которого является внедрение АИУС и организация работы проектных команд, целесообразно использование следующих критериев, отражающих риски, связанные с неравномерностью загрузки консультантов разных типов:

- максимальное, минимальное и среднее число специалистов заданной квалификации, занятых в реализации проекта;
- отклонение текущего числа специалистов заданной квалификации, занятых в реализации проекта, от среднего значения;
- СКО текущего числа специалистов заданной квалификации, занятых в реализации проекта, от среднего значения.

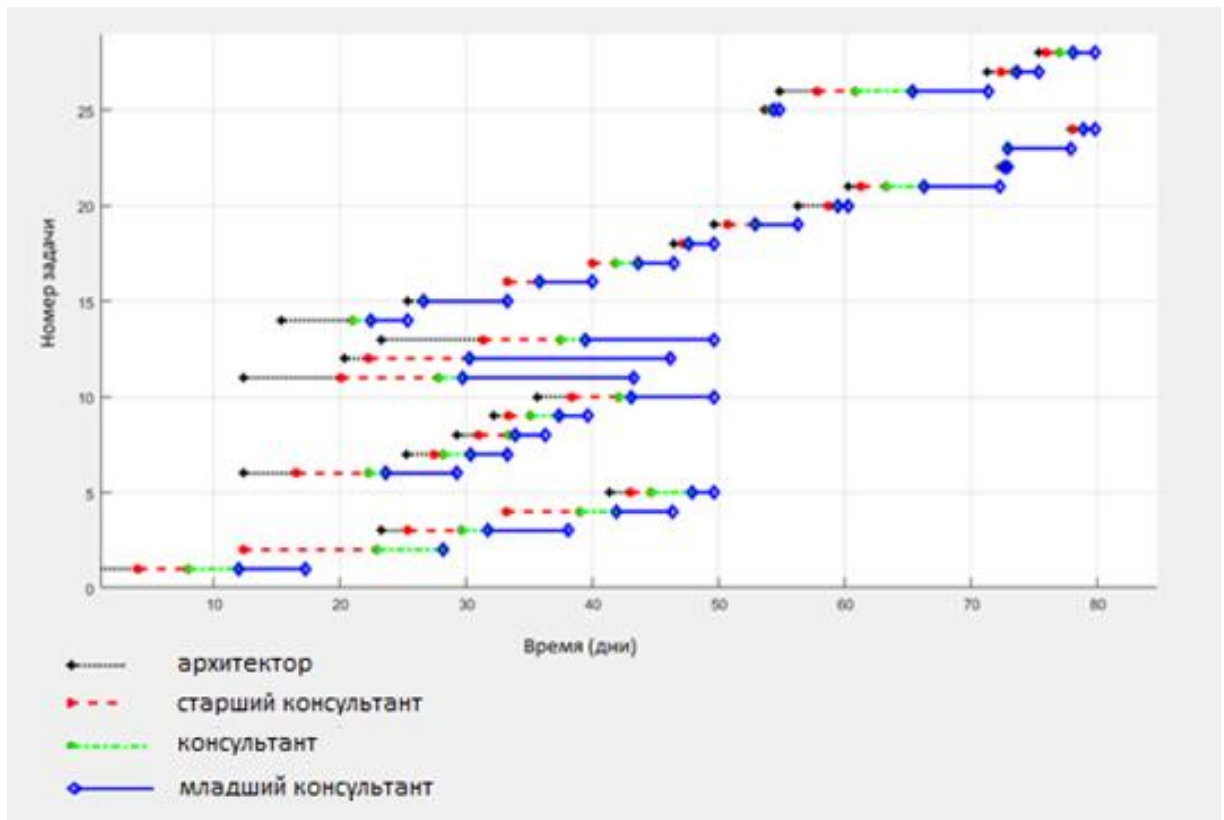


Рисунок 3.9 – Решения задачи в формате диаграммы Ганта с визуализацией распределения ресурсов по задачам

В Таблице 3.6 приведены соответствующие результаты. Ввиду особенностей проекта при расчетах данной задачи не учитывалась возможность привлечения бизнес-консультанта и разработчика. В столбце «Возможное число консультантов на проекте» приводится максимальное значение числа консультантов каждого типа, рассматриваемого в рамках создания генов и хромосом при решении задачи. Для периода работы, определяемого продолжительностью рассматриваемого проекта, приведены значения математического ожидания и СКО. Математическое ожидание рассчитано для определения среднего числа сотрудников команды, которые нужны для реализации проекта заданного объема и для возможности экстраполяции этих данных на другие проекты при масштабировании задачи. СКО определяет величину колебания доли привлечения сотрудника каждого типа. Так, архитектор привлекается на большую долю занятости для решения некоторых задач на определенных этапах проекта, и на незначительную долю

занятости при решении других задач. Связано это с высокой стоимостью данного типа ресурса и специфической квалификацией. С помощью более точного планирования загрузки команды можно принимать решение о расширении или сокращении штата взвешено, избегая простоев и переработок.

Таблица 3.6 – Количество консультантов на исследуемом проекте

	Возможное число консультантов на проекте	Математическое ожидание, число консультантов	СКО, число консультантов
Бизнес-консультант	0	0	0
Архитектор	1	0,7	0,2
Старший консультант	1	0,73	0,27
Консультант	1	0,75	0,21
Младший консультант	2	1,13	0,31
Разработчик	0	0	0
Сумма	-	3,33	-

Когда ресурсы не задействованы, их можно использовать их в другом проекте. Для исследуемого проекта наиболее востребованными сотрудниками являются младшие консультанты, что может быть обусловлено их относительно низкой стоимостью. Решение задачи может использоваться для управления составом команды внедрения, стоимости проекта, определения зависимости между продолжительностью проекта, его стоимостью и составом ПрК, детализации ГР ПрК. Так, на Рисунке 3.9 в качестве решения задачи приведена классическая диаграмма Ганта, где время выполнения каждой задачи делится на пропорциональные части между сотрудниками, которые участвуют в ее выполнении.

Важно, чтобы предлагаемое решение включало работу консультантов на срок до 4 месяцев, что соответствует первоначальным требованиям исследуемого проекта.

Согласно данным из примера 5 Таблицы 1.1, исследуемый проект был выполнен пятью консультантами за 3,5 месяца. Итак, видно, что сумма математического ожидания числа консультантов равна 3.33. Таким образом, можно сократить количество консультантов в проекте при более точном планировании.

Задача повышения эффективности использования рабочего времени ПрК была решена с использованием генетического алгоритма. В настоящее время при решении задачи есть некоторое ограничение: рассматривается небольшой проект и ограниченная команда. Главной особенностью решения является его способность масштабироваться и, следовательно, адаптироваться под решение задачи с пулом проектов, большой командой или использование в качестве дополнительного критерия отбора решений расширенного списка рисков. Решение задачи повышения эффективности использования рабочего времени ПрК, предлагаемое в этой работе, может быть адаптировано к другим задачам автоматизации управления распределением трудового капитала.

Трудоемкость (месяцы работы консультантов) по результатам $(3,33 \times 3,8 = 12,6)$ меньше фактической трудоемкости из Таблица 1.1 $(5 \times 3,5 = 17,5)$ на 28 %. В расчетной модели продолжительность реализации сопоставима со временем реального проекта (3,5 и 3,8 месяцев). В двухкритериальной задаче (минимизация стоимости проекта и времени его реализации) при незначительном отклонении одного параметра (времени) наблюдается заметное снижение значения второго (затрат на консультантов), поэтому можно сказать, что с помощью разработанного продукта можно управлять составом ПрК (Рисунок 3.10).

Срок реализации проекта по внедрению модуля постановки целей и оценки достижений составляет от 3-х до 6-ти месяцев. Как показывает практика, внедрение таких проектов за счет влияния различных факторов может затянуться на год. При этом проекты по внедрению трех и более модулей *SAP SuccessFactors* рассчитаны на 1-2 года. Увеличение сроков внедрения АИУС в два раза недопустимо для компаний.

Математическое ожидание, число ставок для консультантов на проекте, ед.	Время внедрения проекта, месяц	Затраты на проект (число консультантов × число месяцев работы), чел × месяц
Данные по проекту без использования разработанного алгоритма		
5	3,5	17,5
Данные по проекту согласно модели		
3,33	3,8	12,6

**На 28 %
эффективнее**

Рисунок 3.10 – Результаты решения задачи автоматизации построения и построения ГР ПрК

Согласно анализу, основные риски удлинения сроков и необходимости привлечения дополнительных трудовых ресурсов связаны с ошибками предварительной оценки процессов у компании и необходимостью повышения эффективности использования рабочего времени консультантов и затрат на их работу. В работе сформированы принципы и критерии, взятые за основу модели повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурсов при внедрении АИУС в условиях ограниченного времени. Определены рамки математической модели, с помощью которой может быть решена задача. Ее решение повысит точность оценок сроков выполнения отдельных блоков и проекта в целом, а также позволит управлять составом внутренней команды, высвободить для консультантов время на обучение или параллельное участие в нескольких проектах (акт о практическом использовании в Приложение 12).

3.4. Построение ГР ПрК при реализации стадий жизненного цикла интеллектуальных систем управления технологическими процессами на метрополитене

Применяя опыт построения графика работ ПрК, вовлеченных в процесс внедрения АИУС (п. 3.3), рассмотрим задачу построения ГР ПрК в рамках реализации стадий жизненного цикла элемента ИУСМ.

Здесь можно говорить о разработке схемы *Model-View-Controller (MVC)*, положенной в основу разработки ПО формирования ГР ММ, то есть о привлечении к разработке специалистов из двух областей: разработка графического интерфейса и разработка бизнес-логики программного обеспечения [141].

Основной критерий построения ГР может быть описан формулой (3.1). Не изменится схема потери индивидуальной эффективности консультанта при работе в команде (Рисунок 3.4). При сохранении общего подхода и ограничений при решении задачи, описанной в главе 3, и решенной для одного из проектов внедрения АИУС (п. 3.3), изменятся входные данные для этой задачи, основанные на опыте разработок для метрополитена. В Таблице 3.7 приведен перечень задач, которые необходимо решить в рамках процесса внедрения программного обеспечения, созданного для построения ГР ММ, на метрополитене. В Таблице 3.8 приведена информация по коэффициентам индивидуальной эффективности при работе в паре $K_{i_1 i_2}$.

Таблица 3.7. – Перечень задач и матрица их распределения в рамках реализации программного обеспечения по построению ГР ММ

	Архитектор (ведущий инженер)	Инженер-программист (бизнес логика)	Инженер-программист (визуализация)	Инженер (документация, тестирование, консультации)
Затраты на сотрудников	2 у.е.	1,5 у.е.	1,5 у.е.	1 у.е.
1. Разработка и согласование технического задания (условия, критерии)	45	90	90	X
2. Разработка проектной документации	30	60	60	X
3. Реализация программного обеспечения системы (архитектура)	60	40	X	120
4. Реализация программного обеспечения системы (интерфейс)	40	X	40	120
5. Создание плана обучения	10	15	15	X
6. Тестирование системы (архитектура+интерфейс) – внутреннее	4	4	4	10
7. Доработка программного обеспечения системы (архитектура)	20	14	X	20
8. Доработка программного обеспечения системы (интерфейс)	20	X	14	20
9. Тестирование системы (архитектура+интерфейс) – внешнее	4	4	4	X
10. Доработка программного обеспечения системы (архитектура)	20	14	X	20
11. Доработка программного обеспечения системы (интерфейс)	20	X	14	20
12. Тестирование системы (архитектура+интерфейс) – внешнее	4	4	4	X
13. Доработка проектной документации (архитектура)	20	22	22	30
14. Доработка проектной документации (интерфейс)	20	22	22	30
15. Подготовка материалов обучения	20	15	15	X
16. Проведение обучения	5	5	5	X
17. Ввод системы в опытную эксплуатацию	10	10	10	10
18. Ввод системы в продуктивную (постоянную) эксплуатацию	10	10	10	10

Таблица 3.8. Коэффициента индивидуальной эффективности при работе в паре $K_{i_1 i_2}$.

	Руководитель	Архитектор (ведущий инженер)	Инженер-программист (бизнес-логика)	Инженер-программист (визуализация)	Инженер (защита информации)	Программист (БД, документация по БД)	Инженер (документация, тестирование, консультации)
Руководитель	X	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Архитектор (ведущий инженер)	1	X	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Инженер-программист (бизнес-логика)	1,2	1,2	1,1	1,2	0,8	0,8	0,8
Инженер-программист (визуализация)	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8	0,8	0,8
Инженер (защита информации)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8	0,8
Программист (БД, документация по БД)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8
Инженер (документация, тестирование, консультации)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1

На Рисунке 3.11 изображен граф, описывающий последовательность реализации задач, описанных в Таблице 3.7.

Результаты применения метода решения, созданного в параграфе 3.2.2, приведены на Рисунках 3.12 и 3.13.

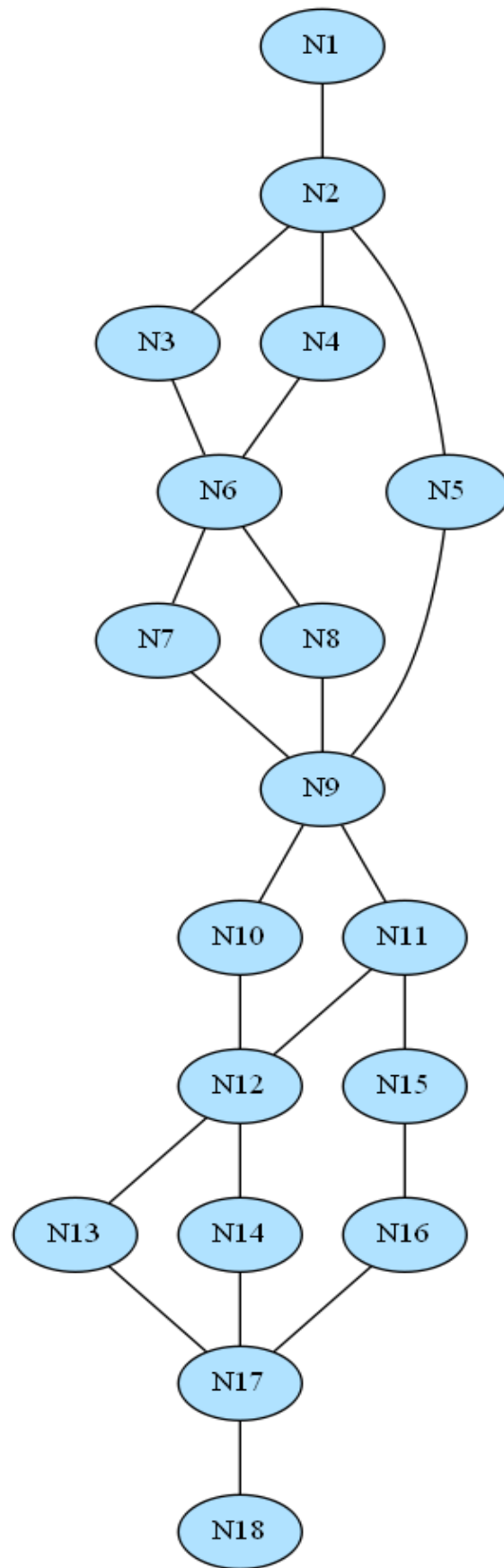


Рисунок 3.11 – Граф, визуализирующий последовательность решения задач проекта внедрения программного обеспечения, созданного для построения ГР ММ

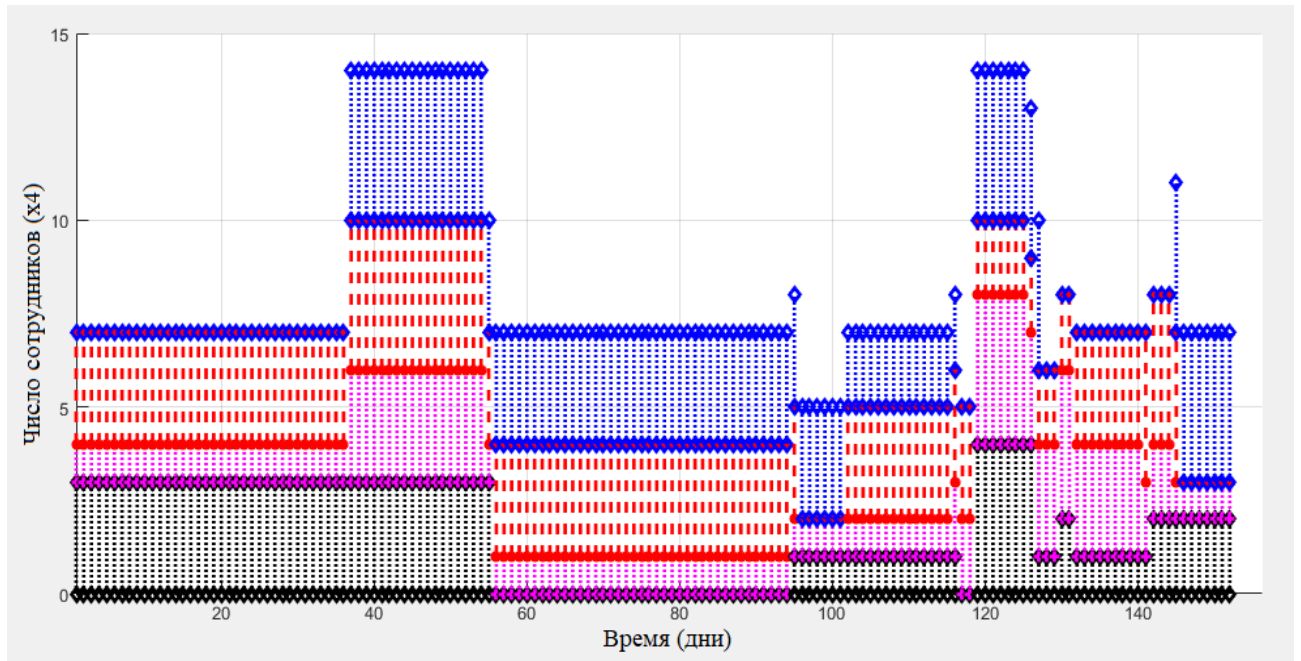


Рисунок 3.12 – Распределение ресурсов по проекту

Условные обозначения: черный – архитектор; красный – ПО (бизнес-логика);
фиолетовый – ПО (интерфейс); синий – инженер

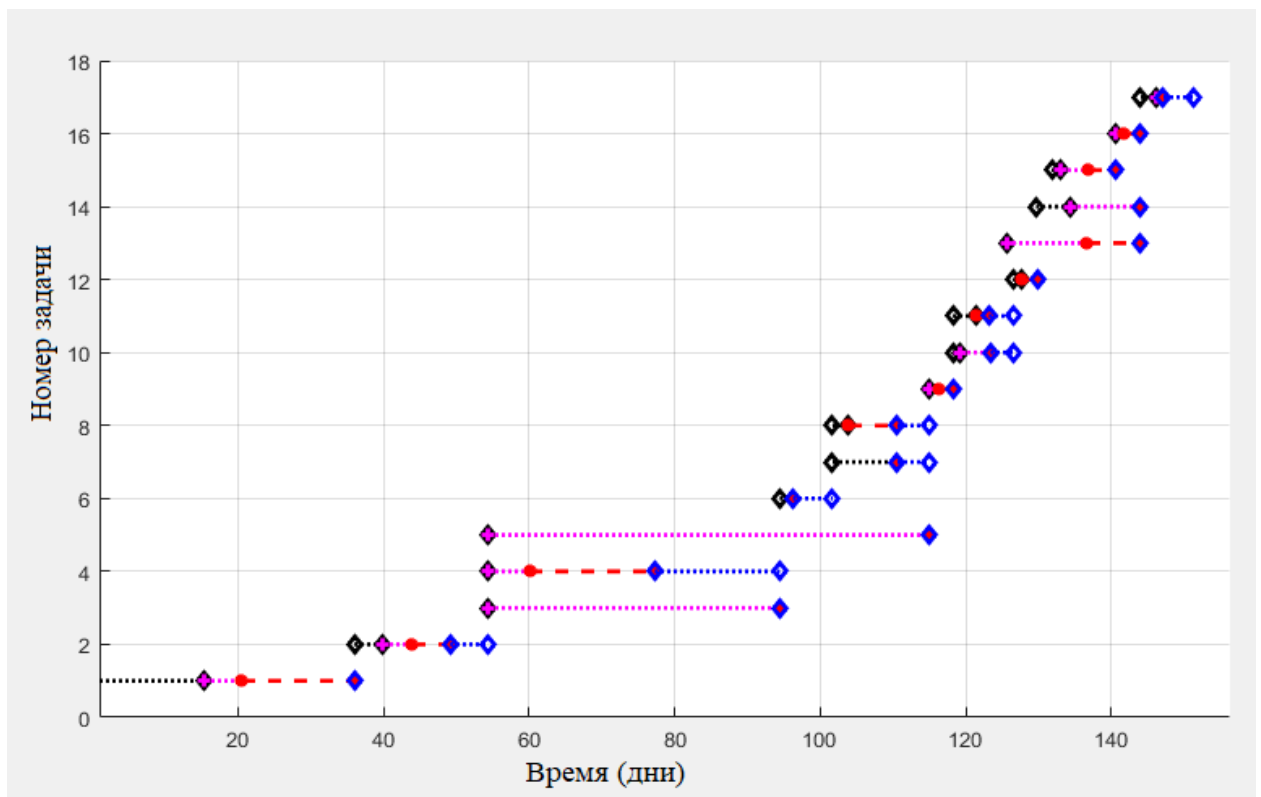


Рисунок 3.13 – Решение задачи. Диаграмма Ганта

Условные обозначения: черный – архитектор; красный – ПО (бизнес-логика);
фиолетовый – ПО (интерфейс); синий – инженер.

Согласно распределению, приведенному на Рисунках 3.12 и 3.13, на протяжении проекта сотрудники привлекаются на разную долю занятости. Это позволяет планировать их работу на других проектах или назначать им обучение на этапах проекта с низкой вовлеченностью.

Полученные результаты могут стать основой для формирования внутренней команды специалистов или формирования бюджета проекта для привлечения внешних сотрудников в процессе планирования и внедрения элементов ИУСМ.

Основные выводы и результаты по третьей главе

1. Разработана модель повышения эффективности использования рабочего времени ПрК, задействованной во внедрении АИУС, которая учитывает ряд ограничений:

- учет последовательности выполнения задачи;
- учет возможности одновременного выполнения одной задачи различными консультантами;
- учет возможности одновременного выполнения одним консультантом нескольких задач;
- учет квалификации / стоимости трудовых ресурсов.

2. Разработана методика автоматизированного построения ГР ПрК, задействованных в реализации автоматизированных средств на метрополитене, с помощью генетического алгоритма. Для решения задачи использовались временные графы, задающие последовательность выполнения задач.

3. Создано МО и ПО, позволившее решить проблему повышения эффективности использования рабочего времени и построения ГР ПрК с помощью генетического алгоритма. Результаты показывают, что с помощью разработанного инструмента можно запланировать состав команды и расходы на нее. Преимуществом этого решения является отсутствие необходимости в дополнительной инфраструктуре, решение может быть включено в традиционную систему планирования. Главной особенностью подхода к формализации задачи и ее решения является его способность масштабироваться. Возможно расширение функционала для условий работы с несколькими проектами, значительной по составу командой и учет дополнительных рисков в качестве критериев.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ МАШИНИСТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

4.1. Структура и функции ИСП ГР ММ

Структура ИСП ГР ММ должна состоять из следующего функционала:

- создание ГР машинистов;
- создание ГР групп разработчиков, задействованных в реализации стадий жизненного цикла ГРТС.

Функциональность ИСП ГР ММ должна соответствовать следующим требованиям:

- возможность выбора решаемой задачи;
- загрузка и обработка данных ГО ЭПС, данных по ОП;
- загрузка и обработка данных, связанных с реализацией проекта по поддержке реализации стадий жизненного цикла ГРТС;
- ввод параметров задачи построения ГР ММ и ГР ПрК;
- инструменты для анализа, оценки и сравнения полученных результатов, вывод аналитических таблиц, графиков и визуализация результатов.

ИСП ГР ММ должна взаимодействовать со следующими типами пользователей:

- с техническими администраторами системы в целях ее модификации и осуществления технической поддержки ключевых пользователей, предполагается прямой доступ к базе данных системы и ее коду;
- с ключевыми пользователями в целях осуществления своих должностных обязанностей, взаимодействие предполагается строго через интерфейс системы и регламентировано четкими правилами и инструкциями пользователей.

К техническим администраторам системы относятся:

- разработчик системы;
- технический пользователь со стороны компании, эксплуатирующей ИСП ГР ММ.

К ключевым пользователями системы для решения задачи построения ГР ММ относятся:

- специализированные сотрудники депо, занятые построением ГР ММ – для осуществления своих должностных обязанностей;
- ревизор, следящий за работой службы движения – для верификации исходных данных и результатов.

ММ не имеют доступа к интерфейсу системы, а являются потребителями итоговых именных нарядов, сформированных на базе результатов работы ИСП ГР ММ.

К ключевым пользователям системы для решения задачи построения ГР ПрК относятся:

- руководители проектов в целях оценки ресурсных и финансовых затрат на проект;
- технические лидеры команд и архитектор в целях верификации вводных данных для анализа и результата распределения ресурсов.

Участники ПрК и руководители департаментов не имеют доступа к интерфейсу системы, но являются потребителями результирующих данных и ГР ПрК.

В рамках единого интерфейса реализована возможность выбора задачи и методики ее решения. Наряду с центральной задачей работы (построение ГР для посменно работающих ММ) реализовано решение задачи построения ГР ПрК, занятых во внедрении АИУС на метрополитене. В качестве АИУС может выступать разработанная во второй главе диссертации ИСП ГР ММ.

В рамках работы автором создан программный продукт, позволяющий с помощью визуального интерфейса варьировать основные параметры задачи (минимально и максимально возможное время работы ММ, длительности

обедов, ограничения на число рабочих дней за месяц или неделю, требования к режиму труда и отдыха и др.). Благодаря такому подходу при использовании продукта появляется возможность оперативного изменения параметров задачи, а также адаптация условий задачи под изменяющиеся реалии норм организации работы персонала и ПГД ППМ, в том числе применение алгоритмов к построению ГР машинистов МЦК в п. 4.4. Графический пользовательский интерфейс программного продукта приведен на Рисунке 4.1.

Итоговые результаты ГР сотрудников, визуализация распределения ресурсов по всему ГО ЭПС и таблицы с деталями решений для возможного дополнительного анализа формируются в рамках всплывающих окон ПО и записи данных в *Microsoft Excel* файлы, расположенные в выбранной директории на компьютере.

Графический пользовательский интерфейс состоит из следующих блоков:

1. Панель выбора задачи, которая используется для построения ГР сотрудников в зависимости от типа занятости:

– посменная работа ММ (задача повышения эффективности использования рабочего времени ММ с использованием рекурсивных алгоритмов, описанная в 2 и 4 главах диссертационной работы);

– проектные команды (задача планирования работы ПрК при реализации стадий жизненного цикла ИСУМ, описанная в 3 главе диссертационной работы).

Настраиваемые параметры задачи построения ГР ММ:

2. Панель выбора значений параметров задачи построения ГР ММ.

Настраиваемые параметры задачи построения ГР ПрК:

3. Панель выбора параметров значимости критериев стоимости ресурсов на проекте и времени его реализации, возможность установления ограничения в продолжительности проекта.

[illegible]

Рисунок 4.1 – Графический пользовательский интерфейс разработанного программного продукта

4. Панель выбора верхнего ограничения по числу сотрудников разной специализации и уровня компетенций, которых можно привлечь к работе на разных этапах проекта.

5. Панель выбора типа кроссинговера, используемого при решении задачи построения ГР ПрК с помощью генетического алгоритма.

6. Панель выбора параметров популяции, числа итераций и точности решения генетическим алгоритмом.

Общий интерфейс задач построения ГР сотрудников:

7. Кнопка вызова поиска файлов на компьютере для загрузки входных данных.

Предложенный алгоритм решения задачи построения ГР ММ позволяет при достаточно низких временных издержках адаптировать условия под меняющиеся реалии Российского законодательства:

- потенциальное расширение трудового дня и круглосуточная работа;
- возможные льготы и дополнительные ограничения в работе женщин-машинистов, которых постепенно привлекает к работе Московский метрополитен после исключения профессии ММ из списка запрещенных для женщин [170, 171].

4.2. Анализ результатов построения ГР основных ММ с использованием разработанной ИСПГРММ

4.2.1. Использование направленного перебора элементов множества основных ММ в алгоритме распределения их по графику РС

К недостаткам разработанного в п. 2.1.2 алгоритма можно отнести необходимость перебора большого числа заранее неудачных вариантов. Поскольку перебор осуществляется по порядковому номеру основного ММ, просматривается четкое уменьшение числа часов привлечения ММ к работе в

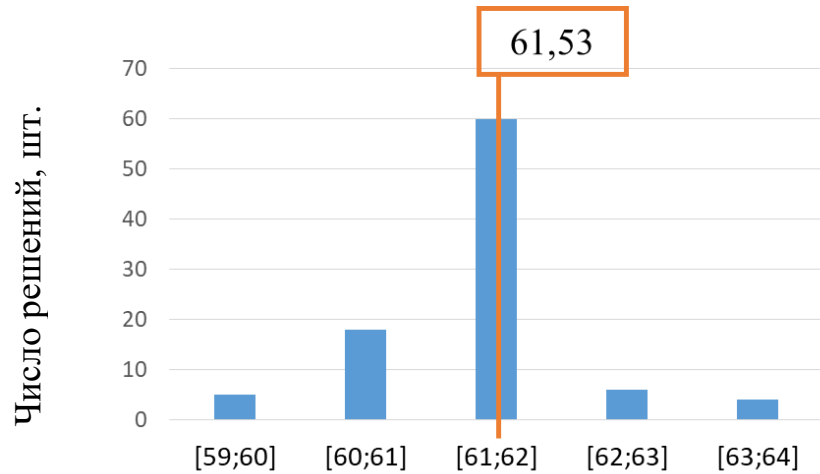
порядке роста их номера (Таблица 4.1). При этом ММ со старшим порядковым номером привлекается по остаточному принципу.

Для совершенствования алгоритма распределения основных ММ по графику РС (Рисунок 2.7, блоки 2-12) был реализован направленный перебор по принципу: при добавлении нового элемента e_V первым рассматривается тот элемент M_{MW} , для которого привлечение к работе в рамках уже сформированного S_V минимально.

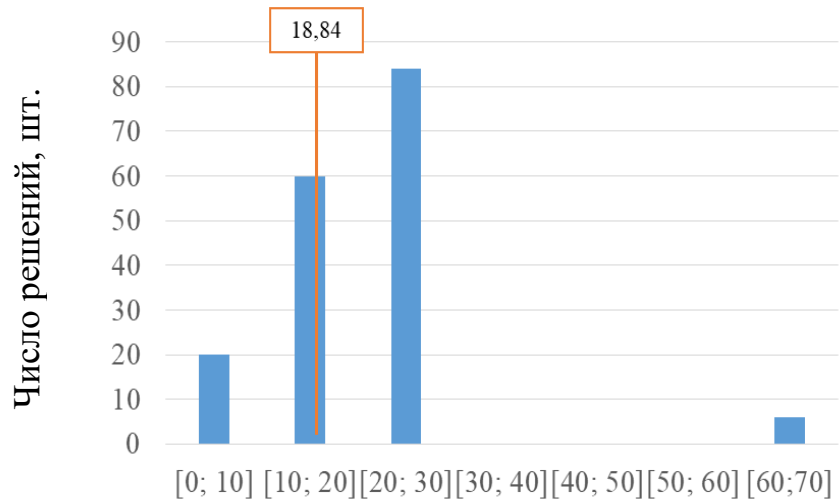
Таблица 4.1 – Сравнение решений для одного состава с минимальным значением критерия качества, полученных с использованием направленного перебор и без него

Линия	Условные обозначения	Средняя продолжительность РС в неделю, час	
		Без использования направленного перебора	С использованием направленного перебора
ТКЛ	ММ №1	33	27,3
	ММ №2	32	27,1
	ММ №3	25	28,0
	ММ №4	15	26,6
	ММ №5	4	-
	Сумма	109	109
Число рассмотренных решений		6000	5201

При использовании направленного выбора заметно снижение значения критерия СКО длительности РС ММ по сравнению с обычным перебором (Рисунок 4.2). В следующих главах приводятся результаты с использованием направленного перебора.



(а)



Значение СКО продолжительностей РС ММ, час

(б)

Рисунок 4.2 – Гистограммы распределения значений критерия по множеству решений депо «Выхино» ТКЛ: (а) Без использования направленного перебора элементов множества основных ММ; (б) С использованием направленного перебора, оранжевой линией указано среднее значение

4.2.2. Построение ГР основных ММ с использованием разработанной ИСПГРММ

Рассмотрим результаты разработанного в п. 2.1.2 алгоритма с применением направленного перебора элементов множества основных ММ, реализованного в ИСП ГР ММ, описанной в п. 4.1. Компактность нагрузки достигается за счет использования критерия минимизации СКО при распределении основных ММ по РС [139]:

$$K = \sqrt{\frac{1}{I_{MW}-1} \sum_{i=1}^{I_{MW}} (RS_i - \overline{RS})^2}, \quad (4.1)$$

где RS – продолжительность i -й РС ММ за период, включающих время приемки и сдачи ЭПС, $\overline{RS}$ – средняя продолжительность РС ММ за период;

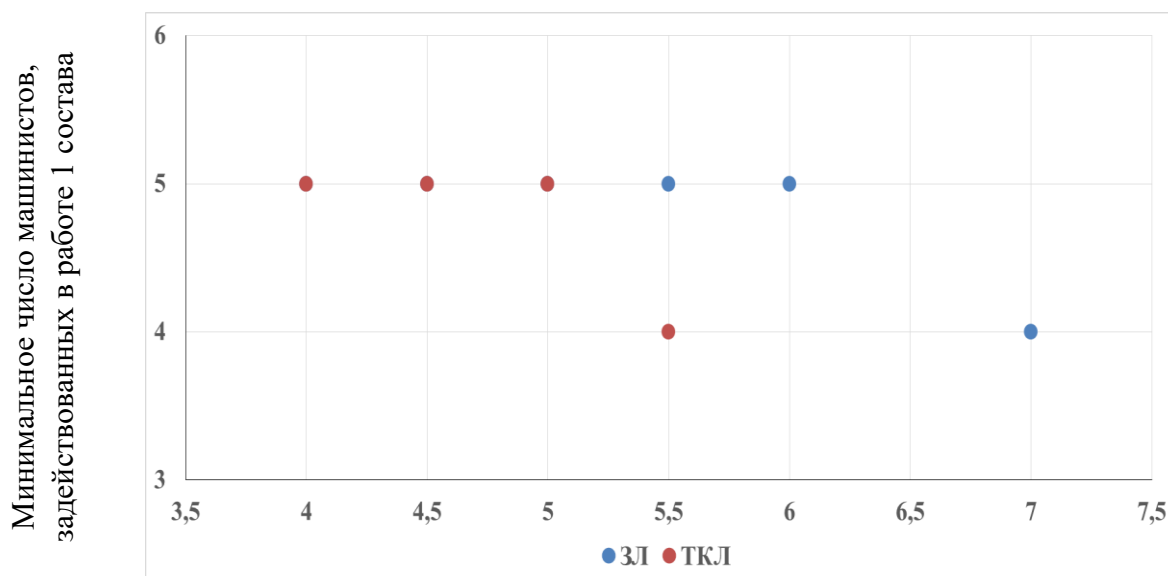
I_{MW} – число задействованных основных ММ.

Качество полученных решений определялось по двум параметрам:

1. Число ММ, задействованных в реализации всех маршрутов, выбранных для анализа депо.
2. Сравнение среднего числа / продолжительности РС у одного ММ за период (п. 4.1.2).

При решении задачи использовалось несколько параметров разбиения ГО на РС (Рисунок 4.3).

На Рисунке 4.3 видно, что при первичном разбиении ГО на РИ с длительностью от 4-х до 5-и часов для депо «Замоскворецкое» ЗЛ и 6-и часов для депо «Выхино» Таганско-Краснопресненской линии (ТКЛ) Московского метрополитена при применении алгоритма для реализации работы одного состава в течение 39-и (ЗЛ) и 37-и (ТКЛ) дней работы требовалось привлечение 5-и основных ММ. При увеличении шага первичного разбиения РИ до 7 и 5,5 часов, соответственно, потребовалось привлечение уже 4-х основных ММ. Далее приведены результаты для продолжительностей РИ, равных 7 и 5,5 часам, до их «смещения», исходя из принципа минимизации числа привлекаемых ММ.



Продолжительность шага первичного разбиения ГО, час

Рисунок 4.3 – Зависимость числа задействованных ММ от продолжительности РИ для первых 1000 рассмотренных решений

На Рисунке 4.4 приведено решение задачи распределения работы основных ММ по РС для депо «Замоскворецкое» Замоскворецкой линии Московского метрополитена (ЗЛ) и депо «Выхино» ТКЛ с минимальным значением критерия качества. Обработка данного решения заняла около 5 минут, что значительно быстрее «ручного» анализа начальных данных. Согласно документам «Разбивка смен работникам локомотивных бригад согласно графику движения» на анализируемых линиях процесс движения могут осуществлять 5 ММ. РИ для каждого ММ указываются своим цветом.

На Рисунке 4.4 по оси ординат определяется режим работы ММ: движению ЭПС соответствует уровень 1; приемке ЭПС – 1,5; сдаче ЭПС – 0,5 (согласно схемам, представленным на Рисунках 2.4 и 2.5). Таким образом, в рамках реализации ИСП ГР ММ возможен учет времени ММ, затрачиваемого на приемку и сдачу ЭПС.

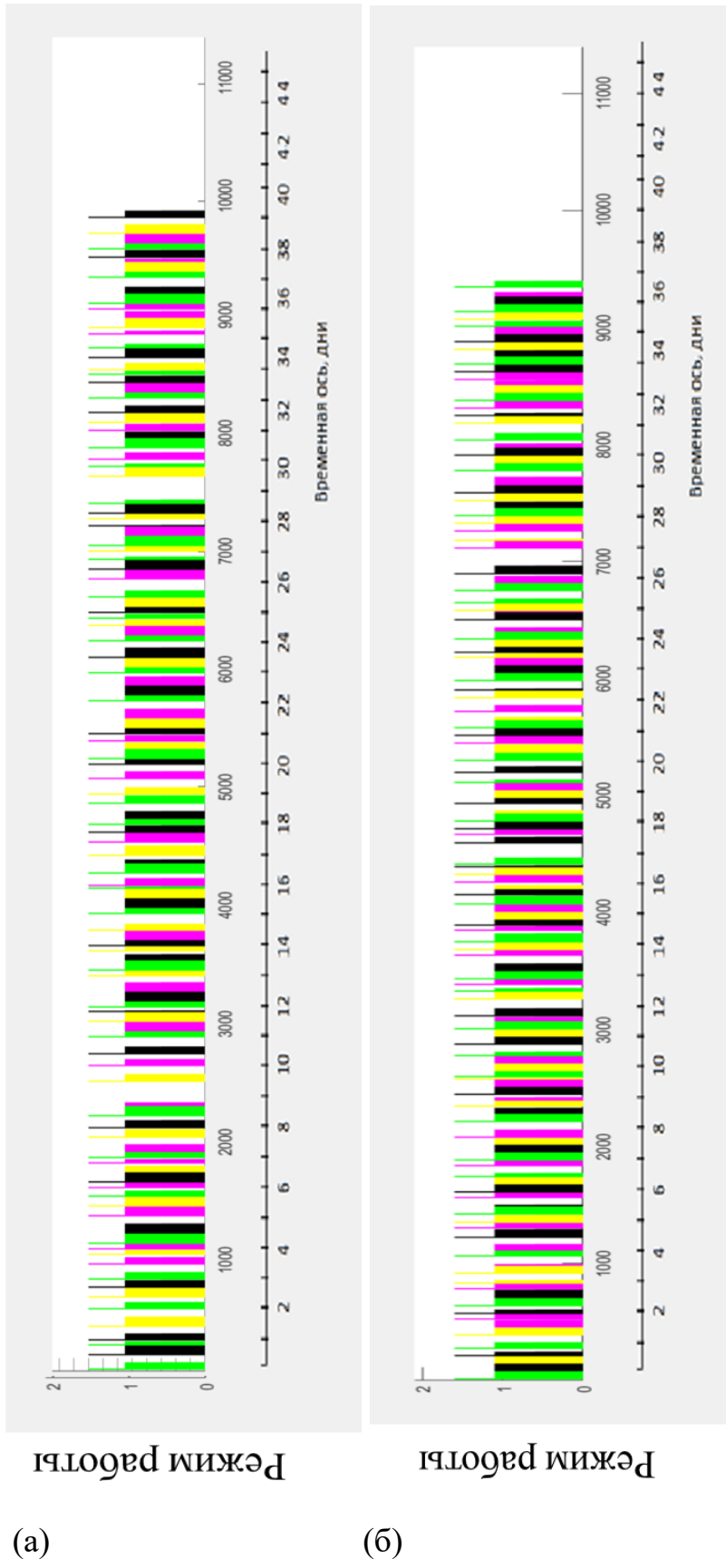
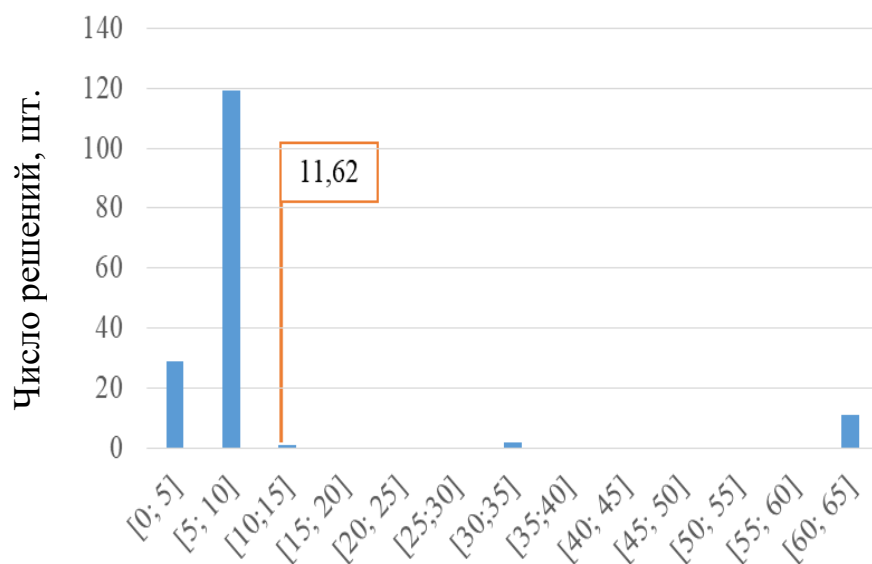


Рисунок 4.4 – Решение задачи для: (а) Депо «Замоскворецкое» ЗЛ, (б) Депо «Выхино» ТКЛ
Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основной ММ №2; желтым – основной ММ №3; розовым – основной ММ №4; синим

Анализ полученных результатов решения задачи распределения основных ММ по графику РС с помощью алгоритма, разработанного в п. 2.1.2 и представленного на Рисунке 2.7, приведен в Таблице 4.2 и на Рисунке 4.5. По мере работы алгоритма для рационализации времени, в рамках которого могут быть получены удовлетворительные решения, отсеивались решения, в реализации которых участвовали 6-ь и более ММ. Для решений, в реализации которых участвовало 5-ь ММ, приведен разброс критерия минимизации.

Таблица 4.2 – Анализ рассмотренных решений задачи автоматизации работы основных ММ для одного состава

Линия	Число задействованных ММ, чел.	Число рассмотренных решений, шт.	Число завершённых решений, шт.	Период учета, дни	Худшее из рассмотренных значений СКО продолжительностей РС ММ за весь период учета, час	Лучшее из рассмотренных значений СКО продолжительностей РС ММ за весь период учета, час
ЗЛ	4-5	3199	162	39	63,46	1,12
	≥ 6		35		Решения отсеяны из-за большого числа задействованных ММ	
ТКЛ	4-5	5201	170	37	60,64	1,34
	≥ 6		151		Решения отсеяны из-за большого числа задействованных ММ	



Значение СКО продолжительности работы ММ при распределении основных ММ по РИ, час

Рисунок 4.5 – Гистограмма распределения значений критерия по множеству решений: Депо «Замоскворецкое» ЗЛ, оранжевой линией указано среднее значение

На Рисунке 4.5 приведено распределение значений СКО продолжительностей РС ММ при назначении основных ММ по РС для множества решений, в реализации которых задействовано 4-5 ММ.

Решение для полного ГО ЭПС формируется путем смещения решения для первого маршрута на одни сутки влево и тиражирования решения.

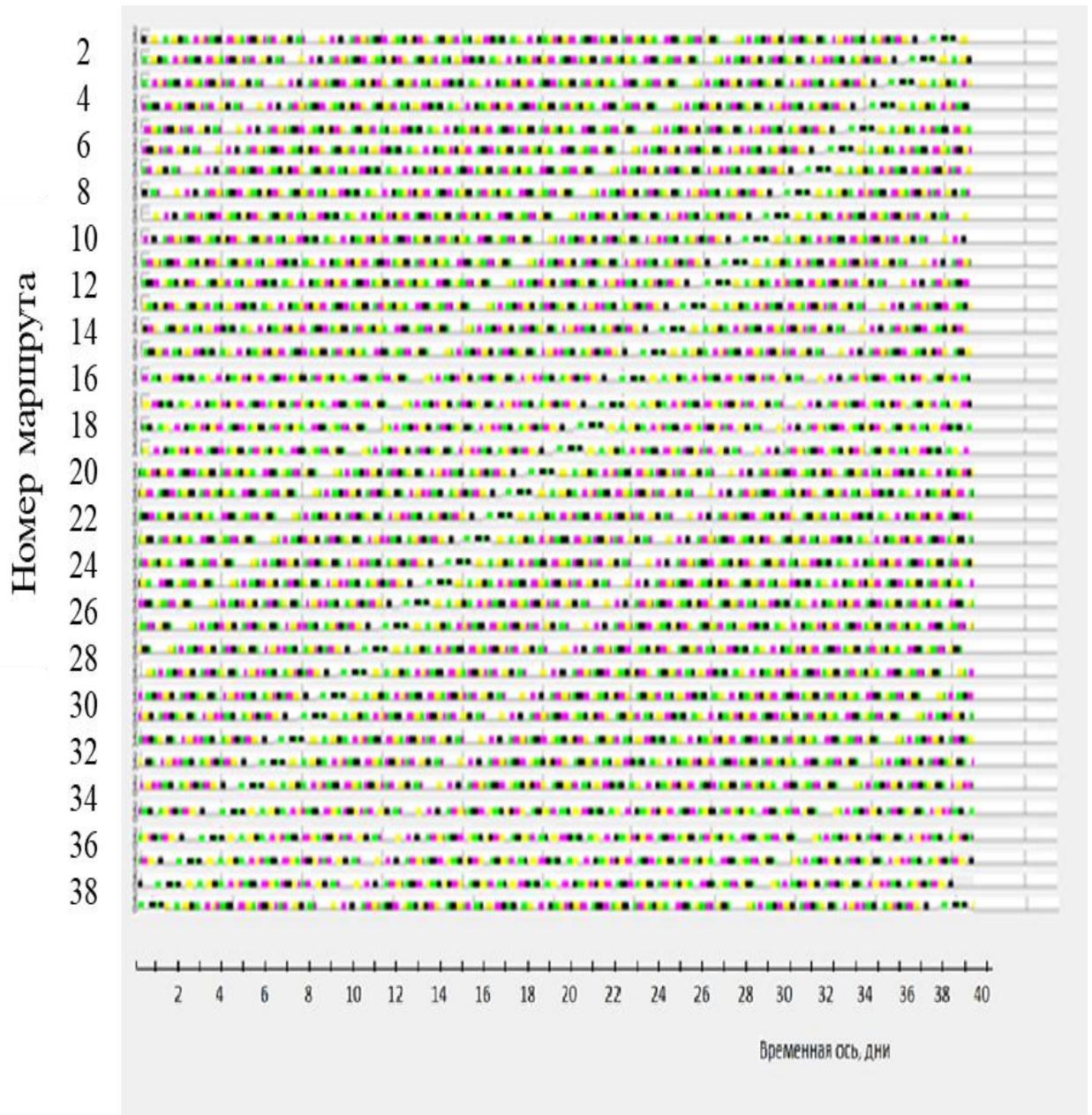


Рисунок 4.6 (а) – Решение задачи поиска лучшего из рассмотренных распределения времени ММ: Депо «Замоскворецкое» ЗЛ

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основной ММ №2; желтым – основной ММ №3; розовым – основной ММ №4

На Рисунке 4.6 показано перемещение составов между маршрутами при реализации ПГД ППМ в течение 37-и и 39-и дней. Каждый следующий маршрут повторяет предыдущий с учетом сдвига на один день, исключая субботу и воскресенье. Для выходных дней график работы ММ составляется аналогично, как для рабочих, только по ГО выходных дней.

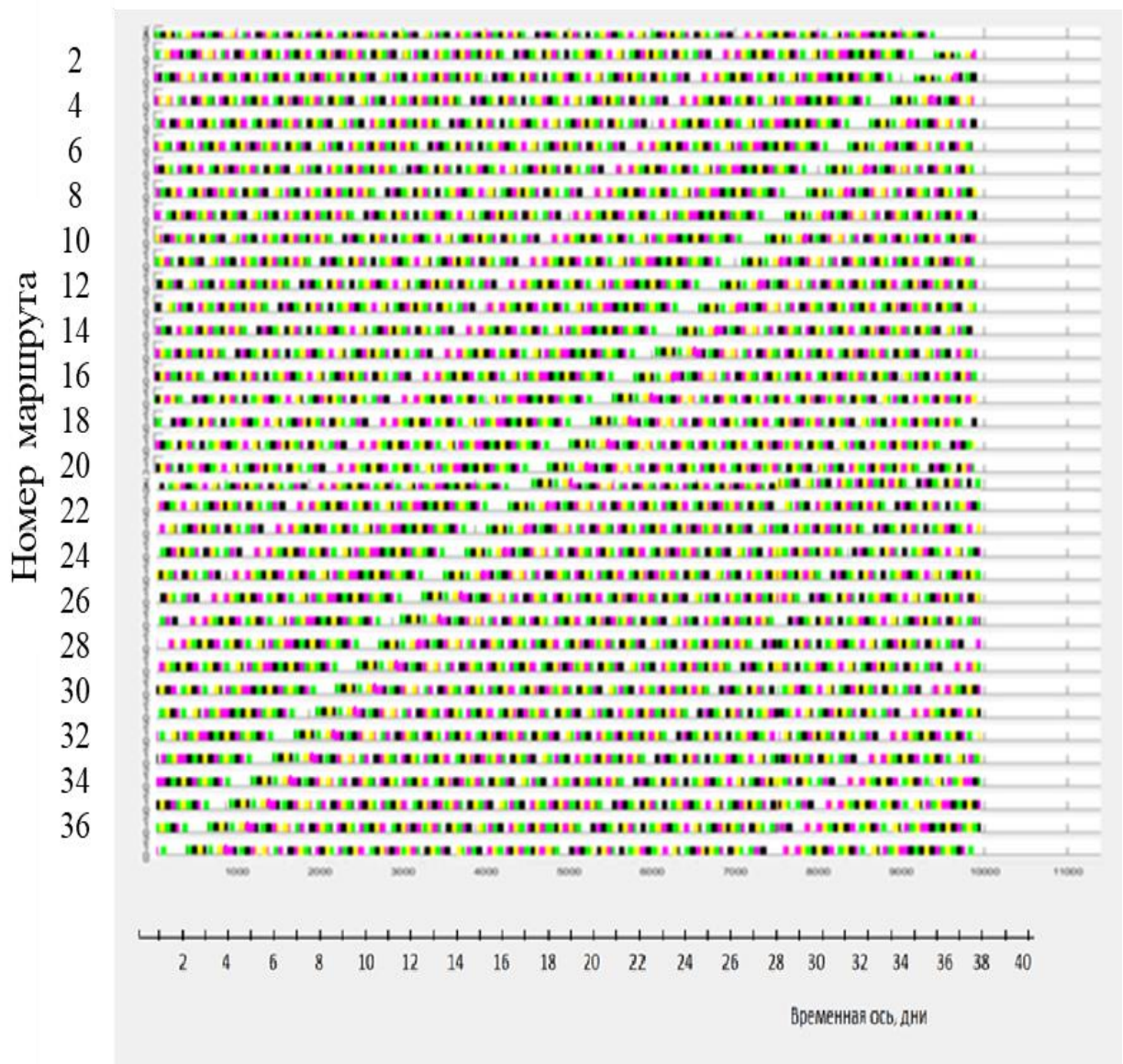
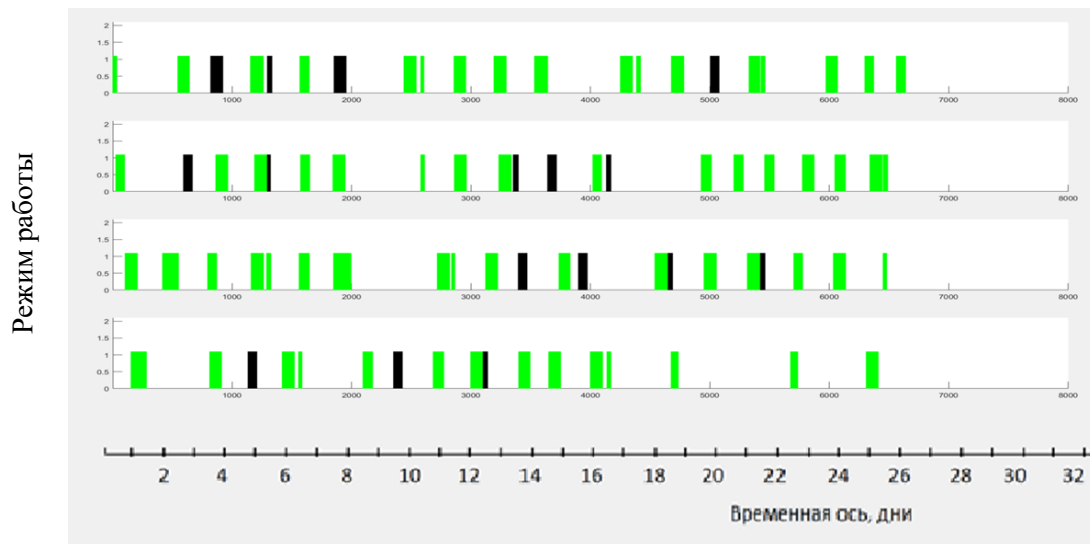


Рисунок 4.6 (б) – Решение задачи поиска лучшего из рассмотренных распределения времени ММ: Депо «Выхино» ТКЛ

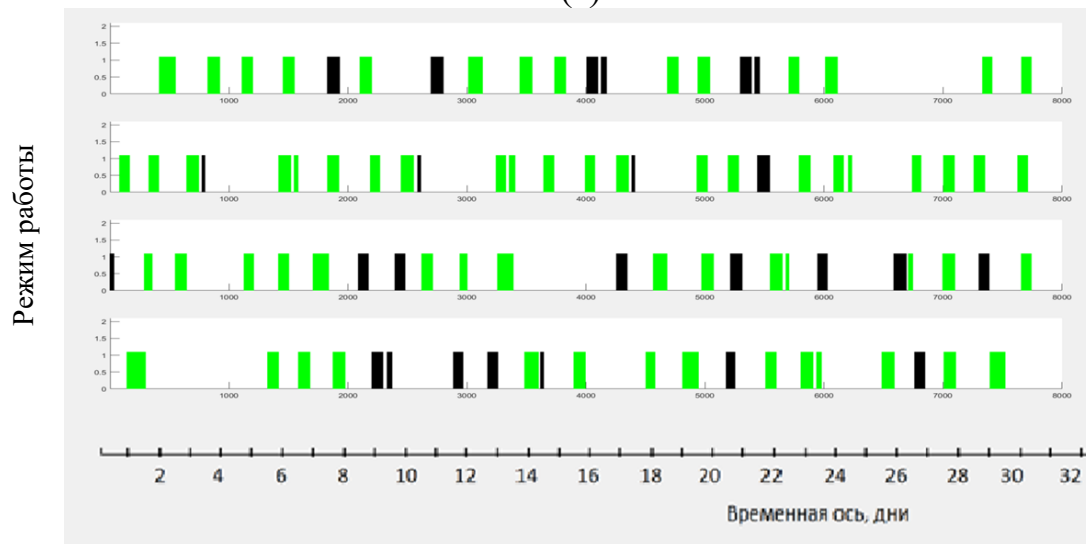
Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основной ММ №2; желтым – основной ММ №3; розовым – основной ММ №4

4.2.3. Сравнение решений, полученных с использованием ИСПГРММ, и реальных ГР основных ММ

Для определения качества созданной модели [172, 173] приведено сравнение реально действующих нарядов (Рисунок 4.7) и расчетного ГР основных ММ ЗЛ и ТКЛ (Рисунок 4.4).



(a)



(б)

Рисунок 4.7 – Примеры реального ГР ММ:

(а) Депо «Замоскворецкое» ЗЛ, первые 4 наряда

(б) Депо «Выхино» ТКЛ, первые 4 наряда

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы машиниста в качестве основного ММ, черным – в качестве маневрового или подменного

На Рисунке 4.7 видно, что основные машинисты привлекаются к работе в том числе в качестве маневровых и подменных машинистов. Допустимы ситуации, когда осуществление подмен происходит внутри основного ГР (описывается в документе «Разбивка смен работникам ЛБ согласно ПГД», Приложение 4).

На Рисунках 4.8 (а), 4.8 (б) приводятся значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута (Рисунок 4.4) и примеров реальных ГР ММ (Рисунок 4.7). Для определения показателей учитываются 7 дней, следующих за текущим (данные по 4-м машинистам ТКЛ отражены в Таблице 4.3, данные по ЗЛ приведены в Приложении 5). В реальности может наблюдаться значительное колебание длительности труда у разных машинистов, привлекаемых в качестве основных ММ. Модель при рассмотрении занятости основных машинистов обеспечивает равномерность.

Минимальное число привлекаемых ММ обусловлено не только фактическим временем движения ЭПС, но и максимальным числом РС в сутки. ММ, для которых средняя продолжительность РС в неделю меньше нормы, могут быть привлечены для работы в качестве подменных или маневровых ММ.

Согласно расписанию нарядов ЗЛ к обеспечению работы 39 маршрутов депо «Замоскворецкое» (Приложение 6) участвует 240 ММ. При этом не существует четкого соответствия между ММ и ЭПС, что не характерно для большинства линий Московского метрополитена. Согласно данным ТКЛ 37 маршрутов депо «Выхино» обслуживает около 200 ММ. При этом по данным ТКЛ сотрудники часто перерабатывают (зафиксировано за год в среднем 50 часов переработки у каждого сотрудника).

Согласно расчетной модели для ЗЛ в рамках 39 маршрутов депо «Замоскворецкое» требуется привлечь 156 ММ, а для ТКЛ для обеспечения 37 маршрутов – 148 ММ.



Рисунок 4.8 (а) – Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ТКЛ, машинист № 1 и 4), РИ=5,5, оранжевой линией указано среднее значение

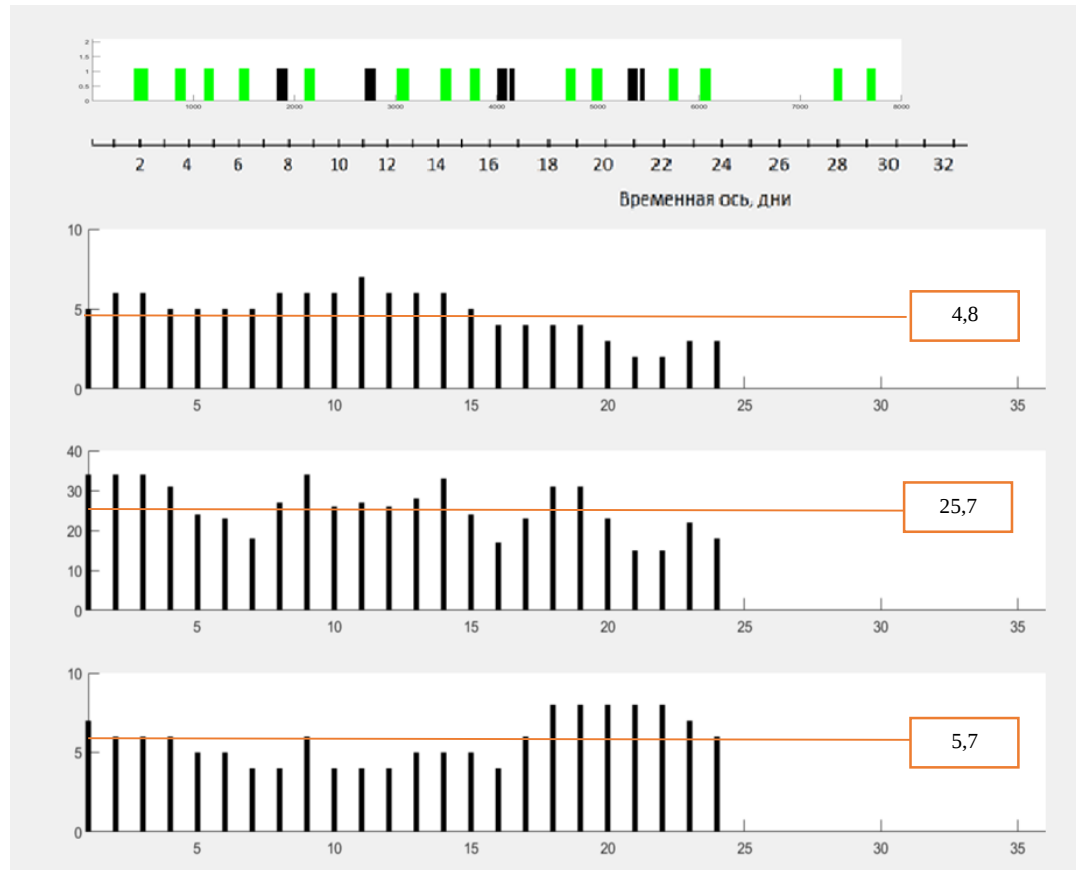
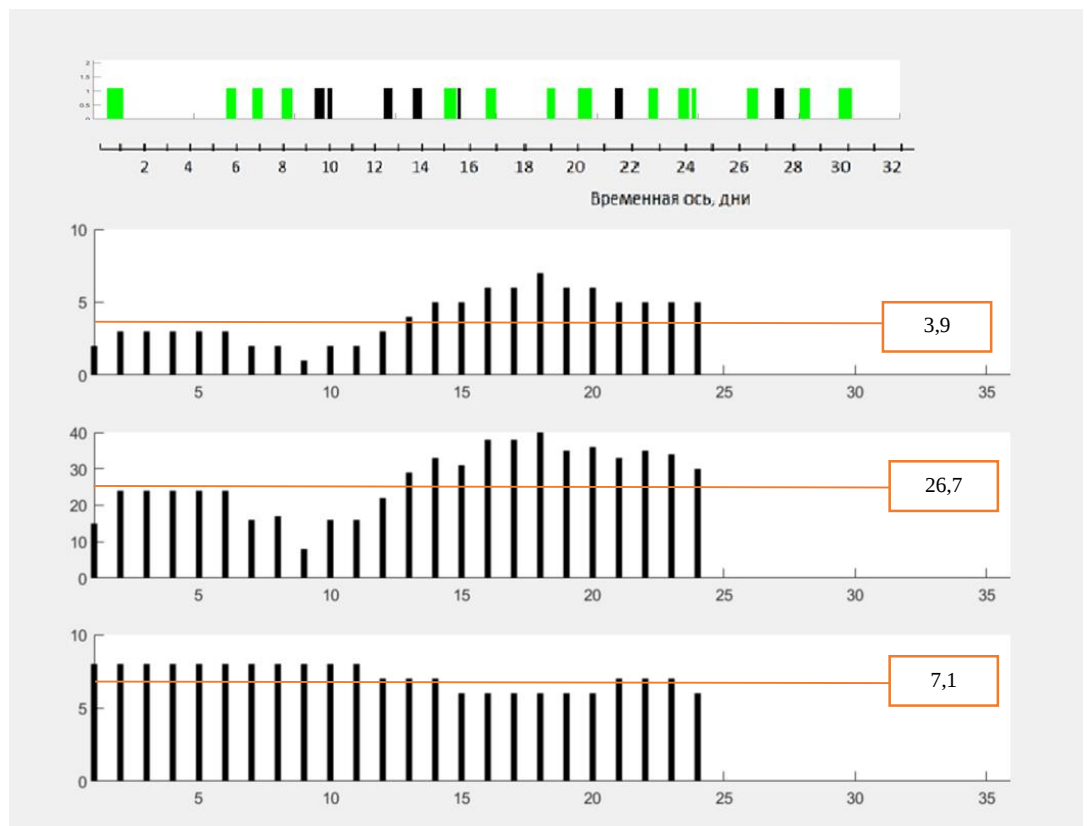
Режим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 днейРежим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней

Рисунок 4.8 (б) – Примеры реального ГР ММ (ТКЛ, машинист № 1 и 4),
оранжевой линией указано среднее значение

Обозначение		№	ММ\дни	1 - 7	2 - 8	3 - 9	4 - 10	5 - 11	6 - 12	7 - 13	8 - 14	9 - 15	10 - 16	11 - 17	
Модель	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1		6	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	
		2		4	4	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5
		3		5	5	4	5	5	6	6	6	5	5	6	6
		4		6	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6
	среднее зн.		5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1		27,5	27,5	29,3	23,6	30,2	31,7	31,7	26,0	31,4	31,4	31,2	31,2
		2		28,0	25,5	29,3	27,1	27,1	27,2	27,2	31,8	31,2	25,5	25,9	25,0
		3		29,7	28,2	22,5	27,4	25,5	31,2	31,2	32,0	26,3	27,8	33,5	36,8
		4		26,6	30,8	31,1	34,6	35,3	31,2	31,2	29,5	29,5	32,2	32,8	30,9
	среднее зн.		28	28	28	28	30	30	30	30	30	29	31	31	
Средняя продолжительность смены за 7 дней	1		4,6	4,6	4,9	4,7	5,0	5,3	5,3	5,2	6,3	6,3	6,2	6,2	
	2		7,0	6,4	5,9	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3	5,2	5,1	5,2	5,0	
	3		5,9	5,6	5,6	5,5	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,6	5,6	6,1	
	4		4,4	4,4	4,4	4,9	5,0	5,2	5,2	4,9	4,9	5,4	5,5	5,1	
среднее зн.		5,5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6		
Пример	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1		5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	7	
		2		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		3		5	6	6	6	7	7	7	7	7	6	5	5
		4		2	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2	2
	среднее зн.		4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1		33,6	34,1	34,1	31,2	23,5	22,5	22,5	18,3	26,7	33,7	26,3	26,8
		2		28,9	30,0	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	28,5	29,2	28,3	28,3	28,3
		3		29,3	32,1	31,8	27,1	34,6	33,0	33,0	36,6	31,7	28,9	25,9	26,9
		4		15,4	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	16,2	16,5	8,2	16,0	16,0
	среднее зн.		27	30	30	28	28	27	27	25	26	25	24	25	
Средняя продолжительность смены за 7 дней	1		6,7	5,7	5,7	6,2	4,7	4,5	4,5	3,7	4,5	5,6	4,4	3,8	
	2		5,8	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,7	5,8	5,7	5,7	5,7	
	3		5,9	5,4	5,3	4,5	4,9	4,7	4,7	5,2	4,5	4,8	5,2	5,4	
	4		7,7	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,1	8,3	8,2	8,0	8,0	
среднее зн.		7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		

Таблица 4.3 (б) – Сравнение решений, полученных с помощью модели и примеров реальных ГР ММ, ТКЛ

Обозначение		№ ММ \ дни	12 - 18	13 - 19	14 - 20	15 - 21	16 - 22	17 - 23	18 - 24	19 - 25	20 - 26	21 - 27	22 - 28	
Модель	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	5	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5	
		2	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	5
		3	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7	6	6
		4	5	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6
		среднее зн.	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	28,9	28,9	30,6	28,8	28,8	28,8	23,2	29,0	30,4	27,3	31,3	25,6
		2	29,0	29,0	28,2	27,1	32,8	32,8	29,1	30,0	30,2	30,2	31,5	27,4
		3	31,0	27,1	27,1	32,9	29,0	29,0	29,0	23,5	29,3	33,2	27,5	22,5
		4	25,1	29,4	32,5	28,3	27,2	25,7	25,7	25,7	28,1	24,2	23,1	28,8
		среднее зн.	29	29	30	29	29	29	27	27	30	29	28	26
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	5,8	5,8	5,1	4,8	4,8	4,8	4,6	4,8	5,1	4,5	5,2	5,1
		2	4,8	4,8	4,7	4,5	4,7	4,7	4,9	5,0	5,0	5,0	5,2	5,5
		3	6,2	5,4	5,4	5,5	4,8	4,8	4,8	3,9	4,2	4,7	4,6	3,7
		4	5,0	4,9	5,4	5,7	5,4	5,4	5,1	5,1	4,7	4,8	4,6	4,8
		среднее зн.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Пример	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	6	6	6	5	4	4	4	4	3	2	2	
		2	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5
		3	5	5	5	4	5	5	6	6	5	5	5	6
		4	3	4	5	5	6	6	6	7	6	6	5	5
		среднее зн.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	26,3	27,5	32,7	24,3	16,8	16,8	23,2	30,9	30,9	23,4	15,1	15,1
		2	28,3	28,3	28,7	31,0	25,0	25,0	26,3	25,2	27,4	27,4	26,1	26,3
		3	25,4	23,7	22,7	19,8	27,6	27,6	30,4	32,9	26,9	29,7	25,9	34,2
		4	22,1	29,1	32,7	30,5	37,7	37,7	37,7	40,9	34,8	36,2	32,6	34,7
		среднее зн.	26	27	29	26	27	27	29	32	30	29	25	28
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	4,4	4,6	5,5	4,9	4,2	4,2	5,8	7,7	7,7	7,8	7,6	7,6
		2	5,7	5,7	5,7	6,2	6,3	6,3	6,6	6,3	5,5	5,5	5,2	5,3
		3	5,1	4,7	4,5	5,0	5,5	5,5	5,1	5,5	5,4	5,9	5,2	5,7
		4	7,4	7,3	6,5	6,1	6,3	6,3	6,3	5,8	5,8	6,0	6,5	6,9
		среднее зн.	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Таблица 4.3 (в) – Сравнение решений, полученных с помощью модели и примеров реальных ГР ММ, ТКЛ

Обозначение	№ ММ \ дни	23 - 29	24 - 30	25 - 31	26 - 32	27 - 33	28 - 34	29 - 35	30 - 36	31 - 37	Среднее зн. за период
Модель	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	5	5	5	5	5	6	6	7	5,5
		2	5	6	6	5	5	6	6	5	5,5
		3	6	6	6	6	6	6	6	5	5,7
		4	6	6	5	6	6	6	6	5	5,8
	среднее зн.	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5,6
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	25,6	25,6	24,6	27,7	27,7	31,1	31,1	35,1	28,6
		2	25,7	30,9	28,1	22,4	26,6	32,4	34,1	28,4	28,6
		3	26,3	26,3	29,4	29,4	29,4	34,4	34,4	28,7	29,0
		4	28,8	30,1	24,5	32,9	34,0	34,0	30,9	25,3	29,4
	среднее зн.	27	28	28	27	28	29	33	33	29	28,9
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	5,1	5,1	4,9	5,5	5,5	5,2	5,2	5,0	5,2
		2	5,1	5,1	4,7	4,5	5,3	5,4	5,7	5,7	5,2
		3	4,4	4,4	4,9	4,9	4,9	5,7	5,7	5,7	5,2
		4	4,8	5,0	4,9	5,5	5,7	5,7	5,1	5,1	5,0
	среднее зн.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,2
Пример	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	3	3							4,8
		2	6	6							5,0
		3	5	5							5,6
		4	5	5							3,9
	среднее зн.	5	5								4,8
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	21,6	17,9							25,7
		2	32,8	32,3							28,5
		3	26,4	30,0							28,9
		4	34,2	29,8							26,7
	среднее зн.	29	28								27,4
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	7,2	6,0							5,7
		2	5,5	5,4							5,8
		3	5,3	6,0							5,2
		4	6,8	6,0							7,1
	среднее зн.	6	6								5,9

В Таблицах 4.4, 4.5 приведены показатели расчетных решений для одного маршрута при разных значениях РИ.

Таблица 4.4 – Показатели расчетных решений для одного маршрута при разных значениях РИ

Линия		Условные обозначения	Период учета, дни	Число отработанных смен за период, шт.	Суммарная продолжительность основных РС, час	Средняя продолжительность РС в неделю, час
ТКЛ	Модель (шаг разбиения ГО РИ=5,5)	ММ №1	30	23	119	27,77
		ММ №3		23	124,1	28,95
		ММ №3		21	122,8	28,65
		ММ №4		24	124,8	29,11
		Сумма		91	490,7	114,5
	Модель (шаг разбиения ГО РИ=6)	ММ №1	30	25	123,7	28,86
		ММ №3		23	119,7	27,94
		ММ №3		21	121,3	28,31
		ММ №4		17	124,1	28,95
		Сумма		86	488,8	114,05

Таблица 4.5 – Показатели расчетных решений при разных значениях РИ

Линия		Условные обозначения	Период учета, дни	Число отработанных смен за период, шт.	Суммарная продолжительность основных РС, час	Средняя продолжительность РС в неделю, час
ТКЛ	Модель (шаг разбиения ГО РИ=6,5)	ММ №1	30	20	121,4	28,33
		ММ №3		21	126,0	29,39
		ММ №3		22	120,7	28,16
		ММ №4		21	118,1	27,57
		Сумма		84	486,3	113,46
	Модель (шаг разбиения ГО РИ=7)	ММ №1	30	22	118,6	27,66
		ММ №3		19	120,5	28,11
		ММ №3		23	126,9	29,60
		ММ №4		19	119,9	27,99
		Сумма		83	485,8	113,35

В Таблицах 4.4, 4.5 видно, что при росте значения первичного шага разбиения ГО ЭПС снижается количество РС и суммарная продолжительность основных РС (поскольку в эту величину входит не только фиксированное время движения согласно ГО, но и время приемки / сдачи ЭПС). Расширенная статистика приведена в Приложении 7.

Полученные результаты были проанализированы сотрудниками депо (Приложения 10 и 11).

4.3. Анализ результатов построения ГР подменных ММ с использованием ИСПГРММ

Согласно алгоритму формирования ОП основных ММ и ГР подменных ММ, представленному на Рисунке 2.10 параграфа 2.2.1, построено дерево решений. Его фрагмент приведен на Рисунке 4.9.

Для формирования ГР подменных ММ производится сравнение решений, описанных каждым из путей дерева, и выбрано лучшее, согласно следующей формуле:

$$\Delta D = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{I-1} \Delta d_{ij} \rightarrow \min, \quad (4.2)$$

где ΔD – сумма всех простоев между привлечением к работе подменных ММ в период ОП основных ММ, где i – номер одного из I промежутков, а j – номер одного из J ММ.

Δd_{ij} – промежутки между привлечением ММ (в рамках суток).

На Рисунках 4.9 (а) и 4.9 (б) приводится фрагмент дерева, описывающего набор решений. Каждый путь этого графа определяет вариант последовательности ОП основных ММ, а цвет вершины характеризует номер подменного ММ, привлеченного для ведения ЭПС на протяжении ОП. В качестве решения задачи выбирается путь согласно формуле (2.4).

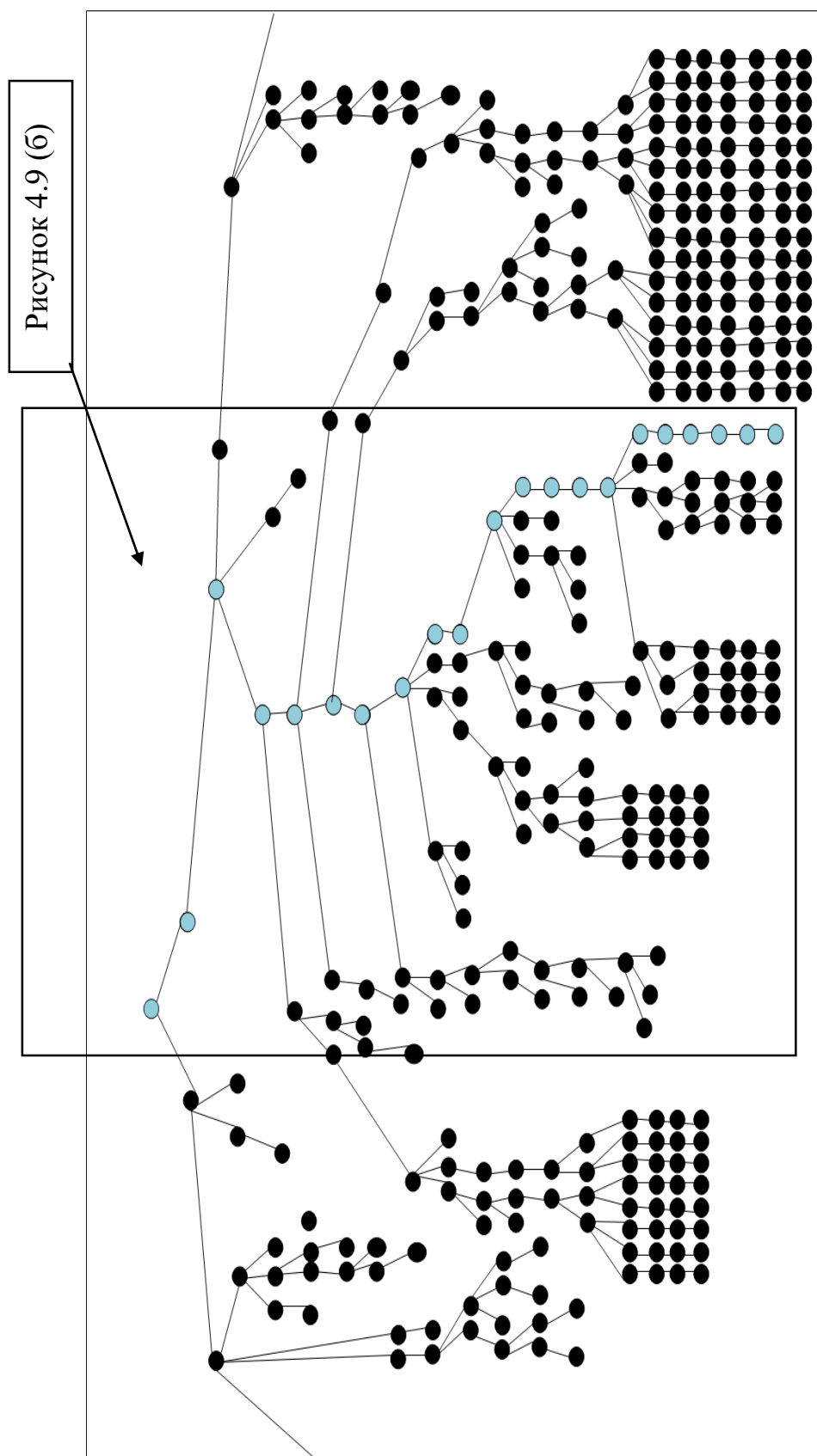


Рисунок 4.9 (а) – Фрагмент дерева, описывающего возможности для проведения ОП основных ММ

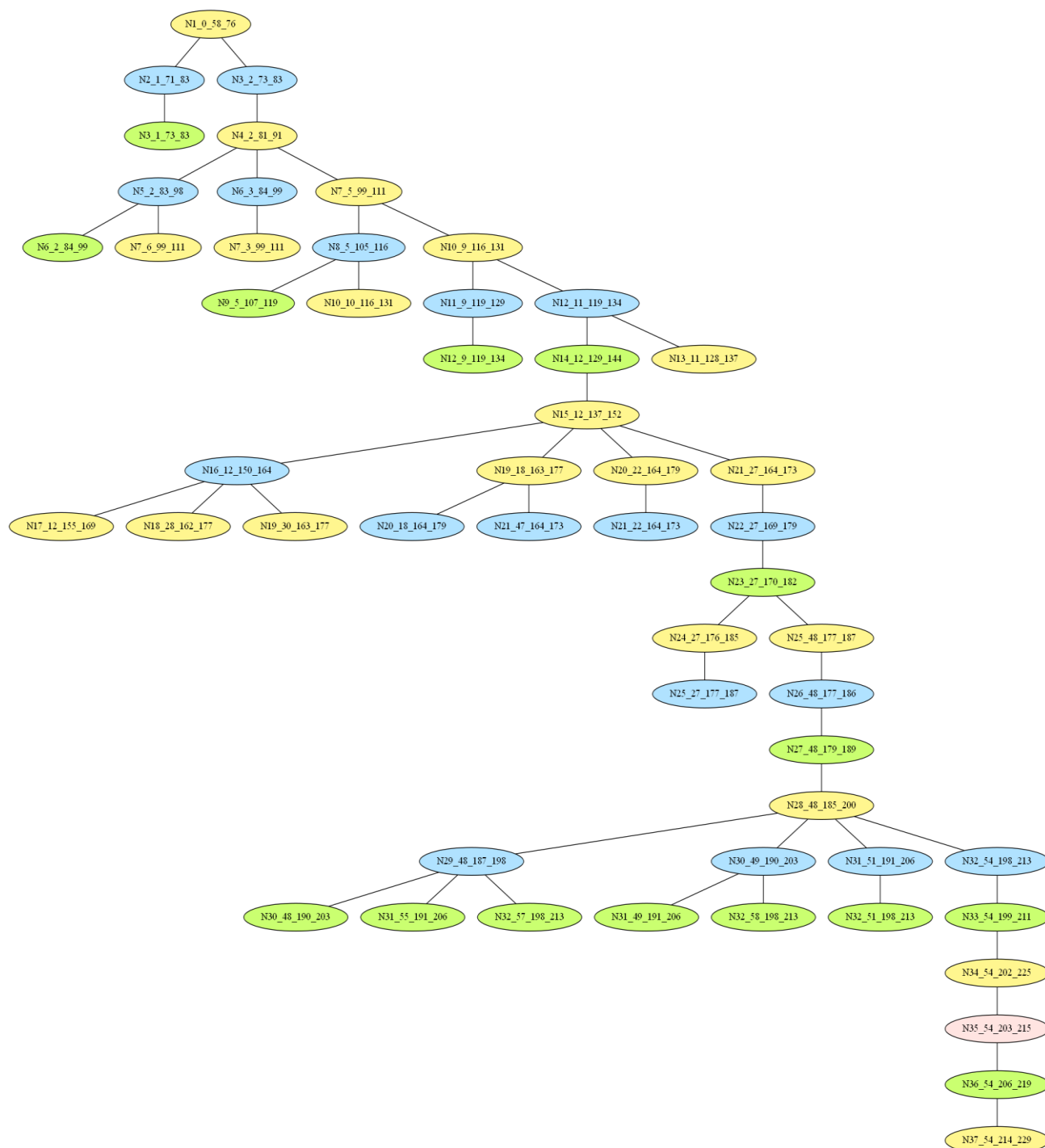


Рисунок 4.9 (б) – Фрагмент дерева, описывающего возможности для проведения ОП

Обозначение вершины: N[номер ОП в перечне]_[технический номер ветвления]_[время начала ОП]_[время окончания ОП].

На Рисунке 4.10 приведен ГР основных ММ ТКЛ с указанными возможностями для ОП (голубым цветом выделены интервалы времени между моментами прибытия маршрутов на станцию Автозаводская (ЗЛ) и Кузьминки (ТКЛ) по I и II главным путям).

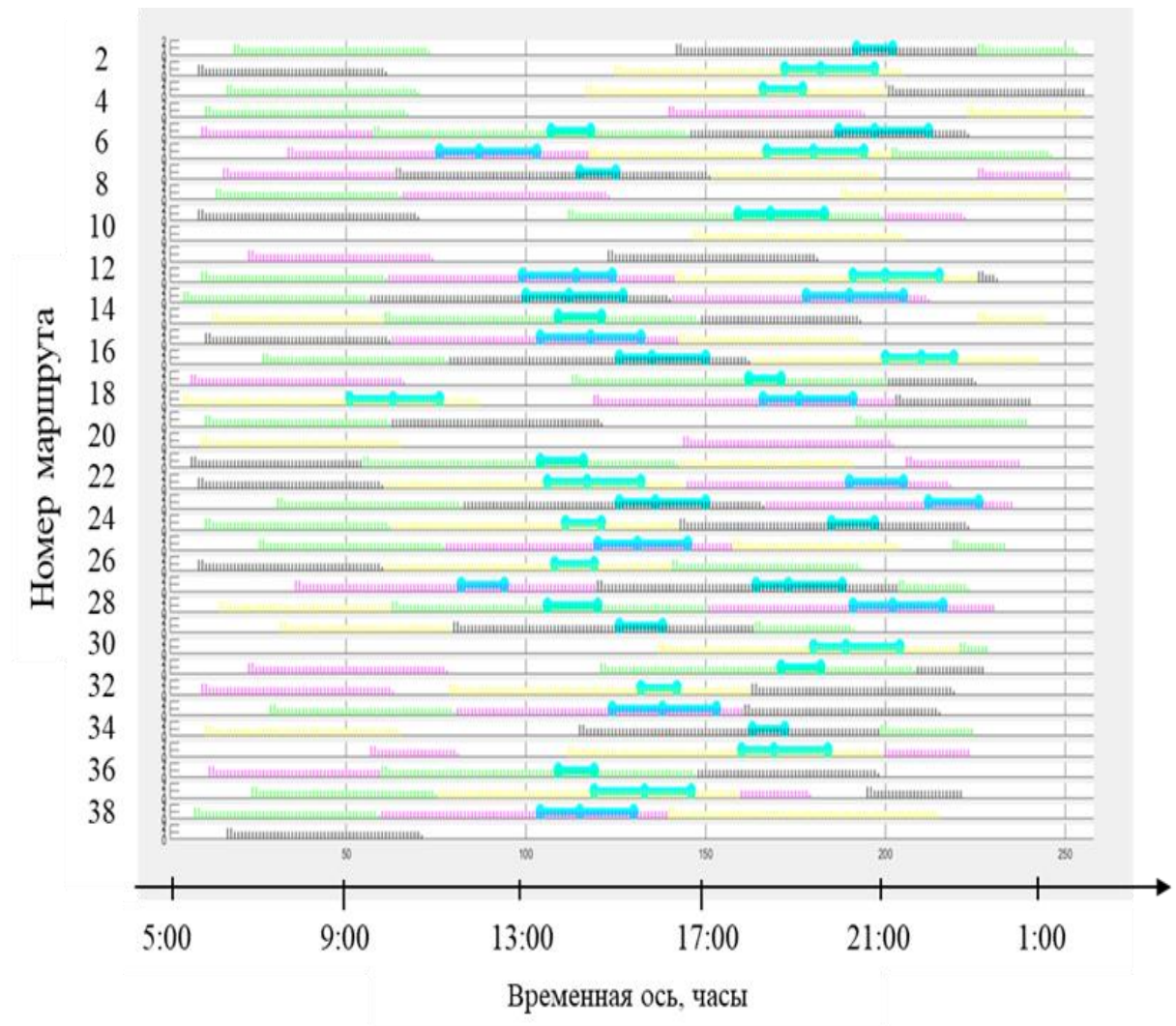


Рисунок 4.10 (а) – График работы основных ММ с возможными ОП:
Депо «Замоскворецкое» ЗЛ

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основного ММ №2; желтым – основного ММ №3; розовым – основного ММ №4; синим – основного ММ №5; сиреневым – основного ММ №6. Голубым цветом указаны возможности для осуществления подмен.

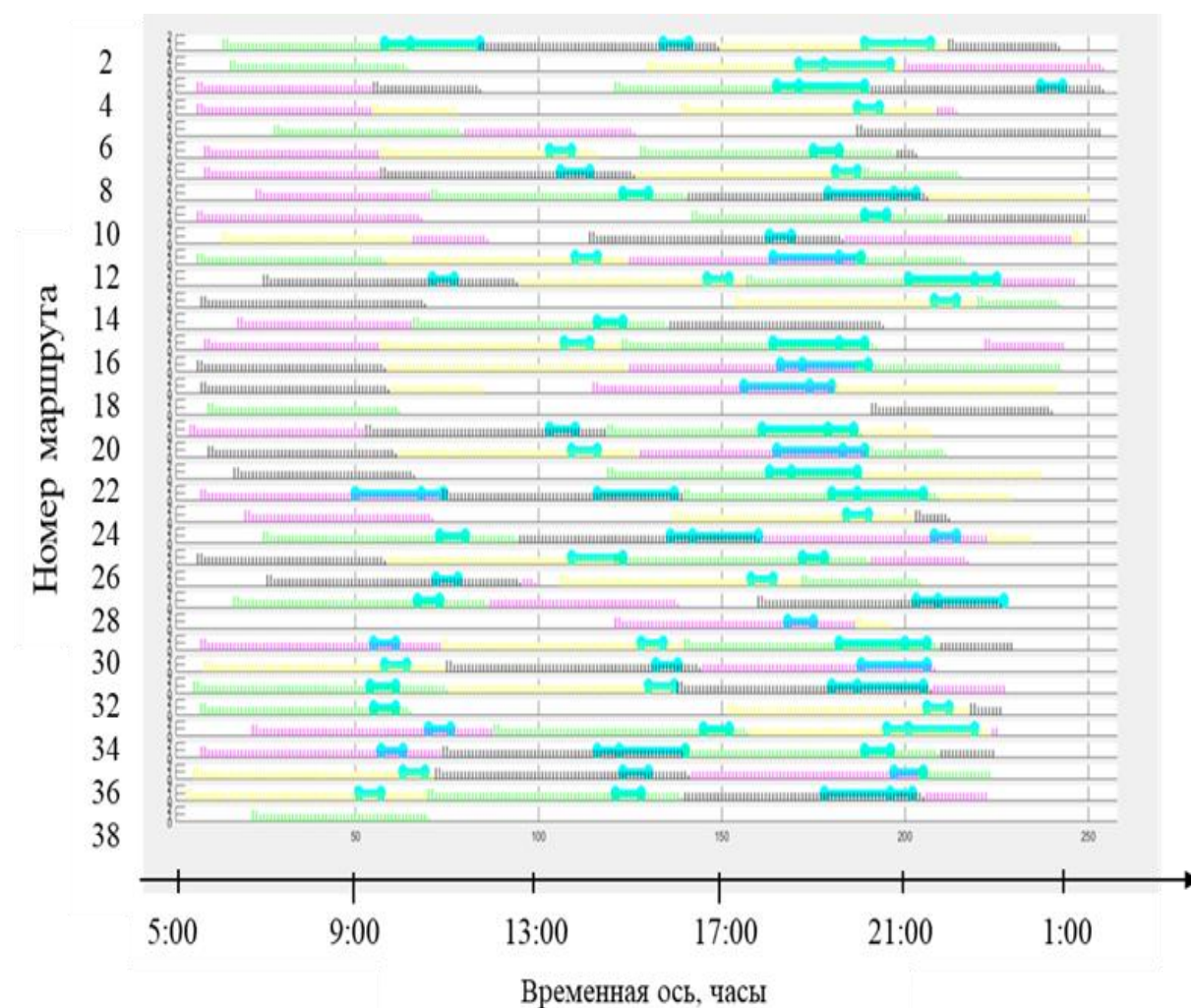
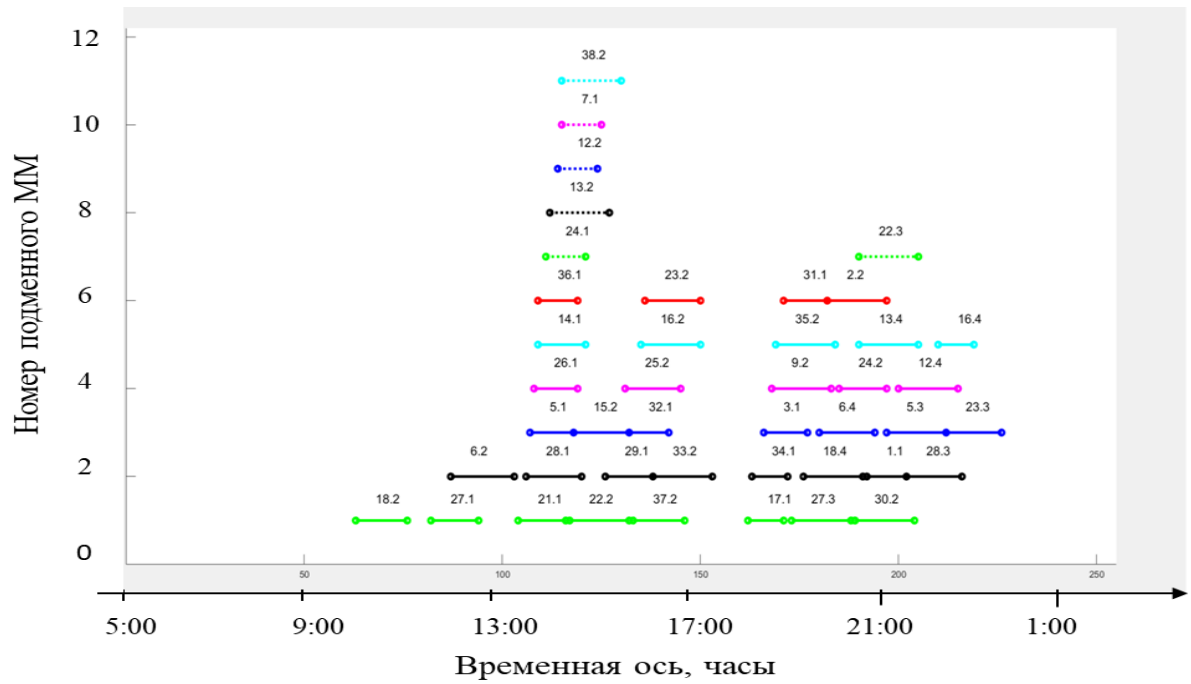


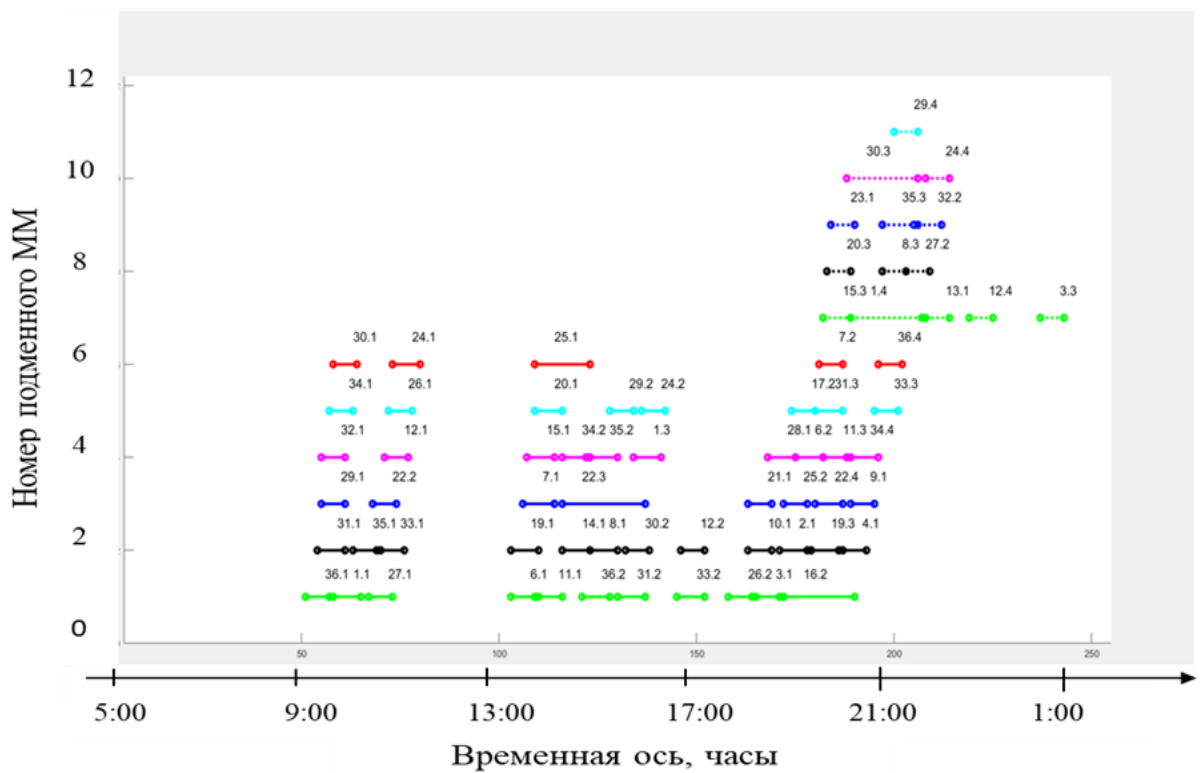
Рисунок 4.10 (б) – График работы основных ММ с возможными ОП:
Депо «Выхино» ТКЛ

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основного ММ №2; желтым – основного ММ №3; розовым – основного ММ №4; синим – основного ММ №5; сиреневым – основного ММ №6. Голубым цветом указаны возможности для осуществления подмен.

На Рисунке 4.11 (а) приведено решение задачи построения ГР подменных ММ для ГО ЭПС ЗЛ (Рисунок 4.10 (а)) с минимальным значением критерия качества, на Рисунке 4.11 (б) приведено решение задачи построения ГР подменных ММ по ОП для ГО ЭПС ТКЛ. В условном обозначении каждого из элементов полученного ГР в качестве первой цифры указан номер маршрута, второй – порядковый номер ОП в рамках этого маршрута (Рисунок 4.10). Время работы подменных ММ ограничивалось 12-и часами в сутки. При выборе решений учитывалось общее число привлекаемых подменных ММ.



(а)



(б)

Рисунок 4.11 – Решение задачи распределения времени работы подменных ММ с минимальным критерием качества: (а) Депо «Замоскворецкое» ЗЛ, (б) Депо «Выхино» ТКЛ

Параметры решения задачи построения ГР подменных ММ приведены в Таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Статистика решений, приведенных на рисунке 4.11.

Линия	ЗЛ			ТКЛ		
Условные обозначения	Время работы, час	Время простоя, час	Продолжительность РС, час	Время работы, час	Время простоя, час	Продолжительность РС, час
ММ №1	1,3	0	1,3	0,5	0	0,5
ММ №2	0,8	0	0,8	2	0,16	2,16
ММ №3	0,8	0	0,8	1,66	0,66	2,32
ММ №4	1,3	0	1,3	1,5	0,66	2,16
ММ №5	2,1	5,8	7,9	3,58	1,5	5,08
ММ №6	4,2	3,2	7,4	3,25	8,75	12
ММ №7	5,5	3,7	9,2	4,2	7,8	12
ММ №8	5,6	3,3	8,9	5,5	6,25	11,75
ММ №9	7,4	2,5	9,9	5,5	6,16	11,66
ММ №10	8,8	2,0	10,8	6,5	5	11,5
ММ №11	8,7	3,1	11,8	6,8	4,8	11,6
Среднее значение	4,2	2,1	6,3	3,7	3,8	7,5

На Рисунке 4.11 видно, что ГР подменных ММ согласно модели реализуются следующим образом:

- ГР, рассчитанный на плотную загрузку машиниста в рамках всей РС;
- ГР, включающий как привлечение к подменам, так и простои в работе;
- ГР, предполагающий локальное привлечение машинистов к осуществлению подмен.

В случае, если промежуток простоя превышает фиксированную продолжительность времени (пол часа), сотрудникам может быть проведен ОП или они могут привлекаться к маневровой деятельности между осуществлением подмен. В случае, если в рамках графика привлечение предполагается на незначительную часть рабочего дня (до 2х часов), эту работу может выполнять один из задействованных в рамках суток основной ММ.

Примечательно, что в приведенных примерах частота пересечения станции, выбранной для проведения ОП, позволяет обеспечить основных ММ перерывами в работе без дополнительных затрат на дорогу к месту нахождения вверенного ему ЭПС (в Приложении 8 приводятся параметры движения для основных линий метрополитена). В случае, если время полного оборота на линии не позволяет использовать одну станцию для смены основного и подменного ММ, к времени ОП основного ММ может добавиться время его движения навстречу ЭПС после ОП. При этом возможно использование текущего алгоритма формирования расписания ГР подменных ММ, где в качестве времени окончания элементов перечня потенциальных ОП используется время пересечения нитки графика заданного маршрута с заданной промежуточной станцией, выбранной для смены машинистов. Продолжительность промежутка подмены при этом увеличивается на длительность дороги от станции проведения ОП до места встречи основного ММ с подменным ММ.

В Таблице 4.7 приведена статистика решений. Одинаковое число подменных ММ, которых необходимо привлечь в рамках суток для обеспечения ОП основных ММ для фиксированного числа маршрутов, может быть связано со схожестью структуры и продолжительностью рассматриваемых линий метрополитена. Станция для подмены выбирается исходя из ГО и времени хода до станции. Используя предложенную модель, можно сравнивать временные затраты на проведение ОП для различных станций линии.

Таблица 4.7 – Анализ рассмотренных решений задачи автоматизации построения ГР подменных ММ

Станция для проведения ОП	Число задействованных маршрутов, шт.	Число задействованных подменных ММ, чел.	Число РИ для подмен, шт	Число завершенных решений, шт.	Худшее значение параметра простоя задействованных ММ, час	Лучшее значение параметра простоя задействованных ММ, час		
						Среднее время работы одного ММ за сутки, час	Среднее время простоя одного ММ за сутки, час	Средняя продолжительность РС одного ММ за сутки, час
Автозаводская (ЗЛ)	39	11	43	70	3,8	4,2	2,1	6,3
Кузьминки (ТКЛ)	37	11	68	55	4,7	3,7	3,8	7,5

При росте рассматриваемых маршрутов увеличивается число привлекаемых подменных ММ. Это связано с тем, что время под ОП основных ММ, задействованных на разных маршрутах, может пересекаться. Из Рисунка 4.11 и Таблицы 4.7 видно, что сумма среднего времени простоя и работы каждого машиниста не превышает длительности 12-и часовой РС с учетом времени для проведения ОП. Для оценки числа подменных машинистов, которых необходимо привлечь для реализации ПГД ППМ, учитывается ограничение длительности их работы не более 36 рабочих часов в неделю (Таблица 2.1, условие 1.3).

При сравнении результатов, полученных с помощью модели и реального графика нарядов сотрудников, видно, что в рамках модели число ММ ниже на 18-28% (Таблица 4.8).

При этом при формировании нарядов не учитываются больничные листы, но могут учитываться отпуска. Поскольку для посменно работающих сотрудников годовой отпуск согласуется в начале года и составляет 28 рабочих дней, можно утверждать, что ежедневно в отпуске находится $28 / 365 = 7,7\%$ сотрудников. Резерв сотрудников взамен тех, кто взял больничный, можно оценить как $12 / 365 = 3,2\%$ [159].

Таблица 4.8 – Сравнение результатов, полученных с помощью модели и реального графика нарядов сотрудников

Линия		Число основных машинистов в депо, чел.	Число подменных машинистов в депо, чел.	Общее число основных и подменных машинистов в депо, чел.	Процент переработок каждого из машинистов	% сохранения рабочего ресурса машинистов, чел.
ЗМ	Модель	156	15	171	0	28%
	Пример	240			1,6 %	
ТКЛ	Модель	148	16	164	0	18%
	Пример	200			2,7 %	

Разница в результатах работы модели и реального расписания превышает сумму двух значений.

Предложенный метод решения задачи позволяет при достаточно низких временных издержках учитывать изменяющиеся требования к процессу планирования работы машинистов. Для учета групп сотрудников с дополнительными требованиями по организации труда возможна оперативная модификация алгоритмов путем введения ограничений, определяющих перечень требований, которые должны выполняться согласно схеме алгоритма распределения ММ по графику РС (Рисунок 2.7, Блок 3).

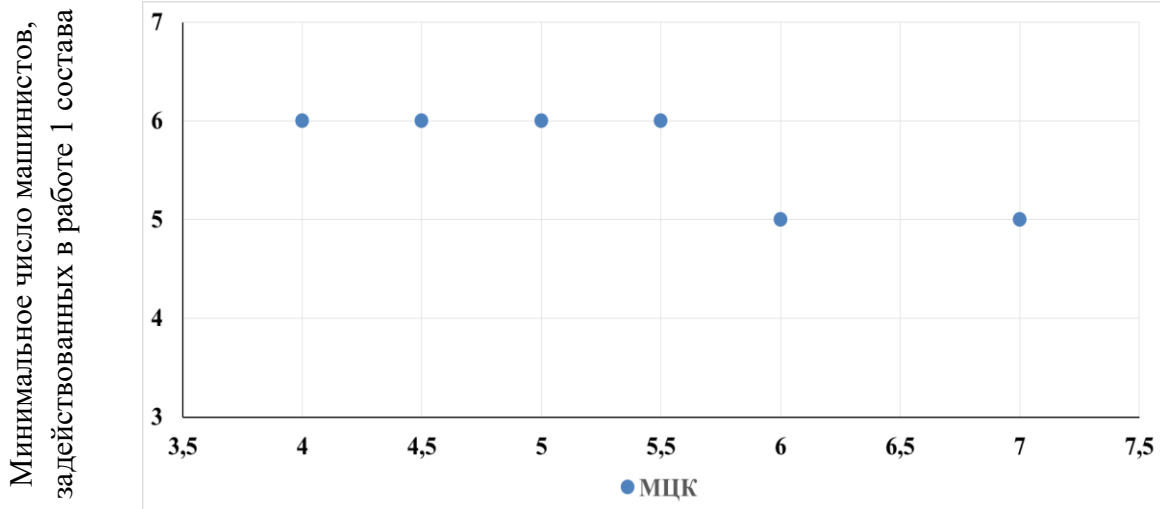
4.4. Анализ результатов построения ГР ММ с использованием ИСП ГР ММ для МЦК

Для использования ИСП ГР ММ в условиях МЦК проанализированы особенности работы машинистов МЦК [174]. Расхождения в особенностях работы машинистов МЦК и ММ (Таблицы 2.1 и 2.2) приведены в Таблице 4.9. Описанные особенности учитывались в качестве параметров ИСП ГР ММ (Рисунок 4.1, Приложение 9).

Таблица 4.9 – Условия работы. Особенности работы ММ на МЦК

Номер условия	Лингвистическое описание условия для ММ	Лингвистическое описание расхождения условия для машинистов МЦК
1.3	Для работников, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, допускается не более 36 рабочих часов (a_1) в неделю	Производится учет за месяц (136 часов)
2.1	Рабочих часов в день: $\leq 8,5$ (a_6) или ≤ 12 (a_7) в 2 смены (при этом $8 + < 4$) (a_8, a_9)	Продолжительность смены 12 часов, но после 6-10,5 часов работы в качестве основного машиниста МЦК (4-7 кругов по 1 час 28 минут) переходит к задачам подменного и маневрового машиниста.
2.2	Нельзя устанавливать более 2-х смен подряд, охватывающих промежутки [$a_0 = 0$ ч ; $a_{10} = 5$ ч] по местному времени ($[a_0; a_{10}]$)	$a_0 = 22$ ч; $a_{10} = 7$ ч
2.3	Через 3-4,5 (a_{11}, a_{12}) после начала работы необходим перерыв на обед (0,5 – 2 часа) (a_{13}, a_{14})	Для проведения ОП оборудованы Белокаменная, Андроновка, Подмосковная и Балтийская
2.4	Отдых сегодня $\geq 2 \times$ Работа вчера (a_{15})=2	После ночного отдыха в пункте оборота не более 10 часов, из них не более 3 кругов по МЦК.
2.9	При работе ночью в 2 смены перерыв между ними должен быть $\geq 2,5$ часа (a_{21}). При учете ночные смены относятся тем суткам, когда они были начаты.	Отдых в пункте оборота не менее $\frac{1}{2}$ отработанного времени, но не менее 3 часов.

В ходе апробации выявленные особенности учитывались путем изменения соответствующих настроек ИСП ГР ММ. При решении задачи использовалось несколько параметров разбиения ГО на РС (Рисунок 4.12). Далее приведены результаты для продолжительностей РИ, равных 6 часам до их «смещения», исходя из принципа минимизации числа привлекаемых ММ.



Продолжительность шага первичного разбиения ГО (час)

Рисунок 4.12 – Зависимость числа задействованных машинистов от продолжительности РИ для первых 1000 рассмотренных решений

На Рисунке 4.13 приведено решение задачи распределения основных машинистов МЦК по РС.

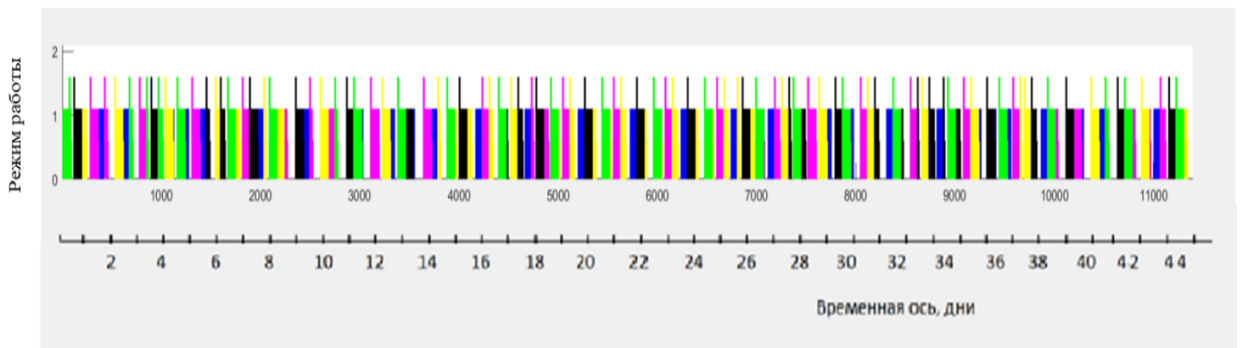


Рисунок 4.13 – Решение задачи поиска лучшего из рассмотренных ГР основных машинистов МЦК

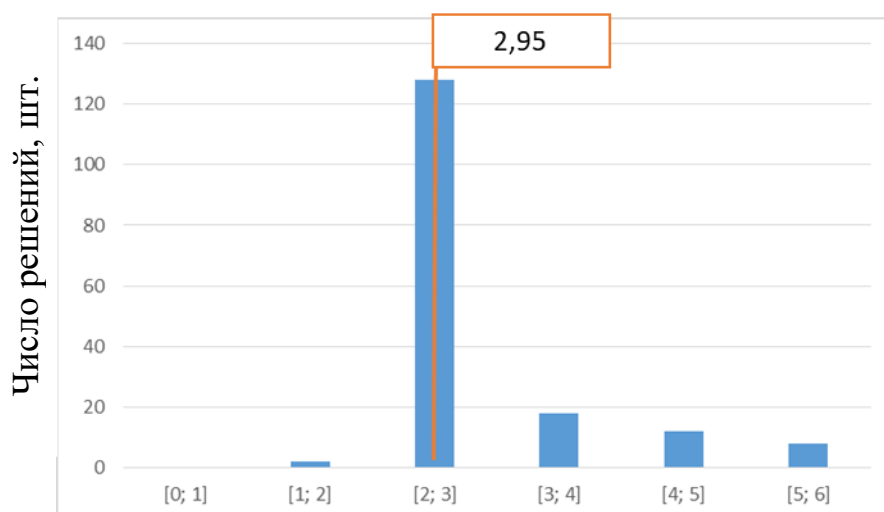
Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – №2; желтым – №3; розовым – №4; синим – №5

Параметры решения задачи распределения основных машинистов ММК по графику РС с лучшим из рассмотренных критерием качества (с учетом общего числа привлекаемых подменных ММ) приведены в Таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Статистика решения построения ГР основных машинистов МЦК

№ ММ	Число РС за 44 дня	Продолжительность РС за весь период, час	Продолжительность рабочего времени в неделю, час
Машинист № 1	27	169,8	27,0
Машинист № 2	30	168,8	26,8
Машинист № 3	35	180,1	28,6
Машинист № 4	29	166,8	26,5
Машинист № 5	31	171,8	27,3

На Рисунке 4.14 приведено распределение значений СКО продолжительностей РС ММ при назначении основных машинистов МЦК по РС для множества решений, в реализации которых задействовано 5 и 6 машинистов МЦК.



Значение СКО продолжительностей РС машинистов, час

Рисунок 4.14 – Столбчатая диаграмма распределения значений критерия по множеству решений ГР основных машинистов МЦК, оранжевой линией указано среднее значение критерия

Используемый в исследованиях ГО на МЦК обслуживает 164 машинистов МЦК. В решениях, полученных с помощью ИСП ГР ММ (Рисунок 4.13) задействовано 5 машинистов МЦК для 44 маршрутов, то есть 220 машинистов МЦК для периода планирования в 44 дня.

На Рисунке 4.15 показано перемещение составов между маршрутами при реализации ПГД ППМ в течение 44-х дней.

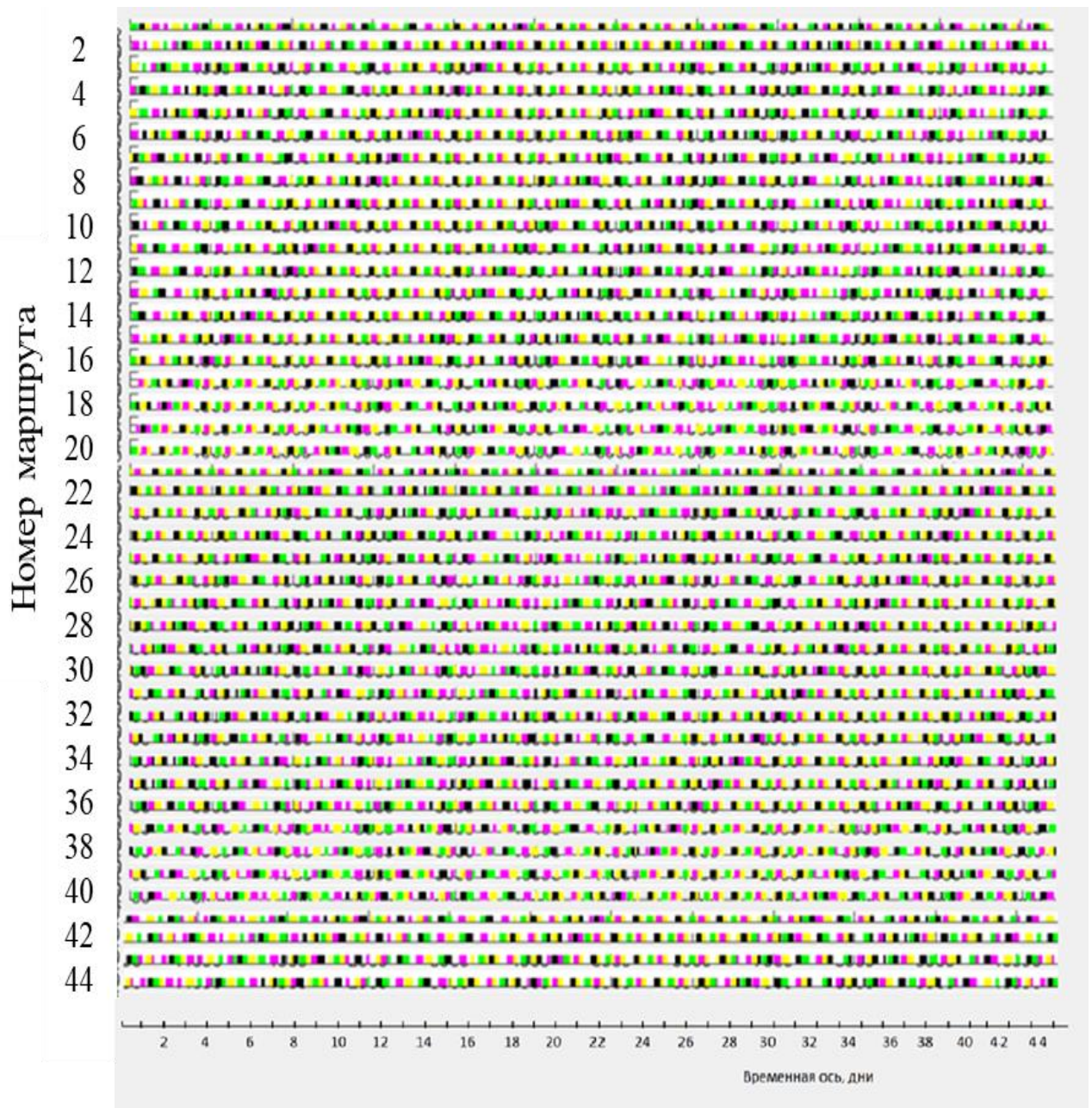


Рисунок 4.15 – Решение задачи поиска лучшего из рассмотренных распределения времени машинистов МЦК

В Таблице 4.11 приведена статистика решений и их сравнение с ГР подменных ММ.

Таблица 4.11 – Анализ рассмотренных решений задачи автоматизации построения ГР подменных ММ и машинистов МЦК

Станция для проведения ОП	Число задействованных маршрутов, шт.	Число задействованных подменных машинистов, чел.	Число РИ для подмен, шт	Число завершенных решений, шт.	Худшее значение параметра простоя задействованных машинистов, час	Лучшее значение параметра простоя задействованных машинистов, час		
						Среднее время работы одного машиниста за сутки, час	Среднее время простоя одного машиниста за сутки, час	Средняя продолжительность РС одного машиниста за сутки, час
Андроновка (МЦК)	44	25	98	55	3,9	5,7	2,7	8,5

Согласно расчетной модели для МЦК в рамках 44 маршрутов требуется привлечь 267 основных и подменных машинистов, что соизмеримо с реальными данными по загрузке машинистов.

Основные выводы и результаты по четвертой главе

1. Произведено сравнение решений, полученных с помощью ПО и реальных ГР для основных ММ. Продемонстрирована целесообразность его применения с возможностью повышения эффективности использования рабочего времени трудовых ресурса.

2. Определены эвристические условия, позволяющие сократить количество перебираемых вариантов в рекурсивных алгоритмах назначения основных ММ на РС.

3. Произведено сравнение решений, полученных с помощью ПО и реальных ГР для подменных ММ. Доказана целесообразность его использования.

4. Разработанное ПО адаптировано и апробировано для МЦК с использованием особенностей в формировании РС машинистов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение автоматизированного построения графика работы машинистов метрополитена позволяет повысить скорость и точность распределения времени работы сотрудников метрополитена и МЦК по сравнению с используемыми процедурами, преобладающие неавтоматизированными. Реализация на базе разработанных алгоритмов программного обеспечения интеллектуальной системы понизит влияние человеческого фактора на процесс планирования работы сотрудников метрополитена и снизит число ошибок в рамках интеграции с другими элементами ИСУМ.

Итоги, рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы диссертации заключается в следующем:

1. Выполнен анализ работ, посвященных проблемам планирования перевозочного процесса метрополитена и управления рабочим временем в различных отраслях экономики, позволил создать методику автоматизированного построения ГР ММ и выбрать методы решения соответствующих задач, к которым относятся графовые модели и рекурсивные алгоритмы. Применение этой методики позволило расширить множество задач, включенных в жизненный цикл автоматизированного планирования движения поездов метрополитена и повысить эффективность их решения за счет интеграции систем, итерационности поиска решения, расширения множества поиска решений и повышения скорости поиска решения.

2. Созданы процедуры, позволяющие более точно, чем в исследованных работах, решать задачу построения распределения ресурсов при управлении электропоездом метрополитена.

3. Разработана система МО, ИО и ПО средств автоматизации построения ГР ММ, которая имеет развитые возможности для выполнения адаптации. В рамках единого интерфейса реализовано решение задач

повышения эффективности использования рабочего времени персонала с различным типом занятости:

- задача построения ГР ММ;
- задача построения ГР ПрК, задействованных в реализации средств автоматизации на метрополитене.

4. Доказана целесообразность использования ПО для построения ГР основных и подменных ММ. Для этого произведено сравнение фактического ГР ММ и графика, полученного в ходе использования разработанного ПО. Согласно оценке разработанное ПО может повысить эффективность использования трудовых ресурсов при формировании ГР ММ до 28% за счет автоматизации процесса перебора решений с заданными начальными требованиями и параметрами модели. Произведена апробация ПО для МЦК.

5. Доказана целесообразность использования ПО для построения и повышения эффективности использования рабочего времени и загрузки персонала, занятого в реализации стадий жизненного цикла элементов ИСУМ, в том числе и ИСП ГР ММ. Для этого произведено сравнение фактического ГР ПрК и графика, полученного в ходе использования разработанного ПО. Согласно оценке разработанное ПО может повысить эффективность использования трудовых ресурсов на проекте на 30% за счет детализации задач на протяжении проекта и их вовлечении на этапах низкой занятости в другие рабочие активности.

6. Разработана ИСП ГР ММ, которая может быть включена в комплексную ИСУМ для обеспечения управления движением на метрополитене. В будущих исследованиях методика автоматизированного построения ГР ПрК, задействованных в реализации элементов ИСУМ, может быть адаптирована для построения ГР и повышения эффективности использования рабочего времени других типов сотрудников транспортных предприятий, занятых в командной работе, предусматривающей решение большого числа взаимосвязанных задач на разных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг, Е.Н. Цифровая экономика и цифровая железная дорога / Е.Н. Розенберг, В.И. Уманский, Ю.В. Дзюба // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2017. – №5 (72). – С. 45-49.
2. Осьминин, А.Т. Холдинг "РЖД": курс на клиентоориентированность в сфере грузовых перевозок / А.Т. Осьминин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2017. – №6 (73). – С. 45-49.
3. Волков, А.В. В центре внимания расширение собственного производства и комплексный подход к решению задач операторов связи / А.В. Волков // Т-Comm. – 2011. – №1. – С. 12-13.
4. Цветкова, Л.А. Технологии искусственного интеллекта как фактор цифровизации экономики России и мира / Л.А. Цветкова // Экономика науки. – 2017. – №2. – С. 126-144.
5. Балакина, Е.П. Многофункциональные модели систем управления / Е. П. Балакина, Л.А. Баранов, Е.В. Ерофеев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 2. – С. 079-082.
6. Баранов, Л.А. Концепция автоматизированного метрополитена / Л. А. Баранов, Ю. Е. Крук // Метро. – 1994. – № 3. – С. 6-8.
7. Сидоренко, В.Г. Единое информационное пространство средств автоматизации управления движением поездов по линии метрополитена / В.Г. Сидоренко // Новые информационные технологии : материалы четвертого научно-практического семинара. – М. : Моск. гос. ин-т электроники и математики, 2001. – С. 57-66.
8. Баранов, Л.А. Интеллектуальные киберфизические системы управления движением внеуличного транспорта / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко // Транспортное строительство. – 2021. – № 3. – С. 27-29.

9. Чжо, М.А. Применение теории графов к планированию движения поездов метрополитена / М. А. Чжо, В.Г. Сидоренко // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование – ИСУЖТ-2016 : V Международная научно-техническая конференция. – М. : НИИАС, 2016. – С. 131-134.

10. Сидоренко, В. Г. Разработка информационного обеспечения для интеллектуального управления городскими рельсовыми транспортными системами / В. Г. Сидоренко, Л. Н. Логинова, А. И. Сафронов // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 178-192. – DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-02-178-192.

11. Исаков, Т.А. Имитационное моделирование функционирования транспортного узла при проведении культурно-массового мероприятия / Т. А. Исаков // ИСУЖТ – Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование : труды пятой научно-технической конференции с международным участием. – Москва, 2016. – С. 221-225.

12. Baranov, L. Using models of complex systems in training / L. Baranov, L. Loginova // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019. – Vol. 2195, № 1. – P. 020001.

13. Balakina, E. P. Automation of Business Processes of the Trains Movement Control on Moscow Underground / E. P. Balakina, L. A. Baranov, V. G. Sidorenko // Complementary proceedings of the 8th Workshop on Transformation & Engineering of Enterprises (TEE 2014), and the 1st International Workshop on Capability-oriented Business Informatics (CoBI 2014) co-located with the 16th IEEE International Conference on Business Informatics (CBI 2014). – Geneva, Switzerland, 2014. – P. 1-12.

14. Кузнецов, Н.А. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем / Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба, С.С. Ковалевский, С.А. Косяченко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 797 с.

15. Сидоренко, В.Г. Система поддержки принятия решения поездного диспетчера метрополитена / В.Г. Сидоренко // Датчики и системы управления. – 2001. – № 10. – С. 21-26.

16. Баранов, Л. А. Принципы построения автоматизированных систем обучения и повышения квалификации эксплуатационного персонала интеллектуальных систем управления движением поездов городского внеуличного транспорта / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина, Л. Н. Логинова // Интеллектуальные транспортные системы : материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2022 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2022. – С. 45-48.

17. Кулагин, М.А. Влияние человеческого фактора на безопасность движения поездов / М.А. Кулагин, А.В. Маркевич, В.Г. Сидоренко // Труды международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» – XXVII. – М.: ИПУ РАН – 2019. – С. 265-270.

18. Кулагин, М.А. Интеллектуальная система оценки и прогнозирования надежности работы машиниста локомотива / М.А, Кулагин, В.Г, Сидоренко // Электротехника. – 2020. – №9. – С. 71-75.

19. Кульба, В.В. Методология исследования проблем обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте // В.В. Кульбавич, С.А. Косяченко, А.Б. Шелков // УБС. – 2012. – №38. – С. 5-19.

20. Кузнецов, Н.А. Методы анализа и синтеза модульных информационно- управляющих систем / Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба, С.С. Ковалевский, С.А, Косяченко // Монография. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2002. – 800 с.

21. Чжо, М. А. Совершенствование методов автоматизированного планирования движения поездов в условиях развивающихся метрополитенов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.06 / Чжо Мин Аунг ; [Место защиты : Рос. ун-т транспорта]. – Москва, 2018. – 152 с.

22. Баранов, Л.А. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в

условиях интенсивного движения / Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко, Е.П. Балакина, Л.Н. Логинова // Надежность. 2021. – 21(2). – С. 17-23.

23. Баранов, Л.А. Централизованное управление движением поездов городских железных дорог современного мегаполиса / Л.А. Баранов, Е.П. Балакина, С.Е. Иконников, Д.А. Антонов // Наука и техника транспорта. 2020. – № 1. С. 30-38.

24. Шубинский, И.Б. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути/ И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев, О.Б. Проневич, А.Н. Игнатов, Е.Н. Платонов // Надежность. 2020. Т. 20, № 2. – С. 45-53.

25. Zhang, W. Study on internet of things application for highspeed train maintenance, repair and operation (MRO) / W. Zhang // Proceedings of the 2012 National Conference on Information Technology and Computer Science (CITCS 2012). – Lanzhou, China, 2012. – P. 8-12.

26. Ковригина, И.В. Разработка и обоснование технологии сервисного технического обслуживания грузовых вагонов / И.В. Ковригина // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 1. – С. 21-27.

27. Bouillaut, L. Optimal Metro-Rail maintenance strategy using multi-nets modeling / L. Bouillaut, O. Francois, S. Dubois // International Journal of Performability Engineering. – 2012. – Vol. 8, № 1. – С. 77-90.

28. Проневич, О.Б. Автоматизированная система прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков / О.Б. Проневич, И.Б. Шубинский // Надежность. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 48-54.

29. Баранов, Л.А. Тренажеры поездных диспетчеров рельсового транспорта / Л.А. Баранов, Е.П. Балакина, В.Г. Сидоренко // Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». М.: МИИТ, 2017. – С. VII–4.

30. Баранов, Л.А. Применение тренажеров для повышения квалификации работников службы движения / Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко // Автоматика, связь и информатика. 2003. – № 2. – С. 17-20.
31. Ho, T.K. Train service timetabling in railway open markets by particle swarm optimisation / T.K. Ho, C.W. Tsang, K. H. Ip [et al.] // Expert Systems with Applications. – 2012. – Vol. 39, № 1. – P. 861-868.
32. Феофилов, А.Н. Математическая модель составления графиков движения поездов на линиях метрополитена / А.Н. Феофилов // Вестник ВНИИЖТ. – 1991. – № 7. – С. 10-13.
33. Сидоренко, В.Г. Центр ситуационного управления линией метрополитена / В.Г. Сидоренко, Л.А. Баранов, Е.В. Ерофеев // ТЕМРТ XXI – ТРАНСПОРТЪТ НА XXI ВЕК : сборник доклади единадесета научна конференция с международно участие. – София : ТЕМРТ, 2001. – С. 61.
34. Сидоренко, В.Г. Автоматизация планирования работы ЭПС метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов, К.М. Филипченко // Мир Транспорта. – 2015. – Т. 13, № 4. – С. 154-165.
35. Сафронов, А.И. Построение планового графика движения для метрополитена / А.И. Сафронов, В.Г. Сидоренко // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9, № 3. – С. 98-105.
36. Szpigel, B. Optimal train scheduling on a single line railway / B. Szpigel // Operation Research. – 1973. – С. 344-351.
37. Gafarov, E. R. Two-Station Single-Track Railway Scheduling Problem With Trains of Equal Speed / E. R. Gafarov, A. Dolgui, A. A. Lazarev // Computers and Industrial Engineering. – 2015. – С. 260-267.
38. Елизарьев Ю.В. Методы прогнозирования в организации пассажирских перевозок / Ю.В. Елизарьев, Л.В. Максименко, Е.А. Юркова // Железнодорожный транспорт, 2004, № 1. С. 50-56.
39. Пазойский, Ю.О. Автоматизация расчета графика работы поездных бригад в пригородном сообщении / Ю.О. Пазойский, С.А. Бывшев //

Оптимизация эксплуатационной работы железных дорог : сборник научных трудов / Под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – М. : [б. и.], 1981. – С. 84-90.

40. Тимохин, Э.Ю. Автоматизация разработки графиков работы пассажирских станций, локомотивных бригад и оборота МВПС / Э. Ю. Тимохин, Н.А. Щедрин, Л.В. Максименко, А.П. Шулаков // Железнодорожный транспорт. – 2004. - № 1. – С. 71-76.

41. Saa, R. An ontology-driven decision support system for high-performance and cost-optimized design of complex railway portal frames / R. Saa, A. Garcia, C. Gomez [et al.] // Expert System Application. – 2012. – Vol. 39, № 10. – P. 8784-8792.

42. Mu, S. Scheduling freight trains traveling on complex networks / S. Mu, D. Maged // Transportation Research Part B : Methodological. – 2011. – Vol. 45, № 7. – P. 1103-1123.

43. Ahmad, S. S. Development of a unified railway track stability management tool to enhance track safety / S. S. Ahmad, N. K. Nirmal, K. Mandal, G. Chattopadhyay, J. Powell // P I Mech Eng F-J Rai. – 2013. – С. 493.

44. Brannlund, U. Railway Timetabling Using Lagrangian Relaxation / U. Brannlund, P. O. Lindberg, A. Nou, J. E. Nilsson // Transportation Science. – 1998. – Vol. 4. – № 32. – С. 358-369.

45. Bouillaut, L. Optimal Metro-Rail maintenance strategy using multi-nets modeling / L. Bouillaut, O. Francois, S. Dubois // International Journal of Performability Engineering. – 2012. – № 8. – С. 77-90.

46. Козин Е.Г. Модернизация электроэнергетической инфраструктуры Петербургского метрополитена / А.Л. Плотников, А.С. Волювач // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2016. – №2-3. – С. 63-64.

47. Sauder, R.L. Computer Aided Train Dispatching: Decision Support Through Optimization / R. L. Sauder, W.M. Westerman // Interfaces. – 1983. – Vol. 6. – № 13. – С. 24-37.

48. Маханкин, А.В. Визуальный анализ данных пассажиропотоков московского метрополитена / А.В. Маханкин, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – №6. – С. 133-140.

49. Сальченко, В.Л. Совершенствование системы организации работы локомотивных бригад по именованным графикам : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.08 / В.Л. Сальченко – Москва, 1996. – 214 с.

50. Бархатный, В.Д. Выбор участков и способов организации работы локомотивных бригад / В.Д. Бархатный, Н.Д. Крюков. – М. : Транспорт, 1974. – 36 с.

51. Мищенко, Н.Г. Оптимизация длин участков обращения локомотивов и работы локомотивных бригад / Н.Г. Мищенко // Вестник РГУПС, 2002. – № 2. – С. 62-68.

52. Захаров, А.Г. Методологические проблемы совершенствования планирования и анализа грузовых перевозок (теория и ее применение на железнодорожном транспорте) : автореферат дис. ... доктора экономических наук : 08.00.05. – Москва, 1984. – 46 с.

53. Помазунов, С.И. Планирование и организация работы локомотивных бригад / С.И. Помазунов, Ю.А. Муха, С.И. Нестеренко // Железнодорожный транспорт. – 1977. – № 6. – С. 40-44.

54. Тишкин, Е.М. Организация работы локомотивных бригад на основе графика движения поездов / Е.М. Тишкин // М.: Транспорт, 1968. – 27 с.

55. Высоцкий, Ю.Л. Сокращение времени нахождения локомотивных бригад на станциях пунктов их оборота / Ю.Л. Высоцкий // Труды НИИЖТа. – 1979. – Вып. 201/14. – С. 55-61.

56. Векуа, Ш.М. Влияние стабилизации грузового движения на эксплуатационные показатели работы однопутных линий / Ш.М. Векуа // Совершенствование эксплуатационной работы на основе графика движения поездов : сборник научных трудов. – М. : Транспорт, 1984. – С. 3-15.

57. Горбачев, А.М. Автоматизация планирования движения городского электрического транспорта // А.М. Горбачев // Транспорт Российской

Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2018. – №4 (77). – С. 28-30.

58. Самойлова Е. М., Игнатьев А. А. Интеллектуальные системы управления процессом формообразования с применением генетического алгоритма // Вестник СГТУ. – 2011. – №2 (56). – С. 263-266.

59. IEC 62290-1, Railway Applications – Urban Guided Transport Management and Command/Control Systems – Part 1: System Principles and Fundamental Concepts.

60. Никульчиков, П.М. История, состояние и перспективы развития систем автоматического управления поездами метрополитена // Автоматика на транспорте. – 2016. – №3. – С. 456-471.

61. Гафаров, Е.Р. Математические методы оптимизации при составлении учебного расписания / Е.Р. Гафаров, А.А. Лазарев. // Новые информационные технологии в образовании : сборник научных трудов. – М. : 1С-Паблишинг, 2013. – С. 51.

62. Зак, Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок / Ю.А. Зак. – М. : URSS, сор. 2011. – 393 с.

63. Клеванский, Н.Н. Формирование транспортных расписаний / Н.Н. Клеванский, М. А. Антипов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 4 (16). – С. 71-91.

64. Смолькин, В.П. Удалов О.Ф. Оценка уровня стратегического управления человеческими ресурсами в организации // В.П. Смолькин // МНИЖ. 2021. №2-2 (104).

65. Султанов, А. Д. Формирование сбалансированной системы показателей / А. Д. Султанов // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 26. – С. 428-433.

66. Сидоренко, В. Г. Подход к формированию рейтинга работы машиниста с использованием различных метрик сравнения / В. Г. Сидоренко, М. А. Кулагин // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2018. – № 1. – С. 14-17.

67. Веригина, А.В. Цифровая трансформация и пути ее реализации в ОАО «РЖД» / А.В. Веригина, А.Н. Никифорова // Теория и практика общественного развития. – 2022. – №10 (176). – С. 85-90.

68. Маркевич, А.В. Современное состояние информатизации бизнес-процессов / А.В. Маркевич // Материалы международной научно-практической конференции «Научные достижения современной науки: новация, история, действительность, перспективы и практика реализации». – СПб: СПбГЭУ. – 2017. – С. 214-217.

69. Власюк (Маркевич), А.В. Применение ключевых показателей качества при управлении проектной работой / А.В. Власюк // Труды научно-практической конференции «Неделя науки-2017». – М.:МГУПС (МИИТ). – 2017. – С. 185-186.

70. Маркевич, А.В. Анализ опыта внедрения автоматизированных информационно-управляющих систем на промышленном предприятии / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: «Естественные и технические науки». – 2018. – Т. 6. – С. 88-97.

71. Васильев, К.А. Современное состояние развития информационных систем планирования ресурсов и управления предприятием / К. А. Васильев // Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 95-99.

72. Кострова, Ю.Б. К вопросу о внедрении современных IT-технологий в систему управления персоналом / Ю.Б. Кострова, Б.А. Костров // Цифровая экономика : проблемы и перспективы развития. – Курск, 2019. – С. 92-98.

73. Сиделев, П.С. Ключевые инициативы и целевые проекты эффективного развития хозяйства автоматики и телемеханики / П.С. Сиделев, А.В. Горелик, Н.А. Тарадин, А.Н. Малых // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 7. С. 5-9.

74. Сорокина, А.В. Ключевые факторы успеха в управлении стратегией транспортной компании / А.В. Сорокина, Ю.И. Соколов // Транспортное дело России. – 2016. – № 2. – С. 166-169.

75. Одинцова, М.А. Информационные системы управления талантами / М. А. Одинцова // Стратегии бизнеса. – 2019. – № 6(62). – С. 7-9.
76. Markevich, A. Automating of Human Resources Management using Genetic Algorithms / A. Markevich, V. Sidorenko // *2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. – Batumi, Georgia:IEEE. – 2019. P.p. 436-444.
77. Wiśniewski, P. An approach to participatory business process modeling: BPMN model generation using constraint programming and graph composition / P. Wiśniewski, K. Kluza, A. Ligęza // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2018. – Vol. 8. – No 9. – P. 1428. – DOI 10.3390/app8091428.
78. BPMN Miner: Automated discovery of BPMN process models with hierarchical structure / R. Conforti, M. La Rosa, M. Dumas, L. García-Bañuelos // *Information Systems*. – 2016. – Vol. 56. – P. 284–303. – DOI 10.1016/j.is.2015.07.004.
79. Санникова, О.Б. Автоматизация производственных процессов машиностроительных предприятий / О.Б. Санникова // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике : сборник трудов конференции. – Курск, 2021. – С. 237-240.
80. Маркевич, А.В. Автоматизация управления распределением трудовых ресурсов с использованием генетического алгоритма / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко // Информатизация образования и науки. – 2019. – №3. – С.36-49.
81. Конвей, Р.В. Теория расписаний / Р.В. Конвей, В.Л. Максвелл, Л.В. Миллер ; Пер. с англ. В.А. Кокотушкина и Д.Г. Михалева ; под ред. Г.П. Башарина. – М. : Наука, 1975. – 359 с.
82. Кормен, Т. Алгоритмы : построение и анализ / Т. Кормен [и др.] ; [под ред. И.В. Красикова ; пер. с англ. И.В. Красикова, Н.А. Ореховой, В.Н. Романова]. – 2-е изд. – М. [и др.] : Вильямс, 2012. – 1290 с.
83. Рогулин, Р.С. Задача комбинаторной оптимизации : поиск оптимального производственного и транспортного плана при организации производства на новых территориях / Р.С. Рогулин, В.И. Максименко, Д.В.

Злобина [и др.] // Вестник УрФУ. Серия : Экономика и управление. – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 364–377. – DOI : 10.15826/vestnik.2019.18.3.018.

84. Czerpak, P. Job scheduling algorithm based on multi criteria optimization / P. Czerpak, P. Artiemjew // Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management. – 2012. – № 60. – P. 1-13.

85. Harinarayanan, C.V.R. Applications of graph theory in job scheduling and postman's problem / C.V.R. Harinarayanan, S. Lakshmi // Advances and Applications in Mathematical Sciences. – 2019. – Vol. 18, № 10. – P. 1261-1267.

86. Miao, X. Dynamic job scheduling with strict deadline / X. Miao, P. B. Luh, D. L. Kleinman // 29th IEEE Conference on Decision and Control. – IEEE, 1990. – P. 116-121.

87. Herrigel-Wiedersheim, S. Algorithmic decision support for the construction of periodic railway timetables / S. Herrigel-Wiedersheim. – ETH Zurich, 2015. – 170 p.

88. Burke, E.K. Penalising Patterns in Timetables : Novel Integer Programming Formulations / E.K. Burke, J. Marecek, J. Parkes [et al.] // Operations Research Proceedings 2007. – Berlin : Springer, 2008. – P. 409-414.

89. Kuhn, F. Weak Graph Colorings : Distributed Algorithms and Applications / F. Kuhn // SPAA '09 Proceedings of the twenty-first annual symposium on Parallelism in algorithms and architectures. – NY, 2009. – P. 138-144.

90. Burke, E.K. Case-based heuristic selection for timetabling problems / E.K. Burke, S. Petrovic, R. Qu // Journal of Scheduling. – 2006. – Vol. 9, № 2. – P. 115-132.

91. Nedzelsky, R. Human resources allocation in project management / R. Nedzelsky // Conference : IBIMA. – Milan, Italy, 2016. – Vol. 27. – P. 2015-2024.

92. Karova, M. Managing project activities system using genetic algorithm / M. Karova, G. Todorova, I. Penev [et al.] // Proceedings of the Recent Advances in Civil Engineering and Mechanics. – Florence, Italy, 2014. – P. 22-24.

93. Park, J. Practical Human Resource Allocation in Software Projects Using Genetic Algorithm / J. Park, D. Seo, G. Hong [et al.] // SEKE. – 2014. – P. 688-694.
94. Chang, C.K. Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms / C.K. Chang, H.Yi Jiang, Y. Di [et al.] // Information and Software Technology. – 2008. – Vol. 50, № 11. – P. 1142-1154.
95. Вайнилович, Ю.В. Метод повышения эффективности управления IT-проектами с использованием генетического алгоритма / Ю.В. Вайнилович // Информационные технологии. – 2020. – Т. 26, № 12. – С. 673-682. – DOI 10.17587/it.26.673-682.
96. Chang, C.K. Genetic algorithms for project management / C.K. Chang, M.J. Christensen, T. Zhang // Annals of Software Engineering. – 2001. – Vol. 11, № 1. – P. 107-139.
97. Сочнев, А.Н. Распределение ресурсов производственной системы с использованием сетей Петри и генетического алгоритма / А.Н. Сочнев // Управление большими системами. – 2012. – № 39. – С. 238-253.
98. Градусов, Д.А. Использование нечетких множеств для оценки экономической эффективности проектов внедрения корпоративных информационных систем / Д.А. Градусов, Е.С. Авдеева, Е.А. Уланов // Экономический анализ : теория и практика. – 2012. – № 17. – С. 45-51.
99. Афонин, П.В. Гибридные генетические алгоритмы для задачи составления расписания проекта / П.В. Афонин, О.В. Кокшагина, В.В. Науменко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – Т. 86, № 9. – С. 46-51.
100. Гаврилов, Д. А. Нормативно-технические вопросы разработки безопасных автоматизированных интеллектуальных систем / Д. А. Гаврилов // Вопросы кибербезопасности. – 2020. – № 6(40). – С. 63-71. – DOI 10.21681/2311-3456-2020-06-63-71.
101. Сафронов, А.И. Сценарное пространство построения планового графика движения поездов метрополитена / А.И. Сафронов, В.Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 1. – С. 51-56.

102. Сафронов, А.И. Применение критерия равномерности в больших транспортных системах / А.И. Сафронов, В.Г. Сидоренко // Проблемы управления безопасностью сложных систем : сборник трудов XVII Международной конференции. – М. : ИПУ РАН, 2009. – С. 289-292.

103. Сидоренко, В.Г. Влияние ночной расстановки составов на режим работы электроподвижного состава метрополитена / В.Г. Сидоренко, К.М. Филиппченко М.А. Чжо // Электротехника. – 2016. – № 9. – С. 19-25.

104. Чжо, М.А. Методика автоматизации построения планового графика движения пассажирских поездов метрополитена / М.А. Чжо, А.С. Петров, А.И. Сафронов [и др.] // Транспорт и образование : актуальные вопросы и тенденции : материалы международной научно-практической конференции. – Челябинск : ЧИПС УрГУПС, 2015. – С. 74-80.

105. Пазойский, Ю.О. Автоматизация составления графика работы локомотивных бригад в пригородном сообщении / Ю.О. Пазойский // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – № 4. – С. 33-39.

106. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 22.11.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.11.2021) : принят Гос. Думой 21 дек. 2001 г. : одобрен Советом Федерации 26 дек. 2001 г. [Электронный ресурс] // Законы, кодексы, нормативные и судебные акты : сайт. – Режим доступа : <https://legalacts.ru/kodeks/TK-RF/>

107. Худякова, Д.М. "1С-Битрикс : внутренний портал учебного заведения" + "1С:Университет ПРОФ" – эффективное решение для ВУЗа ООО "1С:ВДГБ" / Д. М. Худякова // Новые информационные технологии в образовании : сборник научных трудов 19-й Международной научно-практической конференции / Под общей редакцией Д.В. Чистова. – Москва, 2019. – С. 202-204.

108. Захаров, Д.К. Облачные технологии в системе управления персоналом / Д.К. Захаров // Вестник университета. – 2016. – № 5. – С. 190-196.

109. Кузьмина, Н.В. Управление проектами средствами *MS Project* / Н.В. Кузьмина // Вестник российских университетов. Математика. – 2002. – Т. 7, № 1. – С. 72-73.

110. Пиликов, Н.П. Как составить оптимальный график работы операторов контакт-центра [Электронный ресурс] / Н. П. Пиликов // Многосменка : сайт. – 2018. – Режим доступа : http://www.mnogosmenka.ru/pilikov/call_center.htm

111. Мелкумян, А.И. Анализ программных продуктов для формирования расписания занятий / А.И. Мелкумян, А.А. Тулин // XIX Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета. – Нижневартоск, 2017. – С. 266–269.

112. Turner, C.A Review of Key Planning and Scheduling in the Rail Industry in Europe and UK / C. Turner, A. Tiwari, A. Starr [et al.] // Rail and Rapid Transit : Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F. – 2016. – Vol. 230, № 3. – P. 984-998.

113. Быстров, О.Ф. Оценка целесообразности внедрения нововведения / О.Ф. Быстров, Е.О. Полякова // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 5-2(14). – С. 34.

114. Малофеева, Н.М. Анализ целесообразности внедрения информационной системы взаимоотношений с клиентами / Н.М. Малофеева, О.В. Ростова // Неделя науки СПбПУ : материалы научного форума с международным участием. Инженерно-экономический институт, Санкт-Петербург, 30 ноября – 05 2015 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-экономический институт; Ответственные редакторы: О.В. Калинина, С.В. Широкова. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2015. – С. 195-198.

115. Демин, С.С. Механизм оценки экономической целесообразности внедрения информационных систем на высокотехнологичных предприятиях авиастроения / С.С. Демин, А.А. Ермаков // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2018. – № 24. – С. 55-65.

116. Сербулов, Ю.С. Методы решения задач оптимизации. Основные методы теории оптимизации: лабораторный практикум / Ю.С. Сербулов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования "Воронежский гос. лесотехнический ун-т им. Г. Ф. Морозова". – Воронеж: ВГЛТУ, 2016. – 94 с.

117. Сербулов, Ю.С. Системное моделирование ресурсных задач. Выбор и распределение ресурсов / Ю.С. Сербулов, А.В. Лемешкин. – Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2017. – 249 с. – ISBN 978-3-659-72374-2.

118. Хасухаджиев, А.С.А. Обобщенный алгоритм составления расписания в вузе с учетом новых требований федеральных государственных образовательных стандартов / А.С.А. Хасухаджиев, И.В. Сибикина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 3. – С. 78-86.

119. Пиликов, Н.П. Проблема полной автоматизации при составлении школьного расписания [Электронный ресурс] / Н. П. Пиликов // Многосменка : сайт. – 2022. – Режим доступа : <http://www.mnogosmenka.ru/pilikov/timetable.htm>

120. Гарматина, И.А. Применение генетических алгоритмов в управлении программными проектами / И.А. Гарматина, М.В. Маркитантов // Студенческий. – 2017. – № 6-1. – С. 30-35.

121. Ковшов, Е.Е. Применение генетического алгоритма при оценке рисков инновационных проектов / Е.Е. Ковшов, О.В. Горяева // Российское предпринимательство. – 2010. – № 11-3. – С. 85-91.

122. Кульдин, С.П. Генетический подход к проблеме оценки сроков и трудоемкости разработки программного обеспечения с заданными требованиями к качеству / С.П. Кульдин // Прикладная информатика. – 2010. – № 5 (29). – С. 30-42.
123. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия-Телеком, 2008. – 383 с.
124. Лазарев, А.А. Целочисленные постановки задачи формирования железнодорожных составов и расписания их движения / А.А. Лазарев, Е.Г. Мусатова // Управление большими системами. – 2012. – № 38. – С. 161-169.
125. Лазарев, А.А. Теория расписаний. Исследование задач с отношениями предшествования и ресурсными ограничениями / А. А. Лазарев, Е. Р. Гафаров. – М. : Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской акад. наук (ВЦ РАН), 2007. – 78 с.
126. Белман, Р.Э. Динамическое программирование / Р.Э. Белман. – М. : Изд-во "Иностранная литература", 1960. – 400 с.
127. Апанович, З.В. Методы навигации при визуализации графов / З.В. Апанович // Вестник НГУ. Серия : Информационные технологии. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 35-47.
128. Касьянов, В.Н. Графы в программировании : обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003 (ГП Техн. кн.). – 1104 с.
129. Пазойский, Ю.О. Оптимизация графика оборота пригородных составов при заданном расписании движения / Ю.О. Пазойский, Н.А. Самарина // Вопросы эксплуатации железных дорог : сборник научных трудов / Под ред. Ф.П. Кочнева. – М. : МИИТ : Транспорт. – 1970. – № 333. – С. 117-127.
130. Сидоренко, В.Г. Метод эффективного планирования обслуживания с применением теории графов / В. Г. Сидоренко, К. М.

Филипченко // Информатизация образования и науки. – 2015. – № 4. – С. 123-132.

131. Васильева, М.А. Модель движения поездов по линии метрополитена с учетом системы энергоснабжения // М.А. Васильева, В.Г. Сидоренко // Сб. тр. 2-ой науч. -практ. конф. «Ресурсосберегающие технологии на ж/д», МИИТ- 99.- VI-12.

132. Брестер, К.Ю. Исследование эффективности генетических алгоритмов в задачах оптимизации / К. Ю. Брестер, Е. С. Семенкин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – Т. 1, № 7. – С. 307-309.

133. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари ; под ред. Г. П. Гаврилова ; пер. с англ. и предисл. В. П. Козырева. – Изд. 4-е. – М. : УРСС : ЛЕНАНД, 2014. – 297 с.

134. Оре, О. Теория графов / О. Оре ; пер. с англ. И. Н. Врублевской ; под ред. Н. Н. Воробьева. – Изд. 2-е. – М. : URSS : ЛИБРОКОМ, 2008. – 352 с.

135. Новикова, М.В. Синтез планового графика движения зонного типа для поездов метрополитена / М.В. Новикова, В.Г. Сидоренко // Мир транспорта. 2009, №4. -С.128-134.

136. Чжо, М.А. Применение методов искусственного интеллекта к решению задач планирования перевозочного процесса метрополитена / М. А. Чжо, В. Г. Сидоренко // Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях : сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. – Хабаровск, 2017. – С. 197-201.

137. Петров, А.С. Методика автоматизации построения планового графика движения пассажирских поездов метрополитена / А.С. Петров, А.И. Сафронов, В.Г. Сидоренко, М.А. Чжо // Материалы международной научно-практической конференции «Транспорт и образование: актуальные вопросы и тенденции». – ЧУПС УрГУПС. – 2015. – С. 74-80.

138. Моделирование бизнес-процессов с использованием методологии ARIS // Прикладная информатика, Бизнес-информатика : учебное пособие /

В.И. Морозова, К.Э. Врублевский. – Москва : федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «российский университет транспорта (МИИТ)», 2017. – С. 17-36.

139. *Markevich, A.V. Automation of Scheduling for Drivers of the Subway Rolling Stock / A.V. Markevich, V.G. Sidorenko // 2021 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS) – Batumi, Georgia:IEEE. - 2021. P.p. 129-138.*

140. Проничев, Н.Д. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха / Н.Д. Проничев, В.Г. Смелов, В.В. Кокарева [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 6-4. – С. 937-943.

141. Андреев, К.Ю. Человеческий фактор в системе обеспечения экономической безопасности Российской Федерации в сфере транспортной инфраструктуры / К.Ю. Андреев, А.В. Павлов // Вопросы российского и международного права. – 2015. – № 10. – С. 170-181.

142. Апатцев, В.И. Обеспечение безопасности движения поездов на основе снижения влияния человеческого фактора / В.И. Апатцев, А.М. Завьялов, И.Н. Синякина [и др.] // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 2. – С. 93-97.

143. Кулагин, М.А. Квалификация машинистов как фактор повышения надежности работы электроподвижного состава / М.А. Кулагин, В.Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 4. – С. 70-76.

144. Маркевич, А.В. Влияние графика работы локомотивных бригад метрополитена на безопасность движения / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Международной научно-практической конференции : в 2-х ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 59-61.

145. Исаков, Т.А. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена / Т.А. Исаков, А.И. Сафронов, В.Г. Сидоренко [и др.] // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 38-63.

146. Носов, М.В. Методика управления человеческими ресурсами наукоемких производств, основанная на динамическом распределении закрепленных за операторами функций при изменении их психофизиологического состояния / М.В. Носов, А.В. Кузнецов // Вестник евразийской науки. – 2014. – № 2 (21). – С. 133.

147. Свижевский, В.А. Современные проблемы гигиенического нормирования физических факторов, воздействующих на персонал и пассажиров метрополитена / В.А. Свижевский, Н.Н. Стовбур // Acta Biomedica Scientifica. – 2011. – № 1-1. – С. 273.

148. Семенов, В.А. Комплексный метод составления расписаний для сложных индустриальных программ с учетом пространственно-временных ограничений / В.А. Семенов, А.С. Аничкин, С. В. Морозов [и др.] // Труды института системного программирования РАН. – 2014. – Т. 26, № 1. – С. 457-482.

149. Сеславин, А.И. Принципы равномерности в задачах управления потоками пассажирского транспорта / А. И. Сеславин, Е. А. Сеславина // Прикладная информатика. – 2009. – № 2 (20). – С. 91-95.

150. Сафронов, А.И. Подходы к решению задачи автоматизации документооборота перевозочного процесса в Московском метрополитене / А. И. Сафронов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 425-441.

151. Обходы графа // Дискретная математика : учебное пособие / Рецензенты Й. Микеш, С.Е. Степанов. – Калининград : Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. – С. 104-105.

152. Хитрова, Т.И. Методы формирования состава исполнителей IT-проекта / Т.И. Хитрова, С.С. Ованесян, А.С. Низовцева // Baikal Research Journal. – 2020. – №4. – С. 7.

153. Соломенцев, Ю.М. Планирование в современных системах управления производством / Ю.М. Соломенцев, Р.Р. Загидуллин, Е.Б. Фролов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2010. – № 4. – С. 77-87.

154. Крылов, А.Ю. Синтез и реализация микропроцессорных систем диспетчерского управления движением поездов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.08/ А.Ю. Крылов – Москва, 2002.– 204 с.
155. Бабенчук, С.П. Анализ программного обеспечения управления проектами / С.П. Бабенчук // Программные продукты и системы. – 2011. – №2. – С. 51-54.
156. Маркевич, А.В. Примеры внедрения автоматизированных информационно-управляющих систем / А. В. Маркевич // Труды научно-практической конференции «Неделя науки-2018». – М.:МГУПС (МИИТ). – 2018. – С. III 64.
157. Маркевич, А.В. Составление расписания работы сотрудников с использованием генетического алгоритма / А.В. Маркевич // Труды научно-практической конференции «Неделя науки-2019». – М.:РУТ (МИИТ). – 2019. – С. 283.
158. Гермерсхаузен, М. Исследование рынка труда и обзор заработных плат. Россия, 2018 / М. Гермерсхаузен. – Antal Russia, 2018. – 35 с.
159. Россия в цифрах. 2018 : Краткий статистический сборник / Росстат. – Москва, 2018. – 522 с.
160. Mickey, W. Mantle Managing the Unmanageable / W. Mickey. – 1st edition. – Addison-Wesley Professional, 2012. – 452 p.
161. Ham, F. Interactive Visualization of Small Word Graphs / F. Ham, J. J. Wijk // Proc. IEEE Symp. Information Visualization. – IEEE CS Press, 2004. – P. 199-206.
162. Рейнвотер, Дж.Х. Как пасти котов : наставление для программистов, руководящих другими программистами / Дж.Х. Рейнвотер ; [пер. с англ. Ю. Гороховский]. – Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2011. – 255 с.
163. Кирьянов, Б.А. Применение гибкой методологии Agile в управлении проектами / Б.А. Кирьянов // Техника и технологии : теория и практика : сборник статей международной научно-практической

конференции. – Пенза : «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 38-42.

164. Лозгачева, Т.М. Agile и научная организация труда : практика применения гибких методов в России / Т. М. Лозгачева, О.А. Табекина, О.В. Федотова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление. – 2019. – Т. 5 (71), № 2. – С. 48-59.

165. Исрапилов, М.А. Парное программирование : плюсы и минусы / М.А. Исрапилов, Ш.А. Исрапилов // Внедрение результатов инновационных разработок : проблемы и перспективы : сборник статей международной научно-практической конференции. – Магнитогорск : Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2020. – С. 46-48.

166. Васильева, М.А. Система контроля версий. Основы командной разработки // Компьютеры и программное обеспечение: учебное пособие / М.А. Васильева, К.М. Филиппченко – Москва : Лань . – 2022. – 144 с.

167. Васильева, М.А. Применение системы контроля версий git для организации учебного процесса в вузе / М.А. Васильева // Сборник трудов IV Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2021.» в 10 т. – Рязань, 2021. – С. 15-18.

168. Могилев, А.А. Модифицированный генетический алгоритм планирования проектов, реализованный с использованием облачных вычислений / А. А. Могилев, В. М. Курейчик // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2020. – № 2 (212). – С. 157-169.

169. Шахова, Е. Ю. Поиск критических путей в графе / Е. Ю. Шахова, Е. А. Платошечкин. // Труды Братского государственного университета. Серия : Естественные и инженерные науки. – 2008. – Т. 1. – С. 138-142.

170. Список запрещенных профессий для женщин [Электронный ресурс] // Минтруд России : сайт. – Режим доступа : <https://mintrud.gov.ru/>

171. Леванчук, Л.А. Методические подходы к оценке условий труда машинистов локомотивных бригад на основе изучения риска для здоровья / Л.А. Леванчук, О.И. Копытенкова, Г.Б. Еремин // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – №8. – С. 525-531.

172. Маркевич, А.В. Результаты апробации интеллектуальной системы планирования графика работы машинистов метрополитена / А.В. Маркевич, В.Г. Сидоренко // Материалы II Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные транспортные системы», г. Москва: РУТ (МИИТ), 2023. – С. 275-281.

173. Маркевич А.В. Интеллектуальная система построения графиков работы машинистов метрополитена / А.В. Маркевич, В.Г. Сидоренко // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – №8. – С. 19-20.

174. Маркевич А.В. Интеллектуальная система построения графика работы машинистов метрополитена / А.В. Маркевич, В.Г. Сидоренко // Надежность. – 2023. – №3. – С. 63-72.

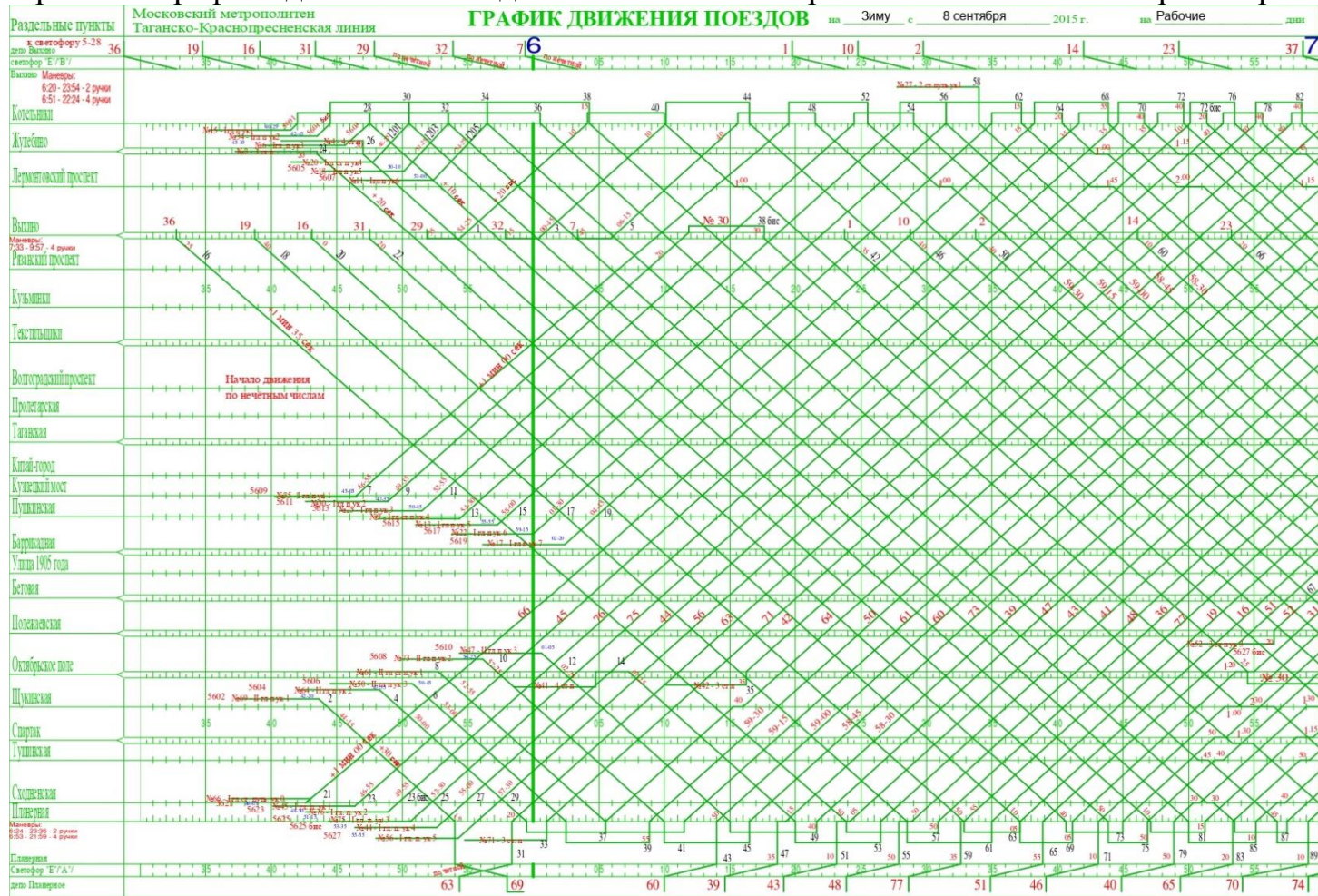
Приложение 1

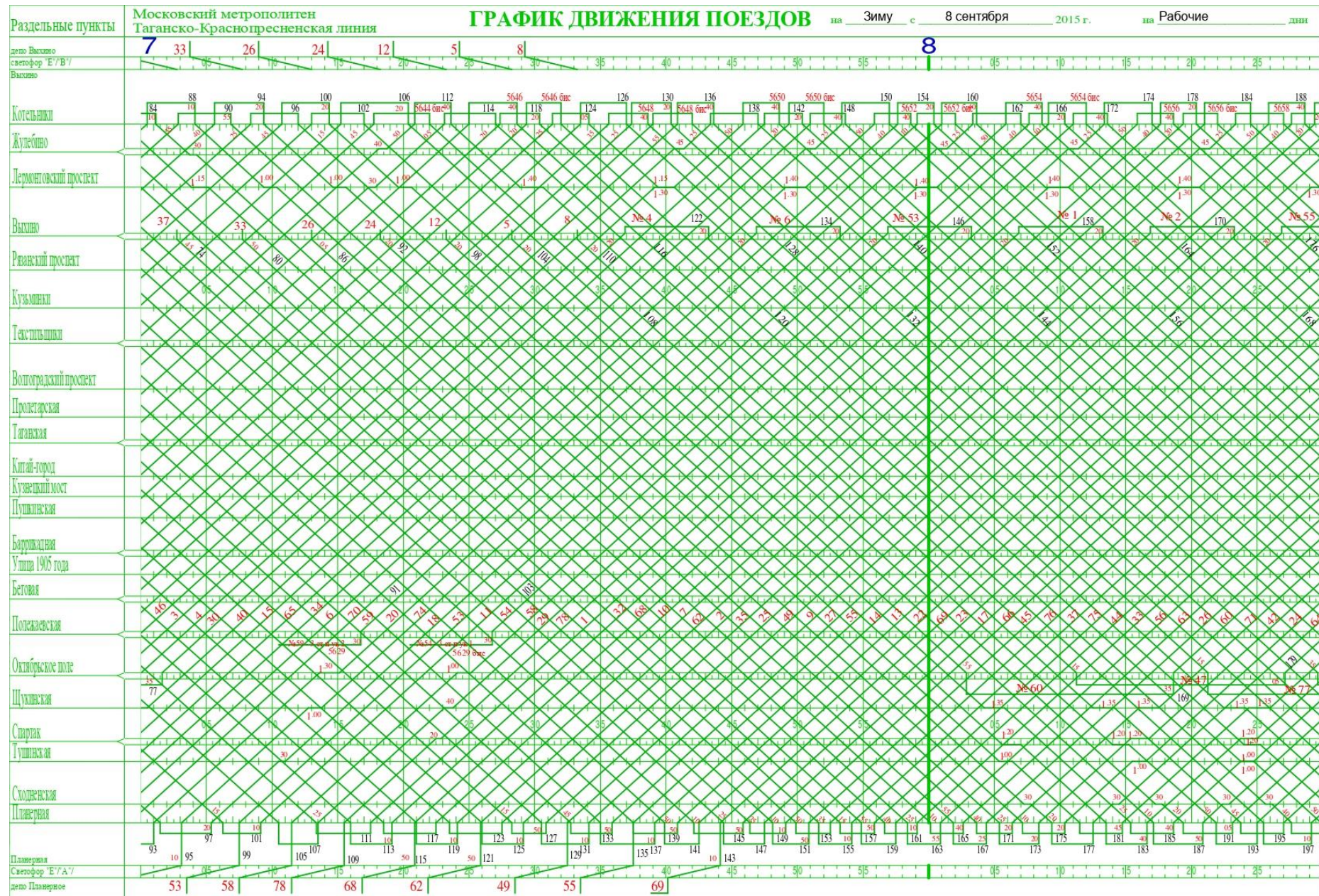
Перечень используемых сокращений

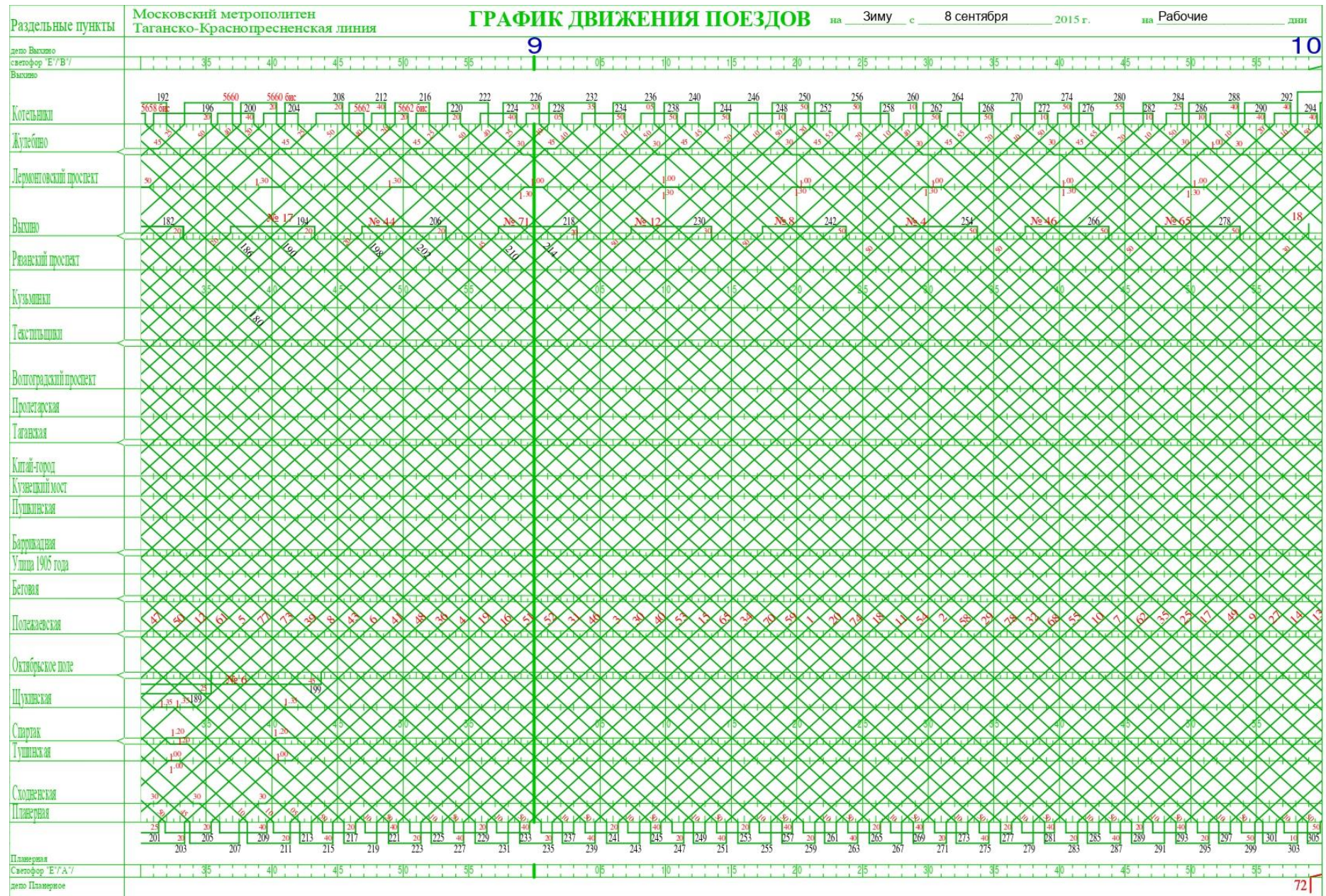
№	Сокращение	Термин
1	АИУС	Автоматизированная информационно-управляющая система
2	ГИД	График исполненного движения
3	ГО	График оборота
4	ГР	График работы
5	ДДЭ	Дежурный по депо
6	ДСП	Дежурный станционного поста или дежурный по станции
7	ЗЛ	Замоскворецкая линия
8	ИО	Информационное обеспечение
9	ИСП ГР ММ	Интеллектуальная система построения графика работ машинистов метрополитена
10	ИСПП АРПТС	Интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работы персонала транспортных средств
11	ИСУ ГРТС	Интеллектуальная система управления городскими рельсовыми транспортными системами
12	ИСУЖТ	Интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте
13	ИСУМ	Интеллектуальная система управления метрополитеном
14	КО	Комната отдыха
15	КПЭ	Ключевой показатель эффективности
16	ЛБ	Локомотивная бригада
17	ММ	Машинист метрополитена
18	МО	Математическое обеспечение
19	ОП	Обеденный перерыв
20	ПГД	Плановый график движения
21	ПО	Программное обеспечение
22	ППМ	Пассажирский поезд метрополитена
23	ПрК	Проектная команда
24	ПРМО	Предрейсовый и послерейсовый медосмотр
25	РИ	Рабочий интервал
26	РС	Рабочая смена
27	САУПМ	Система автоматизированного управления движением поездов метрополитена
28	ССП	Система Сбалансированных Показателей
29	ТКЛ	Таганско-Краснопресненская линия
30	ЭПС	Электроподвижной состав
31	MVC	<i>Model-View-Controller</i>

Приложение 2

Фрагмент графика движения поездов Московского метрополитена Таганско-Краснопресненской линии

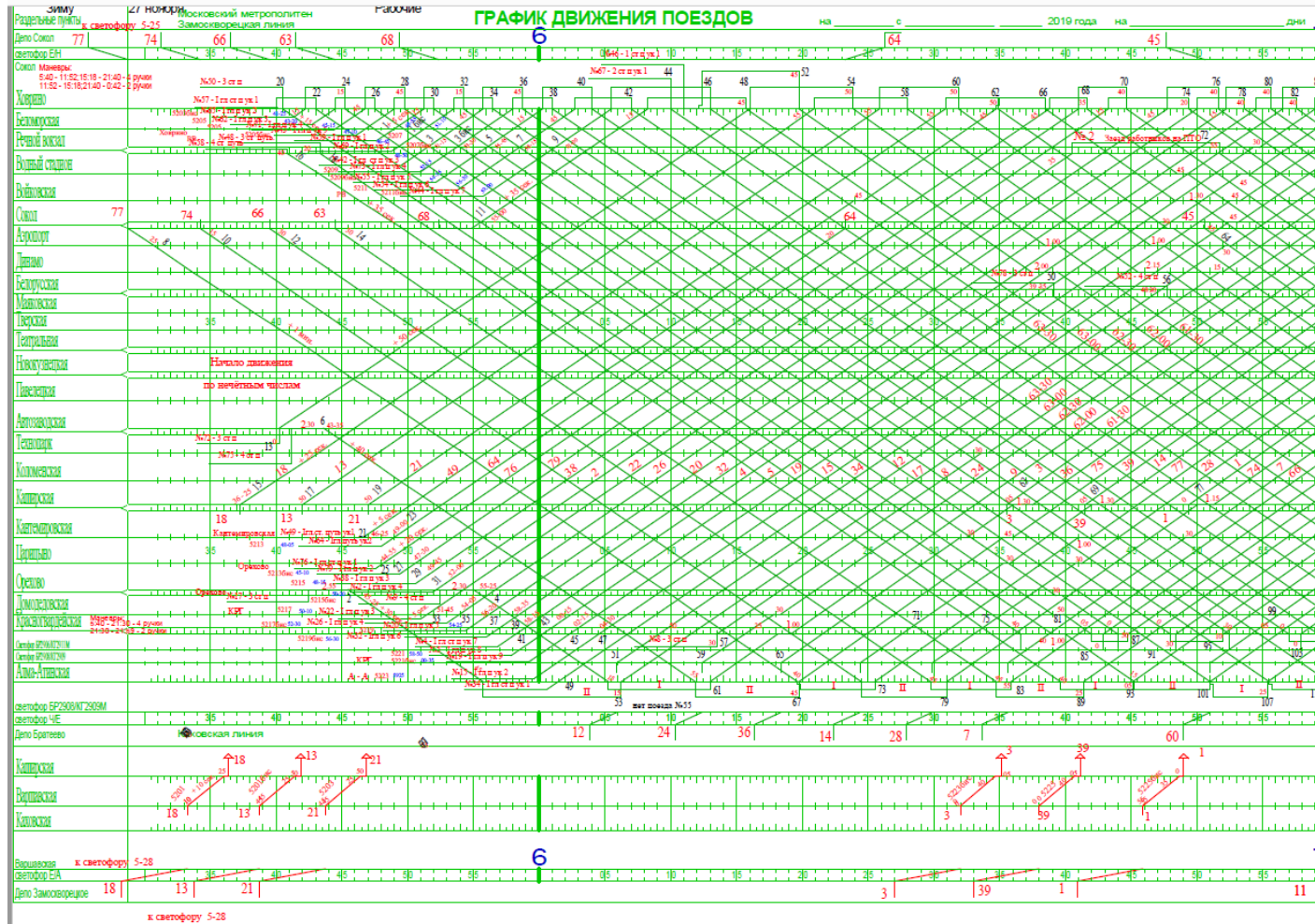


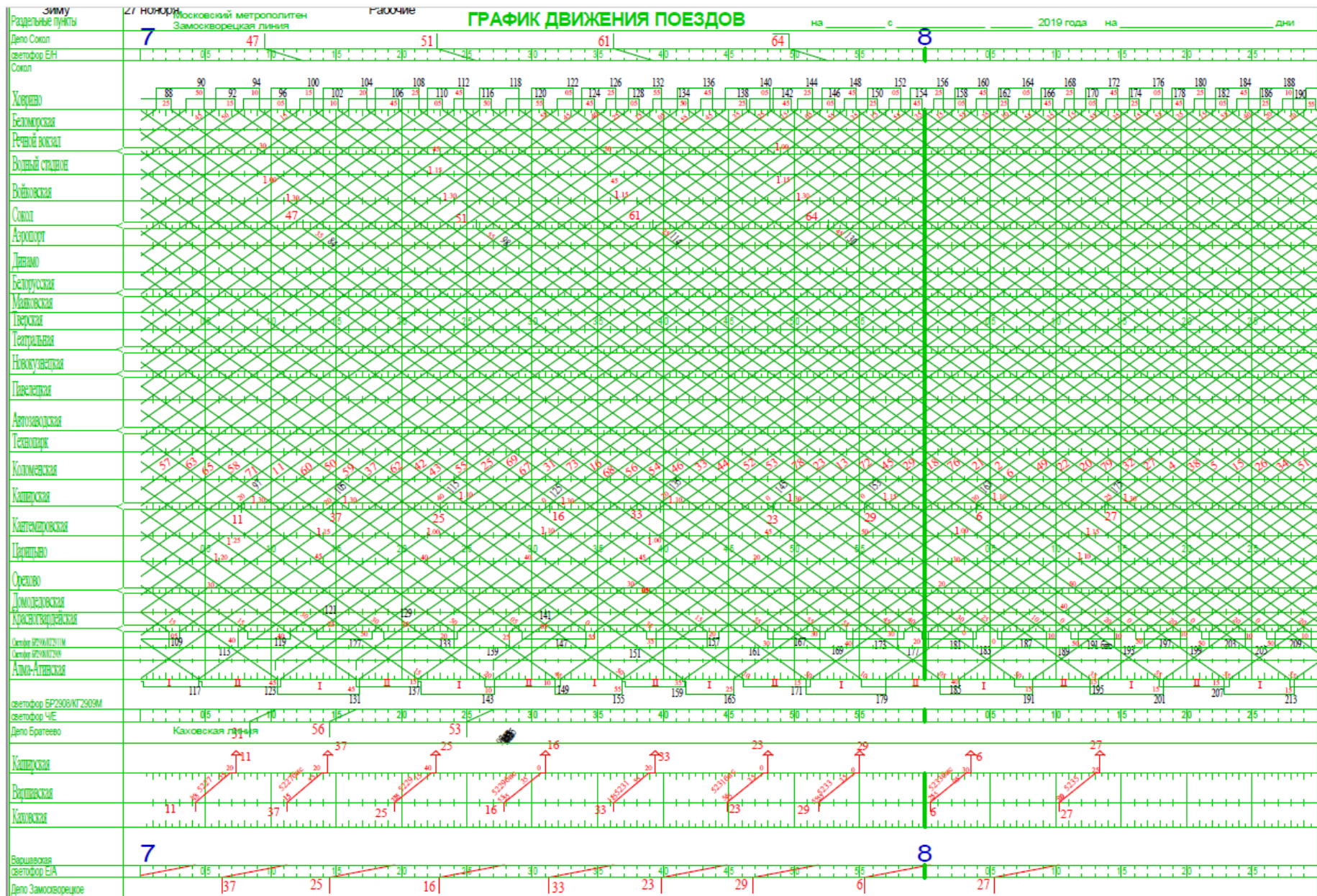


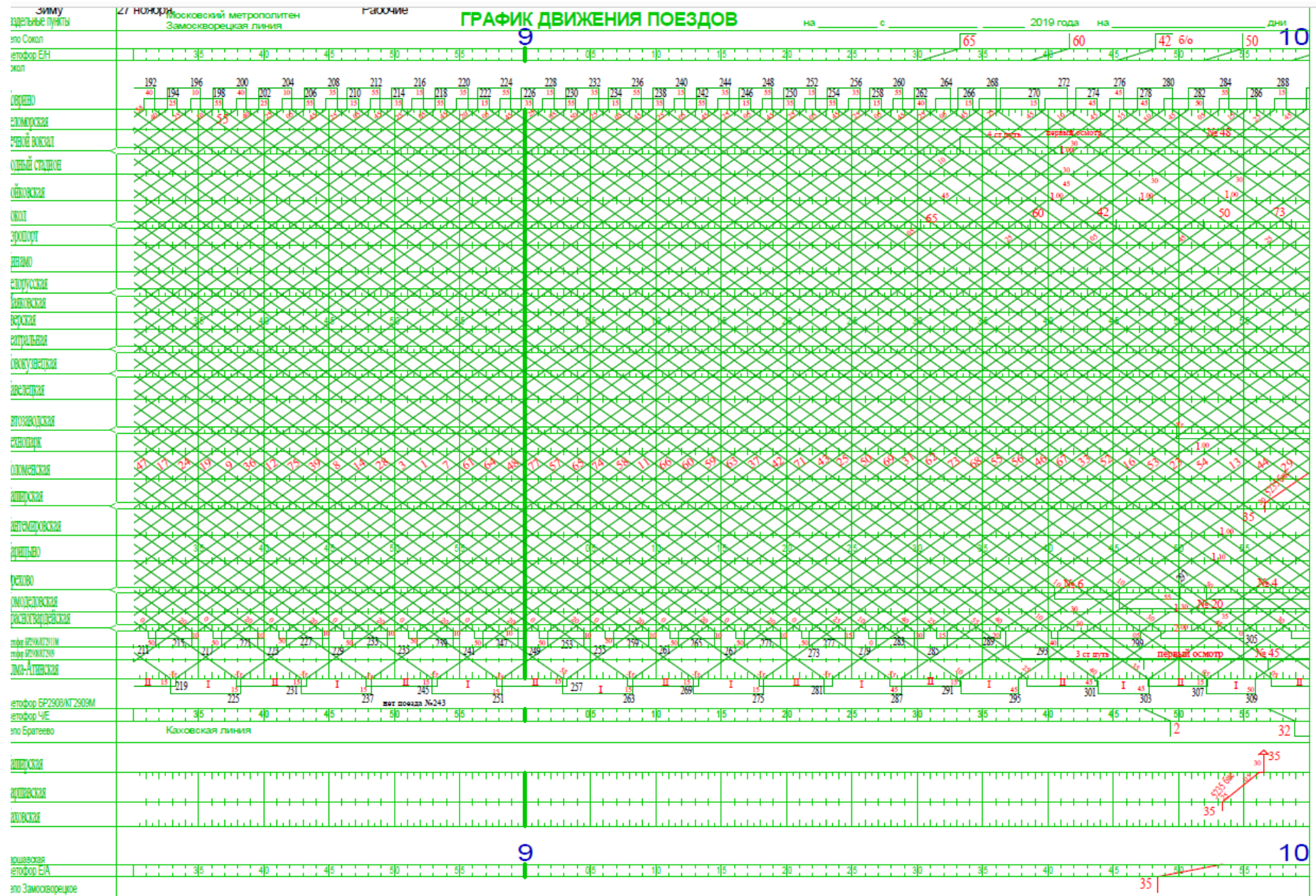


Приложение 3

Фрагмент графика движения поездов Московского метрополитена Замоскворецкой линии







Приложение 4

Разбивка смен работникам локомотивных бригад согласно графику движения поездов Таганско-Краснопресненской линии на рабочие дни (понедельник-четверг) со 02 ноября 2020

№ смены	Начало смены		Окончание смены		Линия (Л) Резерв (Р)	Содержание работ		Продолжительность смены, часы
	Время	Место	Время	Место		Выполняемая работа	Отдых, отстой	
1	05:37	Д Вх	08:28	Пр	Л	05:37Д Вх-05:40Д Вх проследование от КО к месту заступления 05:40Д Вх-06:19Д Вх приемка э.п.с. 06:19Д Вх-08:25Пр2п работа по хх. 08:25Пр-08:28Пр сдача маршрутного листа		2,8
2	08:13	Пр	15:51	Пр	Л	08:13Пр-08:25Пр заступление на смену 08:25Пр2п-14:41Пр2п работа по хх. 14:54Пр1п-15:48Пр2п подмена хх. 15:48Пр-15:51Пр сдача маршрутного листа	11:43Пр1п-12:35Пр2п () 11:43Пр-12:13Пр тех. пер. 12:13Пр-12:35Пр доп. пер. 14:41Пр-14:48Пр доп. пер.	7,8
3	14:29	Пр	20:38	Пр	Л	14:29Пр-14:41Пр заступление на смену 14:41Пр2п-18:47Пр2п работа по хх.	18:47Пр-19:43Пр тех. пер.	6,2

						19:43Пр1п-20:35Пр2п подмена хх. 20:35Пр-20:38Пр сдача маршрутного листа		
3+ (чет)	18:35	Пр	01:23	Д Вх	Л	18:35Пр-18:47Пр заступление на смену 18:47Пр2п-01:01Д Вх работа по хх. 01:01Д -01:23Д Вх сдача э.п.с.	22:01Пр1п-23:22Пр2п () 22:01Пр-23:22Пр тех. пер.	6,8
3+ (неч)	18:35	Пр	01:00	Д Вх	Л	18:35Пр-18:47Пр заступление на смену 18:47Пр2п-00:38Д Вх работа по хх. 00:38Д Вх-01:00Д Вх сдача э.п.с.	22:01Пр1п-22:58Пр2п () 22:01Пр-22:58Пр тех. пер.	6,4
1	05:47	Д Вх	08:04	Пр	Л	05:47Д Вх-05:50Д Вх проследование от КО к месту заступления 05:50Д Вх-06:29Д Вх приемка э.п.с. 06:29Д Вх-08:01Пр1п работа по хх. 08:01Пр-08:04Пр сдача маршрутного листа		2,2
2	07:49	Пр	14:01	Пр	Л	07:49Пр-08:01Пр заступление на смену 08:01Пр1п -10:09Д Вх работа по хх. 10:09Д Вх-11:06Д Вх УТС (13м) 11:06Д Вх-11:28 Д Вх сдача э.п.с 12:30Д Вх-13:00Пр проезд до Пр 13:05Пр1п-13:58Пр2п подмена 26мар.	11:28Д Вх-12:30Д Вх тех.пер.	6,2

						13:58Пр-14:01Пр сдача маршрутного листа (14:53Д Вх-15:51Пр2п работает хх. по хх.)		
3	15:39	Пр	23:20	Пр	Л Р	15:39Пр-15:51Пр заступление на смену 15:54Пр2п-19:08Пр1п работа по хх. 20:03Пр-22:03Пр резерв <u>22:03Пр2п-23:17Пр1п</u> подмена хх. 23:17Пр -23:20Пр сдача маршрутного листа	19:08Пр-19:38Пр тех. пер. 19:38Пр-20:03Пр доп. пер	7,7
3+ (чёт)	18:56	Пр	02:30	Жул	Л	18:56Пр-19:08Пр заступление на смену 19:08Пр1п-02:01Жул работа по хх. 02:04Жул-02:30Жул сдача э.п.с.	<u>22:03Пр2п-23:17Пр1п</u> (хх) 22:03Пр-22:33Пр тех.пер. 22:33Пр-23:17Пр доп.пер.	7,7
3+ (неч)	18:56	Пр	02:30	Кт Жул	Л	18:56Пр-19:08Пр заступление на смену 19:08Пр1п -01:55Кт работа по хх. 01:55Кт-02:30Жул сдача э.п.с., проезд в КО Жул	<u>22:03Пр2п-23:17Пр1п</u> (хх) 22:03Пр-22:33Пр тех.пер. 22:33Пр-23:17Пр доп.пер.	7,7

Приложение 5

Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута (Рисунок 4.4) и примеров реальных ГР ММ (Рисунок 4.7)

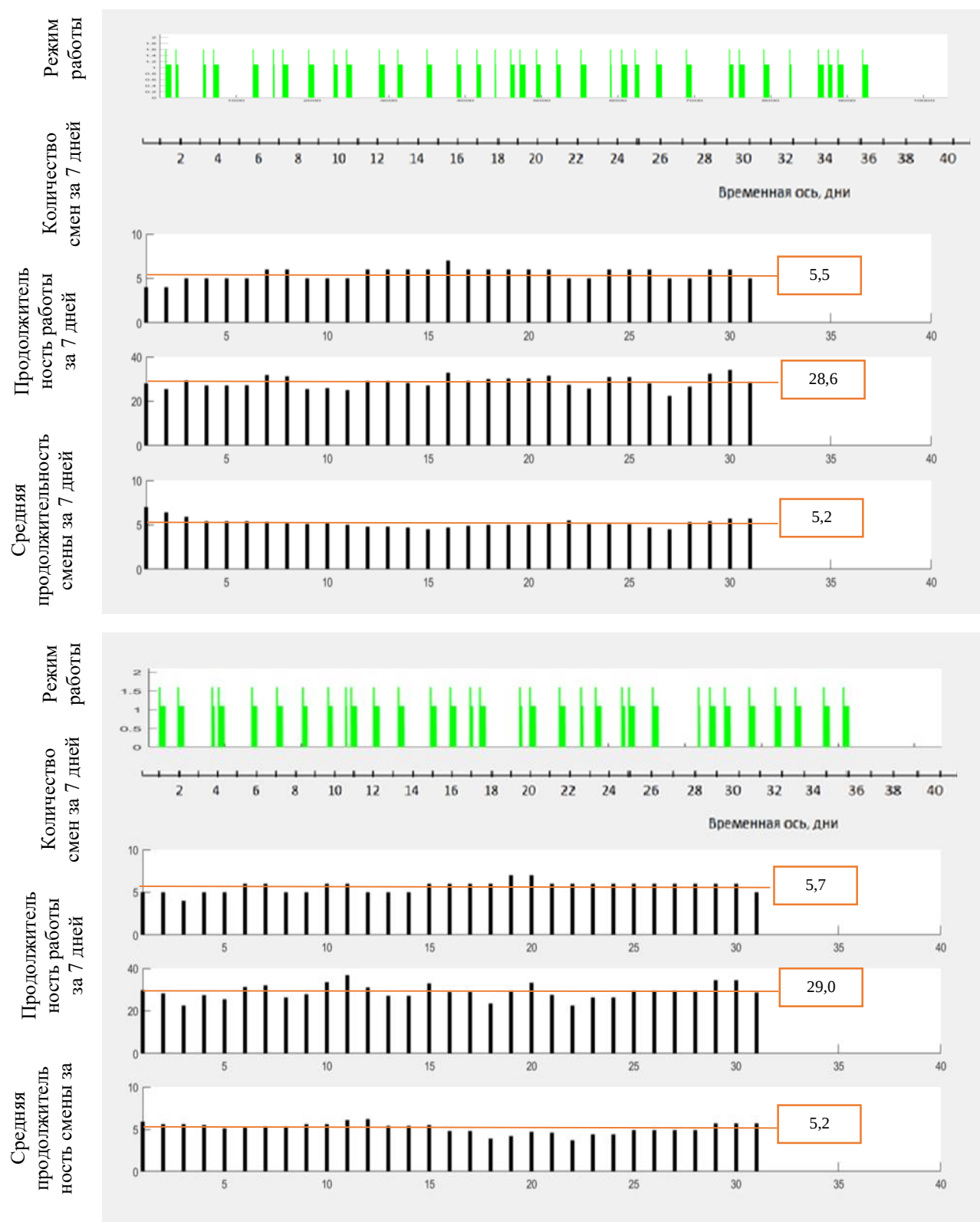


Рисунок П5.1– Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ТКЛ, машинист № 2 и 3), РИ=5,5

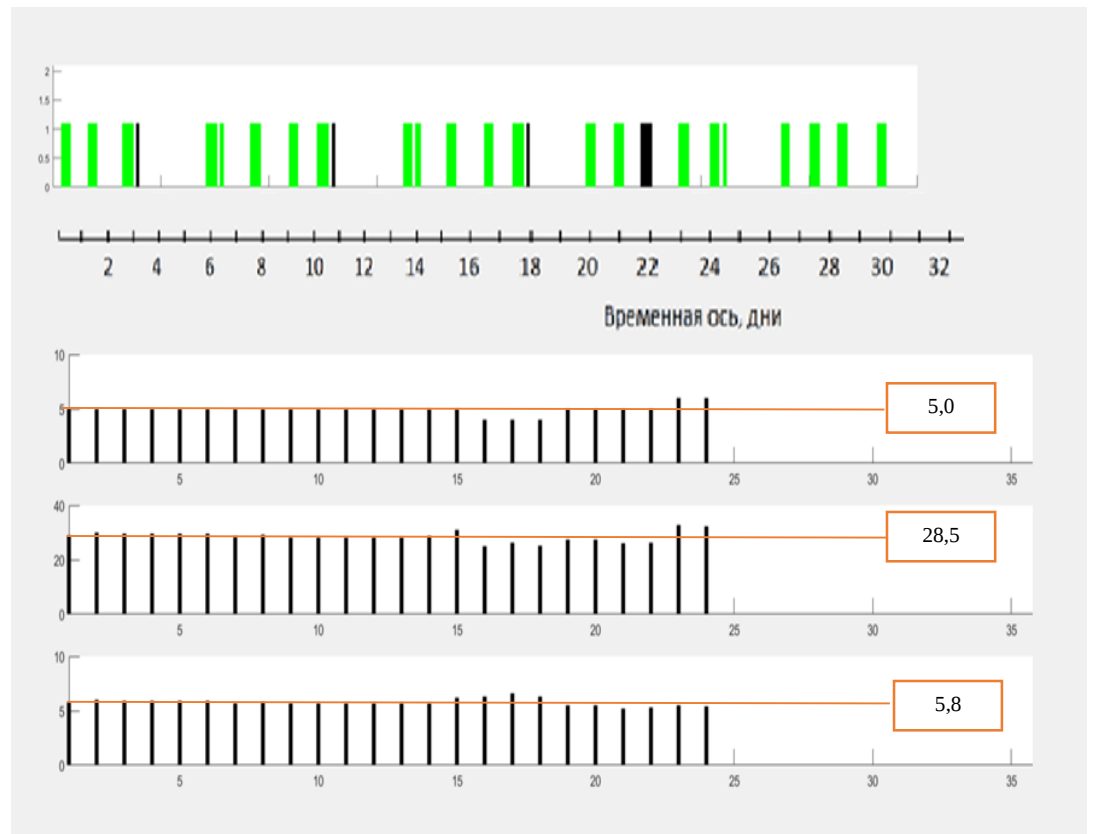
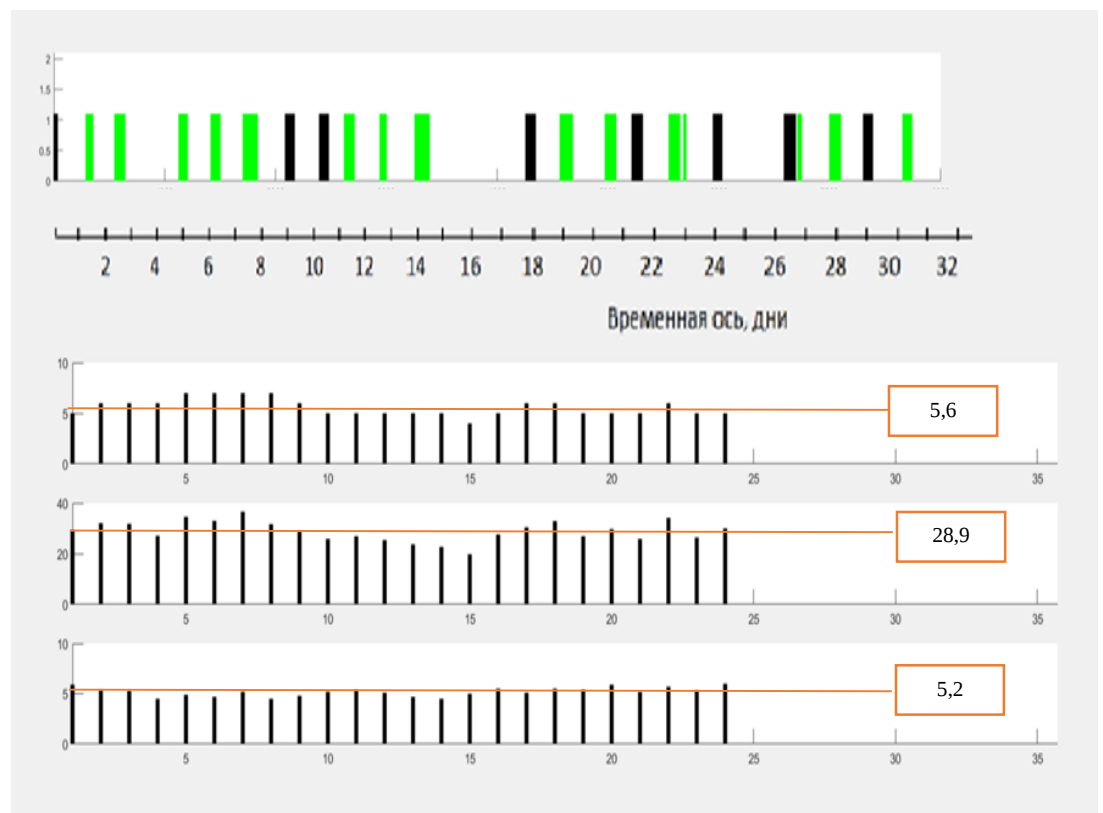
Режим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 днейРежим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней

Рисунок П5.2 – Примеры реального ГР ММ (ТКЛ, машинист № 2 и 3)

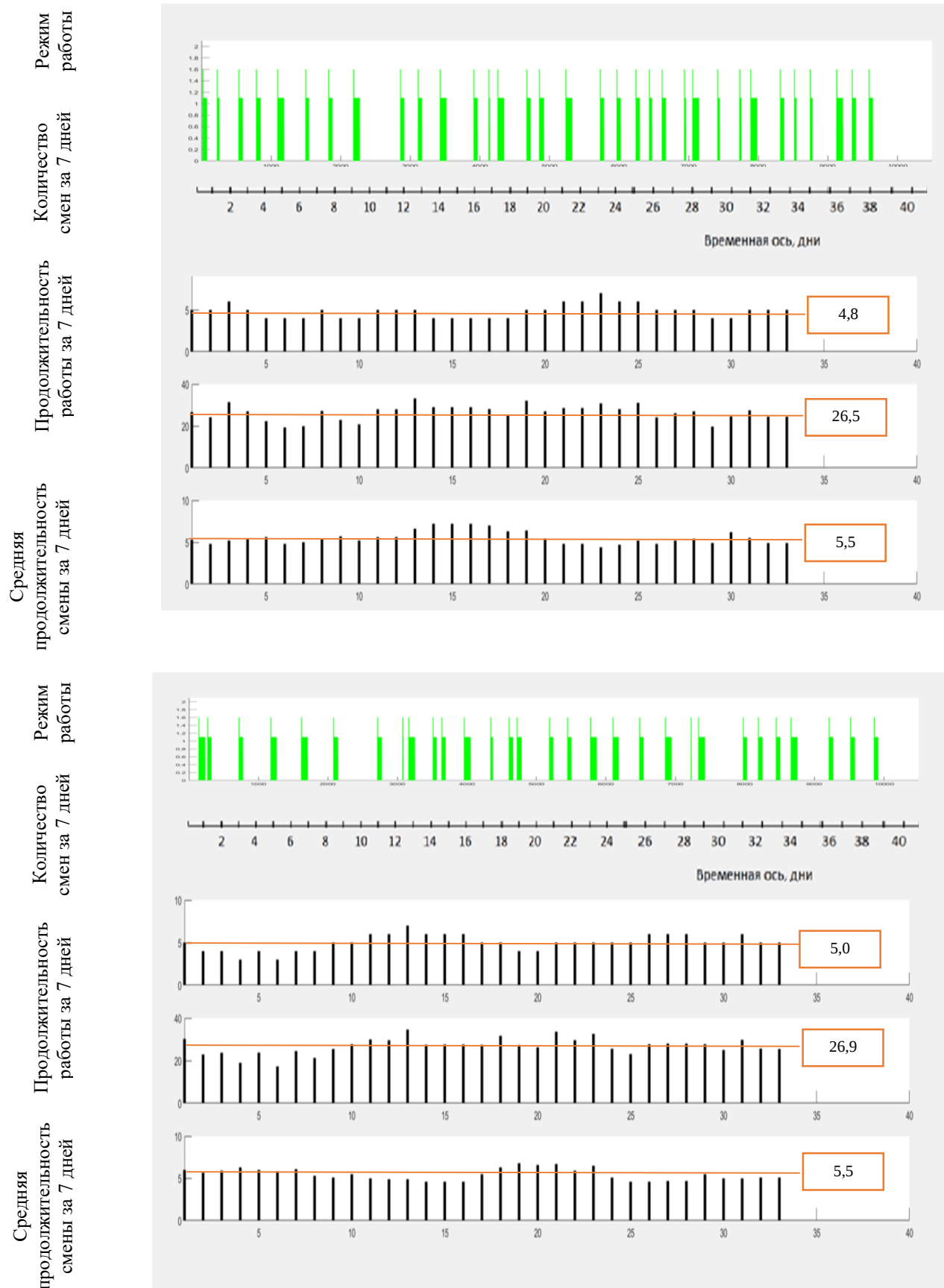


Рисунок П5.3 – Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ЗЛ, машинист № 1 и 2)

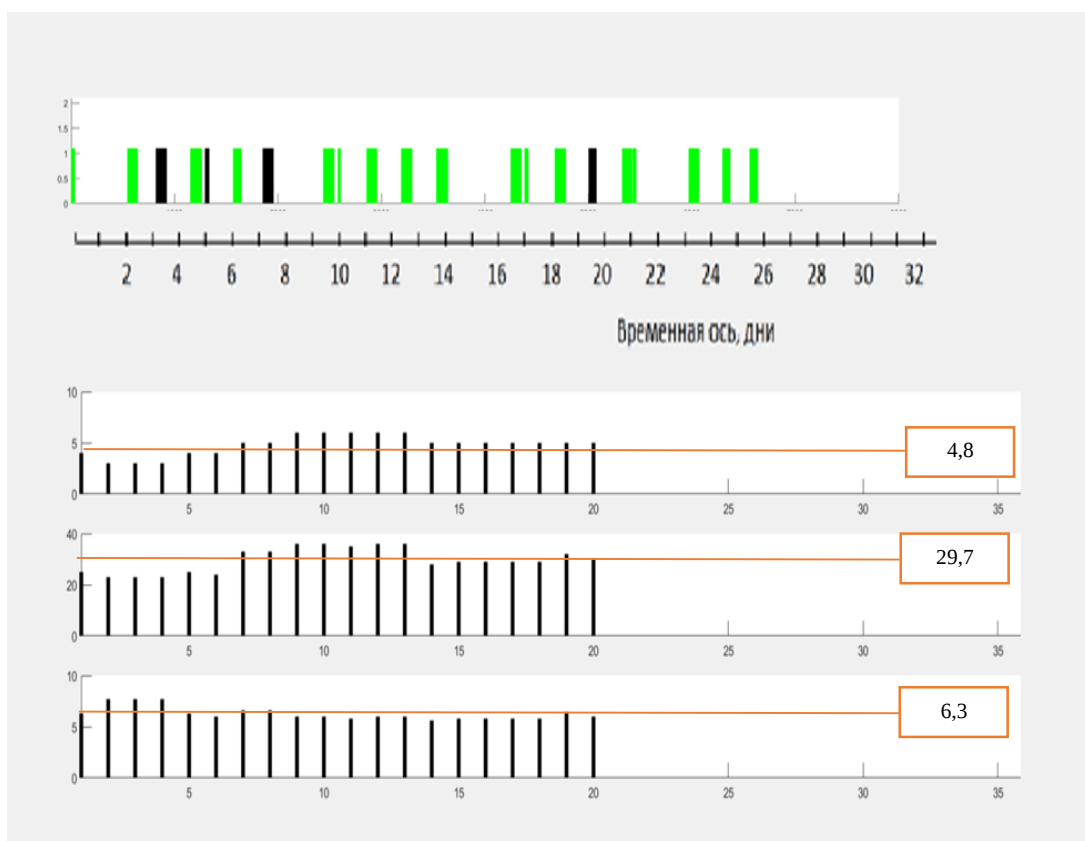
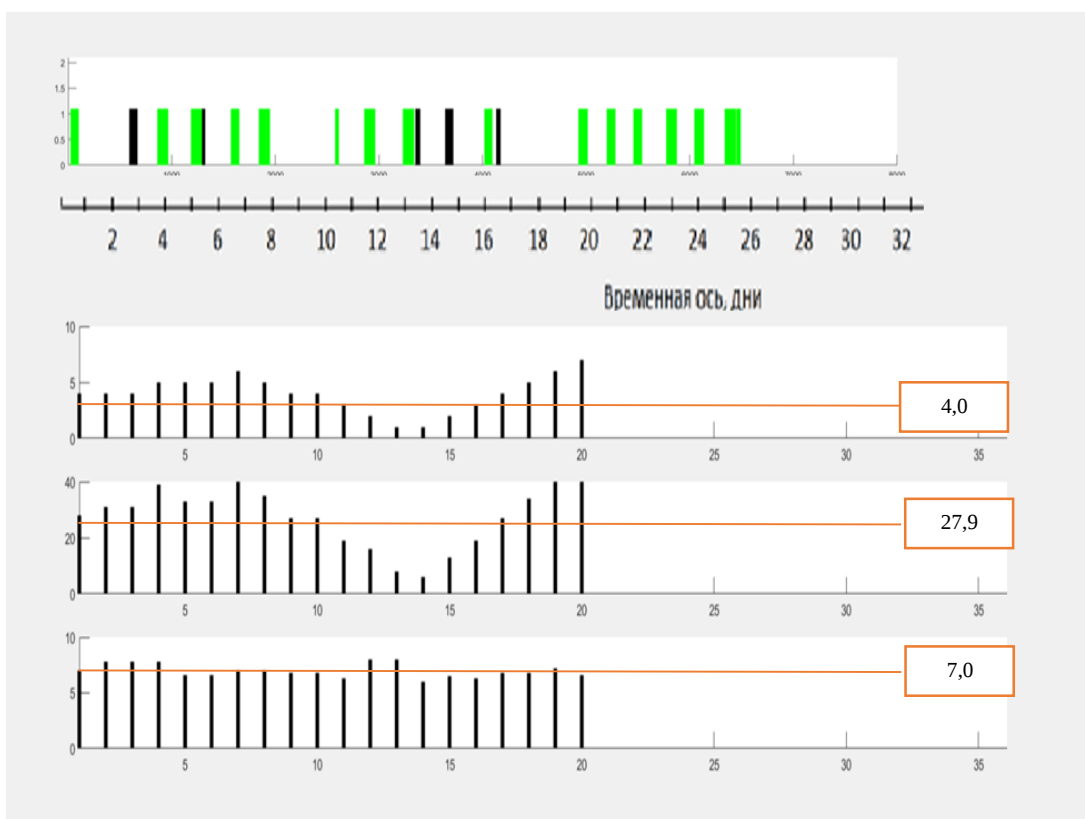
Режим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 днейРежим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней

Рисунок П5.4 – Примеры реального ГР ММ (ЗЛ, машинист № 1 и 2)



Рисунок П5.5 – Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ЗЛ, машинист № 3 и 4)

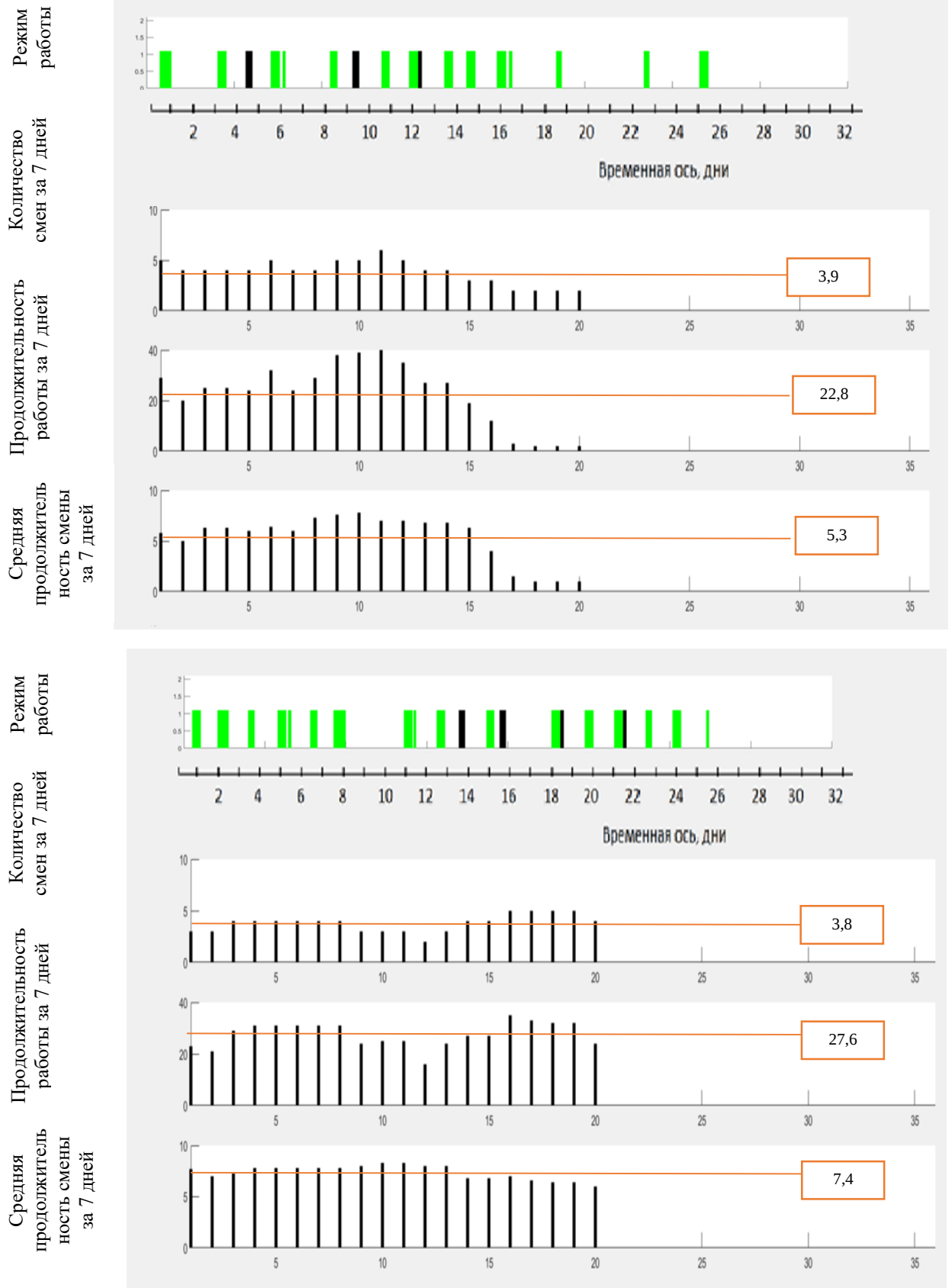


Рисунок П5.6 – Примеры реального ГР ММ (ЗЛ, машинист № 3 и 4)

[illegible]

Таблица П5.2 – Сравнение решений, полученных с помощью модели и примеров реальных ГР ММ, ЗЛ

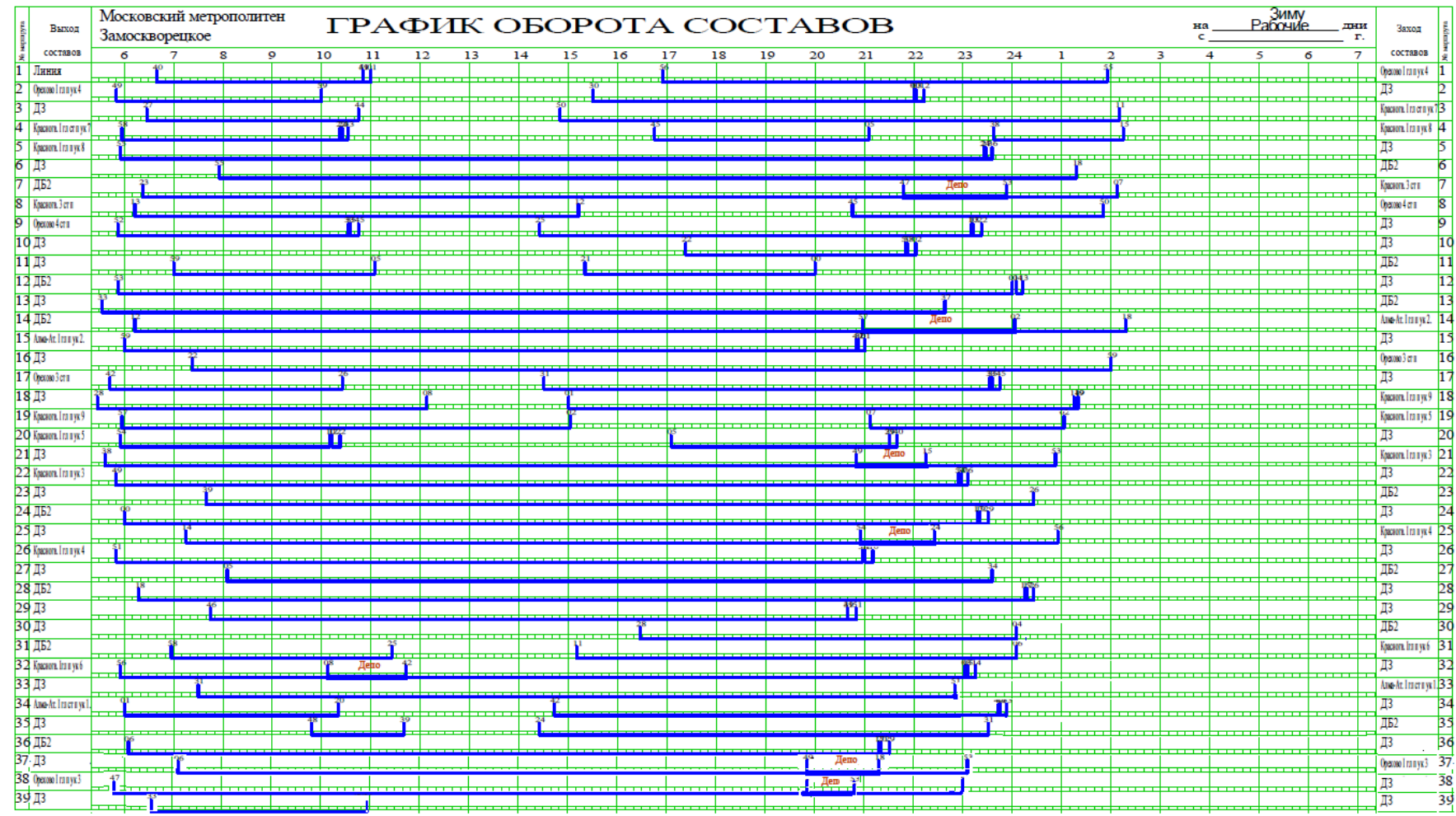
Обозначение	№ ММ \ дни	12 - 18	13 - 19	14 - 20	15 - 21	16 - 22	17 - 23	18 - 24	19 - 25	20 - 26	21 - 27	22 - 28
Модель	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	5	4	4	4	4	4	5	5	6	6
		2	6	6	6	6	5	5	4	4	5	5
		3	5	5	5	5	4	5	5	6	5	5
		4	5	4	5	5	6	5	5	5	5	5
	среднее зн.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	28,0	33,2	29,0	29,0	28,1	25,1	32,1	27,0	28,6	28,6
		2	29,6	34,6	27,4	27,6	27,4	31,7	27,3	26,3	33,6	29,6
		3	32,3	25,1	29,6	27,1	22,9	30,2	27,2	34,4	29,8	29,7
		4	32,8	25,6	24,2	28,0	33,2	28,3	28,3	28,3	30,7	34,2
	среднее зн.	31	30	28	28	28	28	29	29	29	31	31
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	5,6	6,6	7,2	7,2	7,0	6,3	6,4	5,4	4,8	4,8
		2	4,9	4,9	4,6	4,6	5,5	6,3	6,8	6,6	6,7	5,9
		3	6,5	6,3	5,9	5,4	5,7	6,0	5,4	5,7	6,0	5,9
		4	6,6	6,4	6,0	5,6	5,5	5,7	5,7	5,7	6,1	6,8
Пример	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	среднее зн.	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		1	6	6	5	5	5	5	5	5		
		2	2	1	2	3	4	5	6	7		
		3	5	4	3	3	2	2	2	2		
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	4	2	3	4	5	5	5	5	4		
		среднее зн.	4	4	4	4	4	4	5	5		
		1	36,0	36,0	28,0	29,0	29,0	29,0	32,0	30,0		
		2	16,0	8,0	6,0	13,0	27,0	34,0	43,0	46,0		
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	3	35,0	27,0	27,0	19,0	3,0	2,0	2,0	2,0		
		4	16,0	24,0	27,0	27,0	33,0	32,0	32,0	24,0		
	среднее зн.	26	24	22	22	24	23	24	27	26		
		1	6,0	6,0	5,6	5,8	5,8	5,8	6,4	6,0		
		2	8,0	8,0	6,0	6,3	6,8	6,8	7,2	6,6		
		3	7,0	6,8	6,8	6,3	1,5	1,0	1,0	1,0		
		4	8,0	8,0	6,8	6,8	6,6	6,4	6,4	6,0		
	среднее зн.	7	7	6	6	6	5	5	5	5		

Таблица П5.3 – Сравнение решений, полученных с помощью модели и примеров реальных ГР
ММ, ЗЛ

Обозначение	№ ММ \ дни	23-29	24-30	25-31	26-32	27-33	28-34	29-35	30-36	31-37	32-38	33-39	Среднее зн. за период
Модель	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	7	6	5	5	5	4	4	5	5	5	4,8
		2	5	5	6	6	6	5	5	6	5	5	5,0
		3	5	6	5	4	5	5	4	4	5	4	4,8
		4	4	3	4	4	4	4	5	6	6	5	5,0
		среднее зн.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,9
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	30,8	28,1	31,1	24,1	26,1	19,7	24,7	27,5	24,5	24,5	26,5
		2	32,6	25,6	23,1	27,7	28,0	27,7	25,0	29,8	25,7	25,5	26,9
		3	26,7	34,0	26,7	30,2	22,9	30,4	26,2	26,2	32,4	25,2	27,7
		4	27,8	21,7	26,3	23,4	30,7	22,5	26,7	28,6	31,3	26,9	28,3
		среднее зн.	29	27	27	26	27	25	26	28	28	25	27,3
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	4,4	4,7	5,2	4,8	5,2	4,9	6,2	5,5	4,9	4,9	5,5
		2	6,5	5,1	4,6	4,6	4,7	5,5	5,0	5,0	5,1	5,1	5,5
		3	5,3	5,7	5,3	6,0	5,7	6,1	6,5	6,5	6,5	6,3	5,8
		4	6,9	7,2	6,6	5,9	6,1	5,6	5,3	4,8	5,2	5,4	5,7
		среднее зн.	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5,6
Пример	Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1											4,8
		2											4,0
		3											3,9
		4											3,8
		среднее зн.											4,1
	Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1											29,7
		2											27,9
		3											22,8
		4											27,6
		среднее зн.											27,0
	Средняя продолжительность смены за 7 дней	1											6,3
		2											7,0
		3											5,3
		4											7,4
		среднее зн.											6,5

Приложение 6

График оборота Московского метрополитена Замоскворецкой линии



Приложение 7

Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута
ТКЛ при разных значениях РИ

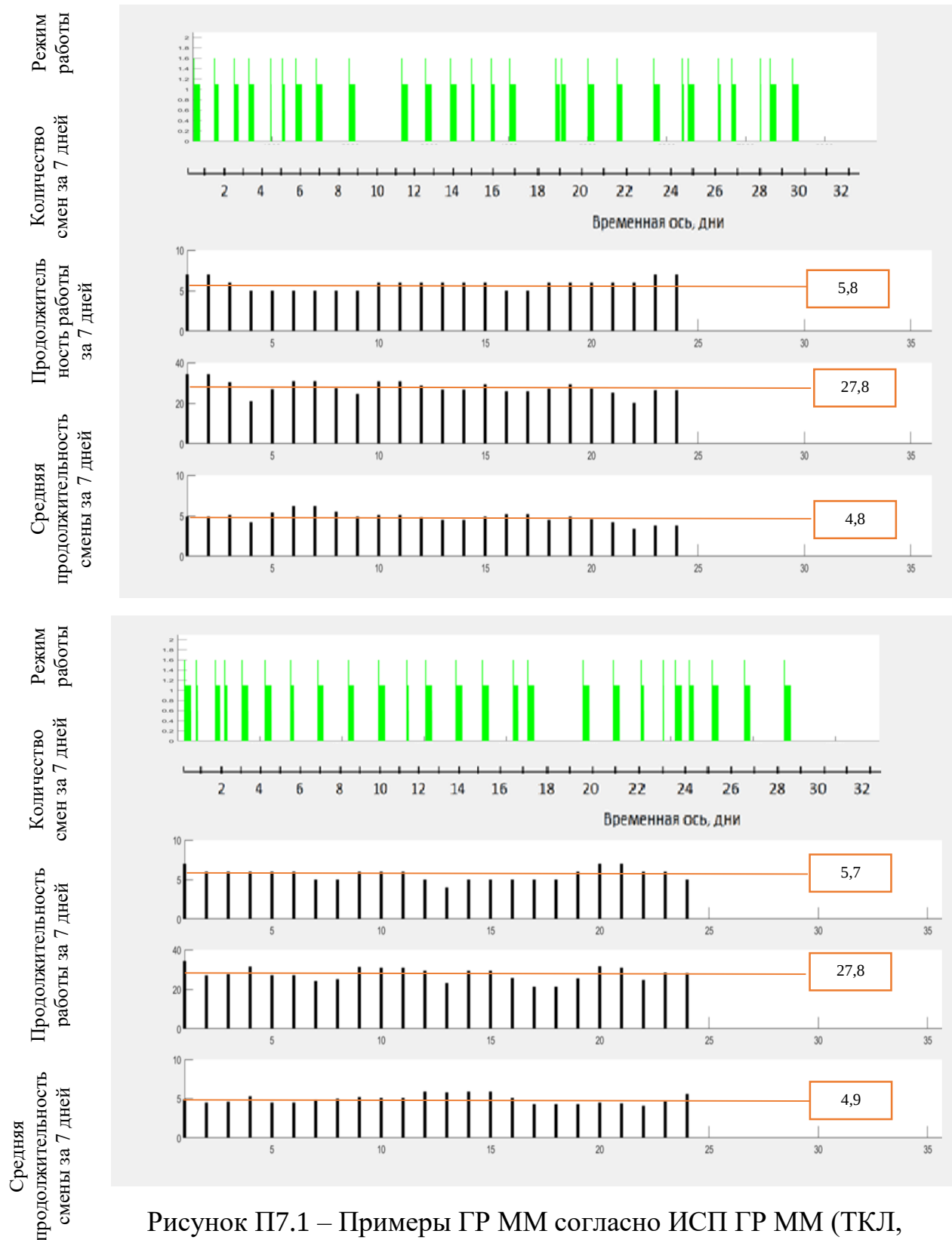


Рисунок П7.1 – Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ТКЛ, машинист № 1 и 2), РИ=6

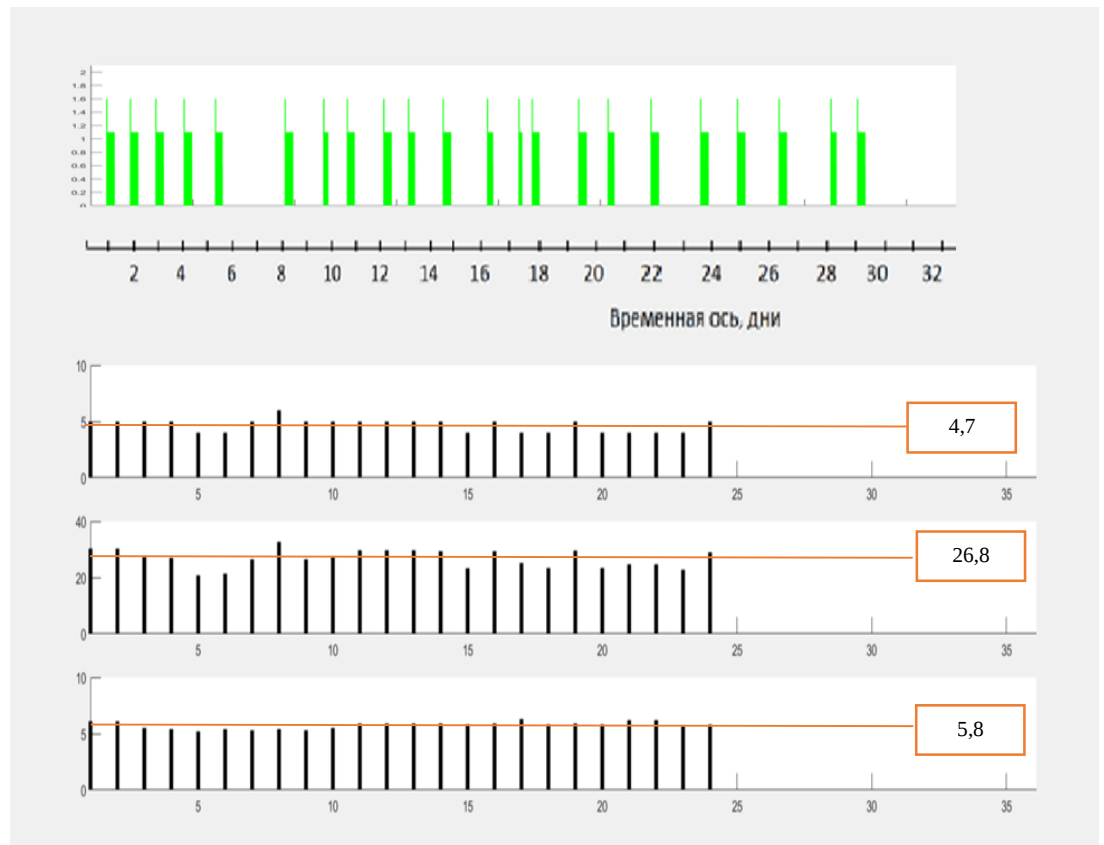
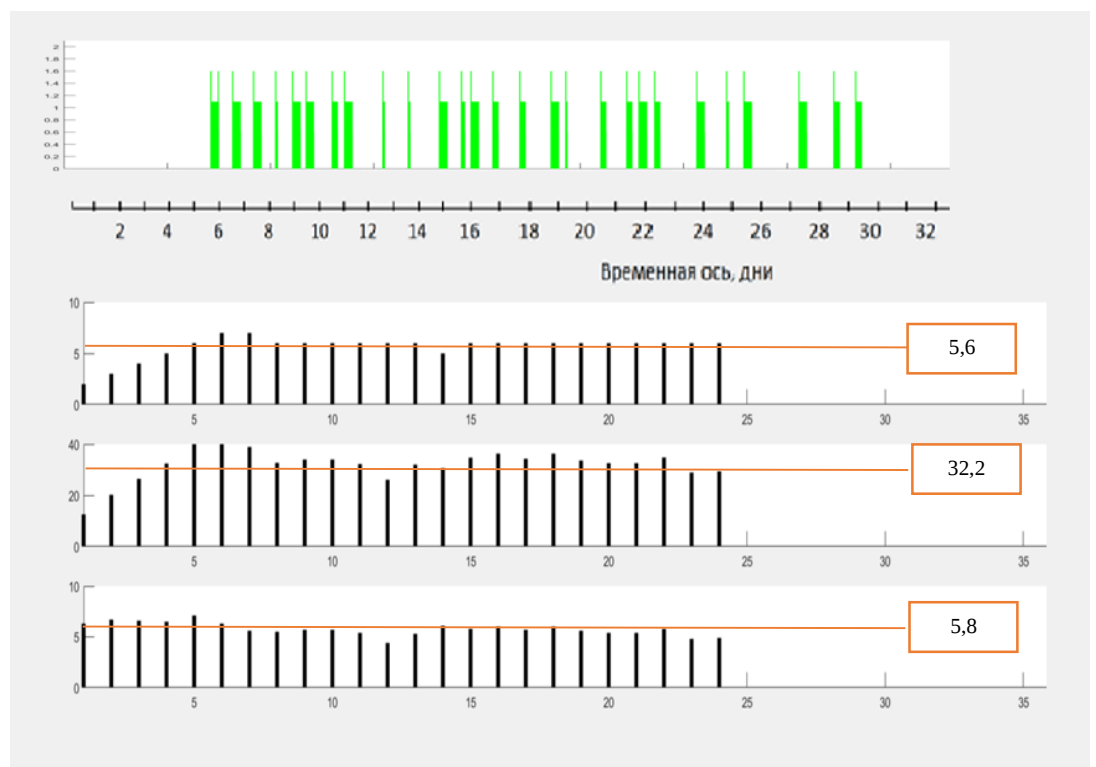
Режим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 днейРежим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней

Рисунок П7.2 – Примеры реального ГР ММ (ТКЛ, машинист № 3 и 4), РИ=6

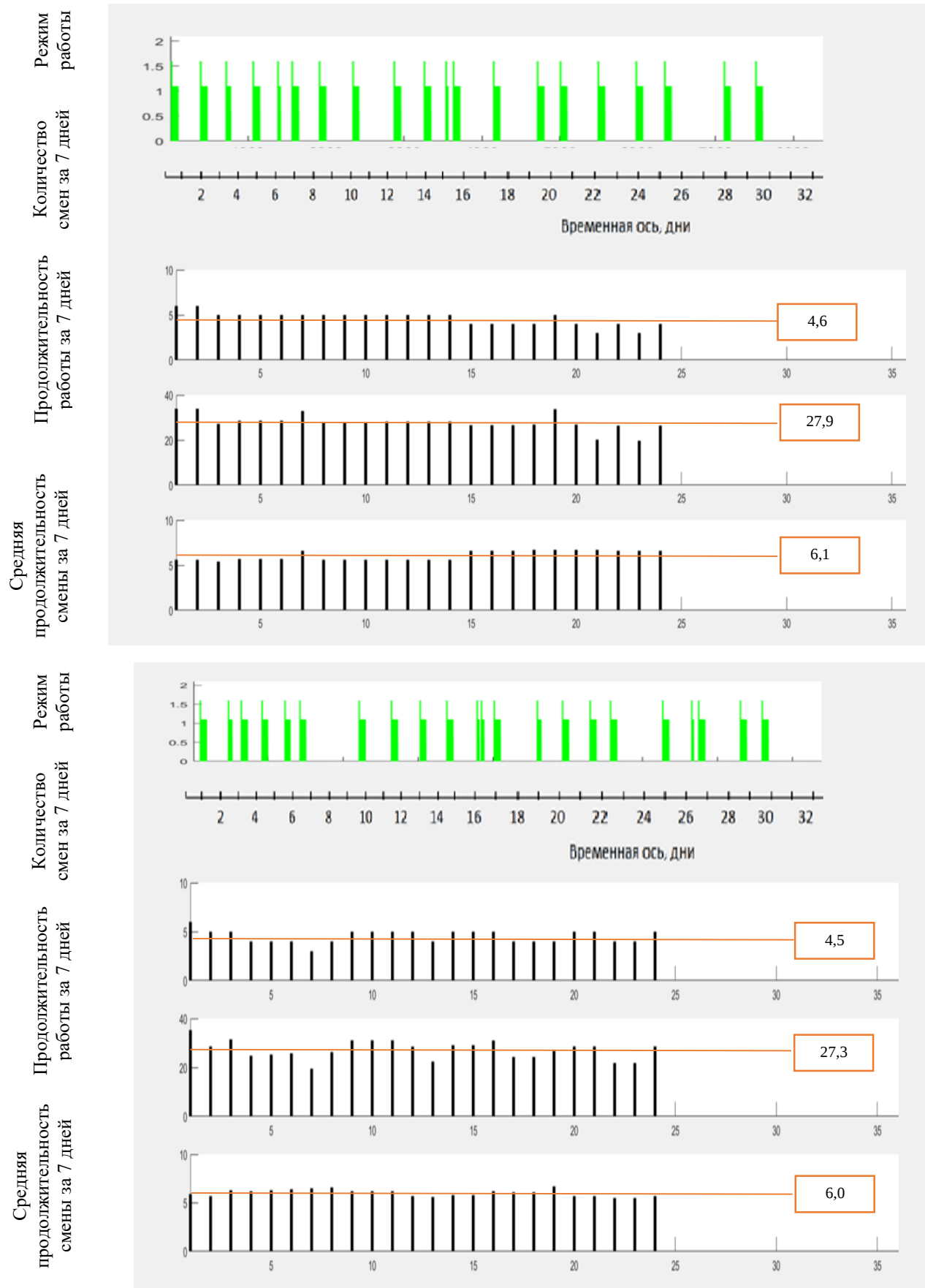
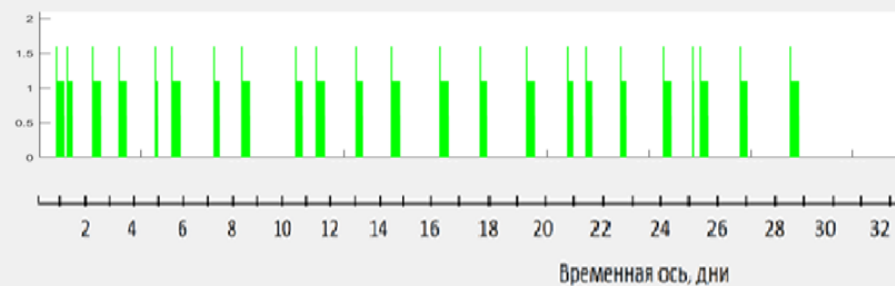


Рисунок П7.3 – Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ТКЛ, машинист № 1 и 2), РИ = 6,5

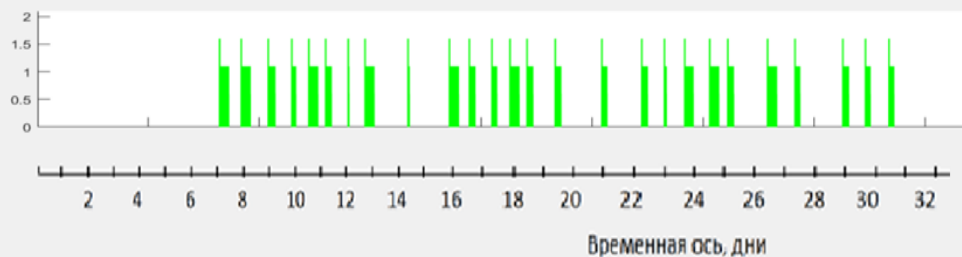
Режим
Количество
смен за 7 дней



Продолжительность
работы за 7 дней
Средняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней



Режим
Количество
смен за 7 дней



Продолжительность
работы за 7 дней
Средняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней

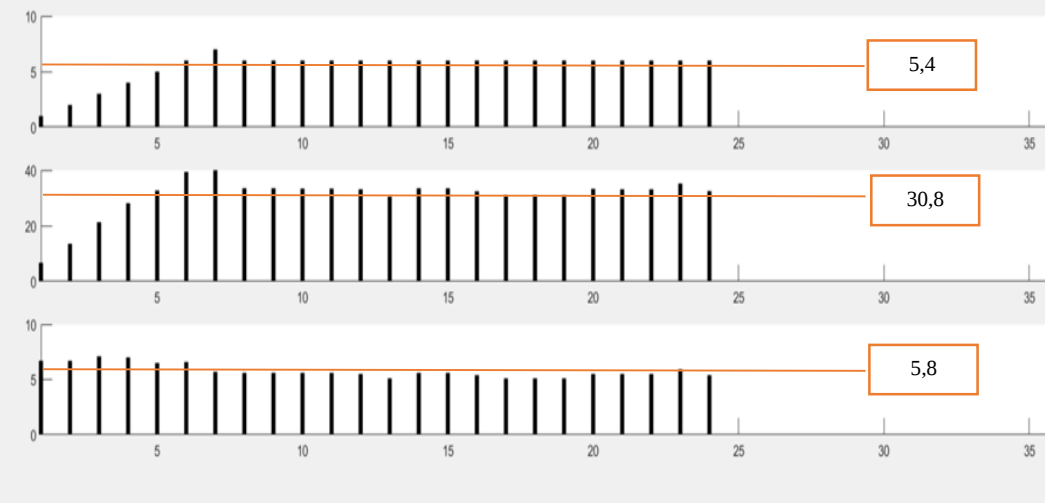


Рисунок П7.4 – Примеры реального ГР ММ (ТКЛ, машинист № 3 и 4),
РИ=6,5

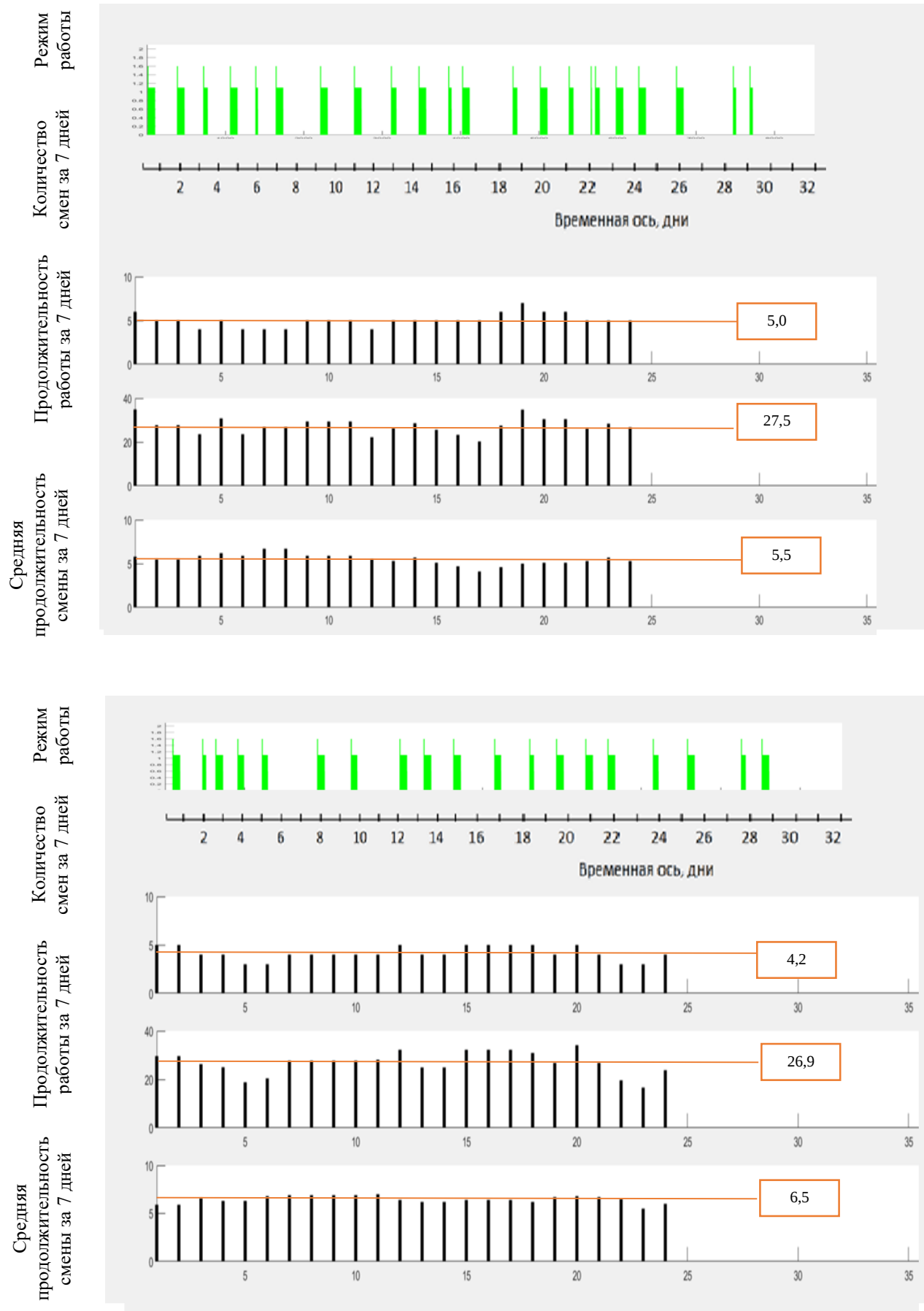


Рисунок П7.5 – Примеры ГР ММ согласно ИСП ГР ММ (ТКЛ, машинист № 1 и 2), РИ=7

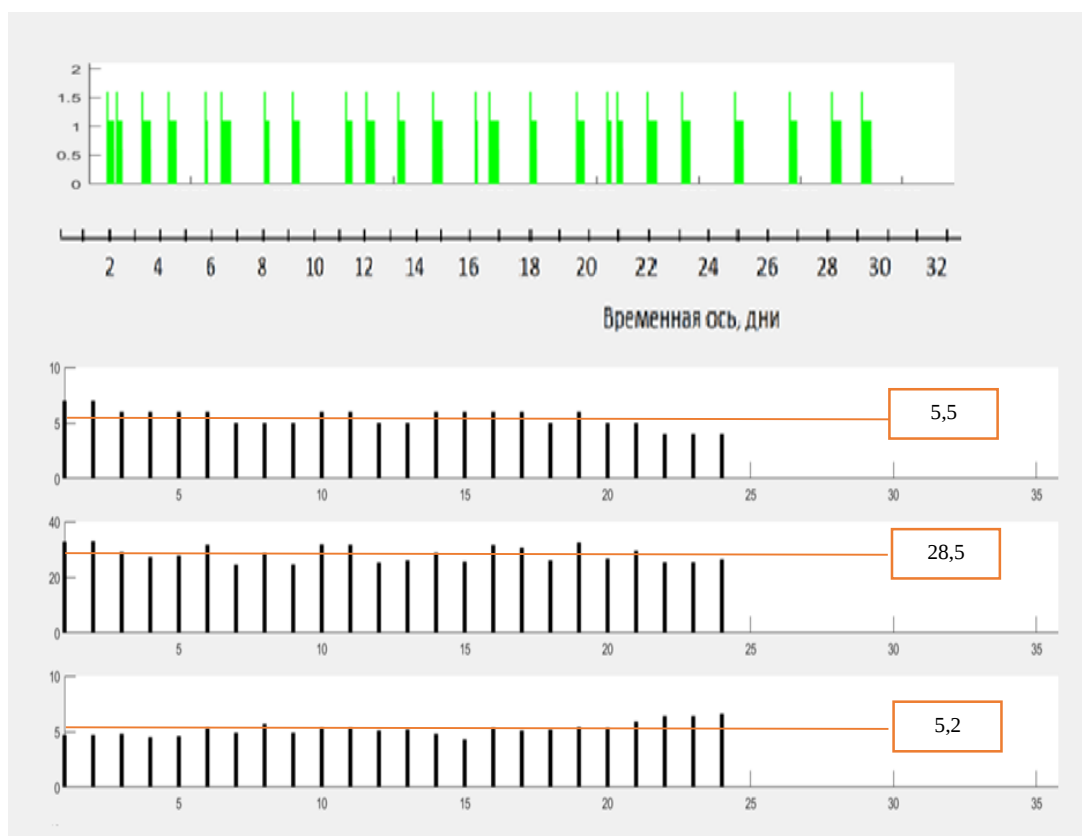
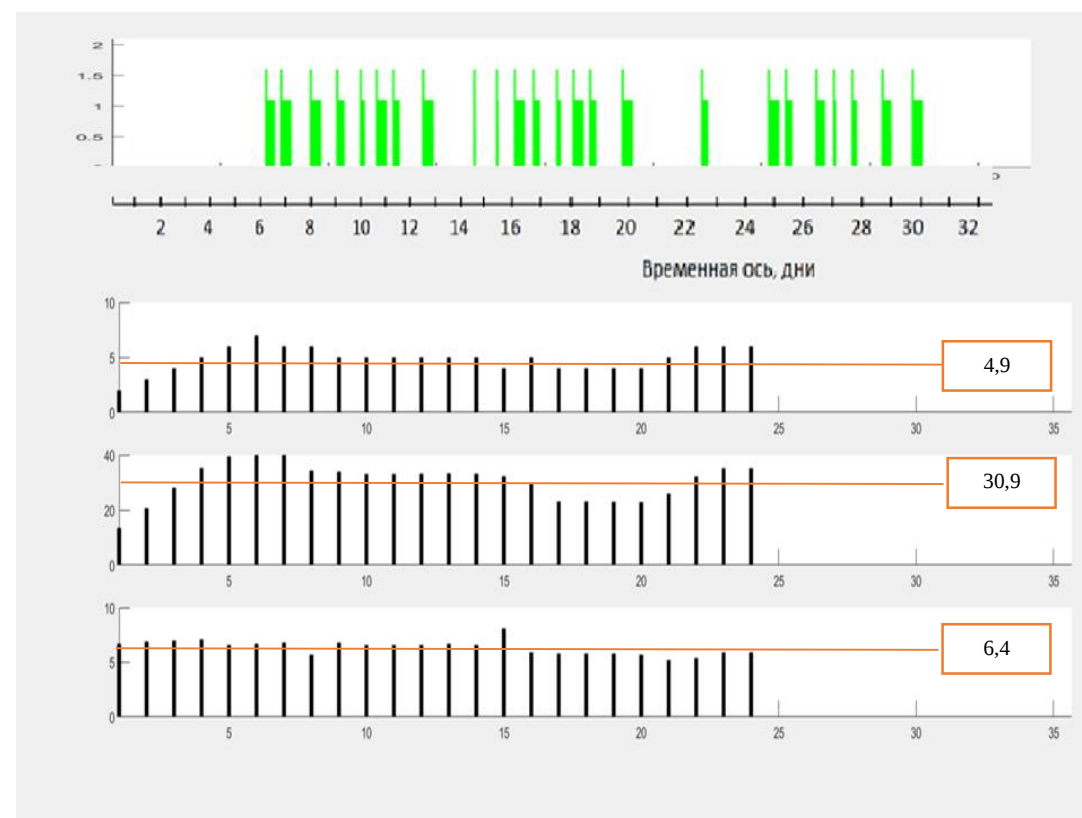
Режим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 днейРежим
работыКоличество
смен за 7 днейПродолжительность
работы за 7 днейСредняя
продолжитель-
ность смены
за 7 дней

Рисунок П7.6 – Примеры реального ГР ММ (ТКЛ, машинист № 3 и 4), РИ=7

Таблица П7.1 (а) – Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута ТКЛ, РИ = 6

Обозначение	№ ММ \ дни	1 - 7	2 - 8	3 - 9	4 - 10	5 - 11	6 - 12	7 - 13	8 - 14	9 - 15	10 - 16	11 - 17	12 - 18
Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	7	7	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	2	7	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	5
	3	5	5	5	5	4	4	5	6	5	5	5	5
	4	2	3	4	5	6	7	7	6	6	6	6	6
	среднее зн.	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	34,3	34,3	30,4	21,0	26,9	30,9	30,9	27,5	24,6	30,8	30,8	28,7
	2	34,3	27,0	27,7	31,5	27,1	27,1	24,2	25,1	31,3	30,9	30,9	29,4
	3	30,3	30,3	27,5	27,0	20,8	21,4	26,5	32,7	26,5	27,4	29,7	29,7
	4	12,6	20,2	26,4	32,4	42,8	44,0	38,9	32,7	34,0	34,0	32,2	26,1
	среднее зн.	28	28	28	28	29	31	30	29	29	31	31	28
Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	4,9	4,9	5,1	4,2	5,4	6,2	6,2	5,5	4,9	5,1	5,1	4,8
	2	4,9	4,5	4,6	5,3	4,5	4,5	4,8	5,0	5,2	5,1	5,1	5,9
	3	6,1	6,1	5,5	5,4	5,2	5,4	5,3	5,4	5,3	5,5	5,9	5,9
	4	6,3	6,7	6,6	6,5	7,1	6,3	5,6	5,5	5,7	5,7	5,4	4,4
	среднее зн.	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5

Таблица П7.1 (б) – Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута ТКЛ, РИ = 6

[illegible]

Таблица П7.2 (а) – Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута ТКЛ, РИ = 6,5

[illegible]

Таблица П7.2 (б) – Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута ТКЛ, РИ = 6,5

[illegible]

Таблица П7.3 (а) – Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута ТКЛ, РИ = 7

[illegible]

Таблица П7.3 (б) – Значения основных показателей расчетных решений для одного маршрута ТКЛ, РИ = 7

Обозначение	№ ММ \ дни	13 - 19	14 - 20	15 - 21	16 - 22	17 - 23	18 - 24	19 - 25	20 - 26	21 - 27	22 - 28	23 - 29	24 - 30	Среднее значение за весь период
Количество РС за 7 дней, следующих за текущим	1	5	5	5	5	5	6	7	6	6	5	5	5	5,0
	2	4	4	5	5	5	5	4	5	4	3	3	4	4,2
	3	5	6	6	6	6	5	6	5	5	4	4	4	5,5
	4	5	5	4	5	4	4	4	4	5	6	6	6	4,9
	среднее зн.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,9
Продолжительность работы за 7 дней, следующих за текущим	1	26,4	28,6	25,6	23,3	20,3	27,5	34,8	30,5	30,5	26,3	28,4	26,7	27,5
	2	24,9	24,9	32,2	32,2	32,2	30,9	26,8	34,1	26,8	19,6	16,6	23,8	26,9
	3	26,1	28,8	25,6	31,6	30,6	26,1	32,5	26,7	29,5	25,4	25,4	26,4	28,5
	4	33,3	33,2	32,3	29,6	23,1	23,1	23,0	22,9	26,0	32,2	35,2	35,2	30,9
	среднее зн.	28	29	29	29	27	27	29	29	28	26	26	28	28,4
Средняя продолжительность смены за 7 дней	1	5,3	5,7	5,1	4,7	4,1	4,6	5,0	5,1	5,1	5,3	5,7	5,3	5,5
	2	6,2	6,2	6,4	6,4	6,4	6,2	6,7	6,8	6,7	6,5	5,5	6,0	6,5
	3	5,2	4,8	4,3	5,3	5,1	5,2	5,4	5,3	5,9	6,4	6,4	6,6	5,2
	4	6,7	6,6	8,1	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,2	5,4	5,9	5,9	6,4
	среднее зн.	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5,9

Приложение 8

Параметры движения для основных линий метрополитена

таблица с 23 июня 2020 года (лето)	MIN СТАЦИОННЫЙ ОБОРОТ (МИН.) по граф.	ВРЕМЯ ХОДА		ПУНКТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА	НУМЕРАЦИЯ МАРШУТОВ ПО ДЕПО
НАЗВАНИЕ ЛИНИИ		ПИК	НЕ ПИК		
СОКОЛЬНИЧЕСКАЯ	Б.Рок. 2:30 / Унив. 5:00 Салар. 2:40 / Комму. 2:50	62:30	62:30	УНИВЕРСИТ Б.РОКОС. д.ЧЕРКИЗОВ д.СЕВЕРНОЕ СОКОЛЬНИКИ	С. 1-39 Ч. 40-71
ЗАМОСКВОРЕЦКАЯ	Кр.Гв. 2:25 Р.В. 2:25 Ал.-Ат.3:15 Ховр. 2:30	61:30	63:30	РЕЧ.ВОКЗ, КРАСНОГВ, д.СОКОЛ, д.ЗАМОСКВ, д.БРАТЕЕВО	З. 1-40 С. 41-80
АРБАТСКО- ПОКРОВСКАЯ	Щелк 2:30 Митино 3:00 Пят.ш.2.45	63:00	64:00	ЩЕЛКОВСК, д.ИЗМАЙЛОВО, д.МИТИНО	И. 1-33 М. 40-81
ФИЛЕВСКАЯ	Кунцев. 1:30 Ал.Сад 1:00 Межд.2-15	22:30 6:00	22:30 6:00	д.ФИЛИ	1-16 51-55
КОЛЬЦЕВАЯ	--	27:30	30:00	П.Культуры д.КР.ПРЕСНЯ	1-33
КАЛУЖСКО - РИЖСКАЯ	Новояс. 2:30 Медв. 2:30	55:30	57:30	д.СВИБЛ, д.КАЛУЖСК	С. 1-37 К. 38-78
ТАГАНСКО - КРАСНО- ПРЕСНЕНСКАЯ	Вых. 2:30 План. 2:30 Котел. 2:40	58:30	59:30	д.ПЛАНЕРН д.ВЫХИНО	В. 1-38 П. 39-79

НАЗВАНИЕ ЛИНИИ	MIN СТАЦИОННЫЙ ОБОРОТ (МИН.) по граф.	ВРЕМЯ ХОДА	ПУНКТЫ ТЕХНИЧ ЕСКОГО ОСМОТР А	НУМЕРАЦИЯ МАРШУТОВ ПО ДЕПО	таблица с 23 июня 2020 года (лето)
КАЛИНИНСКАЯ	Трет. 4:00 Новокос. 2:45	20:45	21:30	д.НОВОГИР	1-29
СЕРПУХОВСКО - ТИМИРЯЗЕВСКАЯ	Алтуф 2:25 БДД 3:15	57:30	57:30	д.ВАРШАВ д.ВЛАДЫК АЛТУФЬЕВ	В. 1-38 Вл.39-81
ЛЮБЛИНСКО- ДМИТРОВСКАЯ	Чкал.2:30 / Мар. 2:40 / Мар.роща 3:10 / Зяблик. 2:40 / П.Р. 4:00 /Сел.3:45	56:45	59:00	д.ПЕЧАТНИКИ МАРЬИНО д. ЛИХОБОРЫ	Печ.1-35 Лих.36-71
БУТОВСКАЯ	Битц.па.3:15 Бун.ал. 3:15	16:00	20:00	д.ВАРШАВ	82-99
СОЛНЦЕВСКАЯ-БК	Рам.2:30 / Дел.цен.3:05/ Савел. 3:10 / Рассказ 2:45	46:15 15:35	46:15 15:35	д.СОЛНЦЕВО РАМЕНКИ	1-42
НЕКРАСОВСКАЯ	Некрас. 2:45 Лефорт. 7:20	26:40	26:40	д.РУДНЕВО	1-20

Приложение 9

Фрагмент ГО электропоездов "Ласточка" на МЦК интервал - 4 и 8 минут в рабочий день

график	СОСТАВ	№ поезда	отправление		прибытие		пробег
1		Путь отправления - 21, Угрешская					
	ЭС2Г-048	7801	Андроновка	5:30	5:31	ОП Нижегородская	
	ЭС2Г-048	6117	Оп Нижегородская	5:32	6:58	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6155	Андроновка	6:58	8:26	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6199	Андроновка	8:26	9:13	ОП Балтийская	27
	ЭС2Г-048	6199	ОП Балтийская	9:13	9:54	Андроновка	27
	ЭС2Г-048	6243	Андроновка	9:54	11:22	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6287	Андроновка	11:22	12:08	ОП Балтийская	27
	ЭС2Г-048	7801	ОП Балтийская	12:09	12:11	Братцево четный	
		Дневной отстой - 5Б, Тупик					
	ЭС2Г-048	7800	Братцево четный	15:24	15:27	ОП Балтийская	
	ЭС2Г-048	6356	ОП Балтийская	15:28	16:16	Андроновка	27
	ЭС2Г-048	6400	Андроновка	16:16	17:44	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6444	Андроновка	17:44	19:12	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6488	Андроновка	19:12	20:40	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6532	Андроновка	20:40	22:08	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6556	Андроновка	22:08	23:36	Андроновка	54
	ЭС2Г-048	6578	Андроновка	23:36	1:02	ОП Нижегородская	54
	ЭС2Г-048	7800	Оп Нижегородская	1:03	1:04	Андроновка	

график	СОСТАВ	№ поезда	отправление		прибытие		пробег
2		Путь отправления - 7 путь, позиция 1 от Лефортово					
	ЭС2Г-081	7800	Андроновка	7:32	7:36	Шоссе Энтузиастов	
	ЭС2Г-081	6170	Шоссе Энтузиастов	7:37	9:00	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6214	Андроновка	9:00	10:28	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6258	Андроновка	10:28	11:56	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6300	Андроновка	11:56	13:24	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6322	Андроновка	13:24	14:52	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6358	Андроновка	14:52	16:20	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6402	Андроновка	16:20	17:48	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6446	Андроновка	17:48	19:16	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6490	Андроновка	19:16	20:44	Андроновка	54
	ЭС2Г-081	6534	Андроновка	20:44	21:23	ОП Балтийская	27
	ЭС2Г-081	7800	ОП Балтийская	21:24	21:26	Брацево нечетный	
		Заезд на путь - 10Б, Тупик					

Приложение 10

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер

электродепо «Выхино»

М.А. Глинкин

2023 г.



АКТ

о практическом использовании результатов диссертационной работы
Маркевич Агаты Владимировны

Основные результаты диссертационной работы Маркевич Агаты Владимировны могут стать основой создания математического, информационного и программного обеспечения автоматизированной системы построения графика работы машинистов метрополитена и МЦК. Особый интерес с практической точки зрения представляют:

– предложенная автором методология автоматизации построения графика работы машинистов на основе заданных планового графика движения пассажирских поездов и графика оборота электроподвижного состава (ЭПС) с учетом реальной численности сотрудников и их допустимой плановой загрузки;

– автоматизированные процедуры, которые на текущий момент выполняются в неавтоматизированном режиме, а именно:

- определение состава и очередности работы машинистов для реализации движения ЭПС, исходя из принципа минимизации численности задействованных машинистов;
- построение графика работы основных машинистов исходя из принципа равномерности занятости машинистов в рамках выбранного периода учета;
- построение графика работы подменных машинистов исходя из принципа минимизации времени их простоя между привлечениями к работе.

Разработанные автором принципы построения автоматизированной системы построения графика работы машинистов, формализации, алгоритмы и модели являются основой для создания универсального для различных линий метрополитена и МЦК математического и программного обеспечения, позволяющего оперативно составлять и менять проект графика работ машинистов, что имеет особую актуальность.

По итогам анализа результатов работы, сравнения фактического графика работы машинистов и графика, полученного в ходе использования, разработанного Маркевич А.В. программного обеспечения, последнее можно

рекомендовать к внедрению после этапа сбора локальных требований и
возможного расширения параметров созданной модели.

Заместитель начальника
электродепо по эксплуатации

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned between the title and the name.

П.А. Чернов

Приложение 11

УТВЕРЖДАЮ



Начальник электродепо
«Замоскворецкое»

П.М. Набатов

10.04.2023 г.

АКТ

о практическом использовании результатов диссертационной работы

Маркевич Агаты Владимировны

Основные результаты диссертационной работы Маркевич Агаты Владимировны могут стать основой создания математического, информационного и программного обеспечения автоматизированной системы построения графика работы машинистов метрополитена и МЦК. Особый интерес с практической точки зрения представляют:

– предложенная автором методология автоматизации построения графика работы машинистов на основе заданных планового графика движения пассажирских поездов и графика оборота электроподвижного состава (ЭПС) с учетом реальной численности сотрудников и их допустимой плановой загрузки;

– автоматизированные процедуры, которые на текущий момент выполняются в неавтоматизированном режиме, а именно:

- определение состава и очередности работы машинистов для реализации движения ЭПС, исходя из принципа минимизации численности задействованных машинистов;
- построение графика работы основных машинистов исходя из принципа равномерности занятости машинистов в рамках выбранного периода учета;
- построение графика работы подменных машинистов исходя из принципа минимизации времени их простоя между привлечениями к работе.

Разработанные автором принципы построения автоматизированной системы построения графика работы машинистов, формализации, алгоритмы и модели являются основой для создания универсального для различных линий метрополитена и МЦК математического и программного обеспечения, позволяющего оперативно составлять и менять проект графика работ машинистов, что имеет особую актуальность.

По итогам анализа результатов работы, сравнения фактического графика работы машинистов и графика, полученного в ходе использования,

разработанного Маркевич А.В. программного обеспечения, последнее можно рекомендовать к внедрению после этапа сбора локальных требований и возможного расширения параметров созданной модели.

Заместитель начальника электродепо
по эксплуатации



Д.В. Ильин

Приложение 12



09.06.2023

АКТ

о практическом использовании результатов диссертационной работы

Маркевич Агаты Владимировны

Основные результаты диссертационной работы Маркевич Агаты Владимировны могут найти применение в рамках внедрения программного обеспечения для повышения эффективности загрузки персонала, занятого в проектировании, отладке, внедрении, сопровождении и модификации элементов автоматизированных информационно-управляющих систем.

В ходе внедрения автоматизированной системы построения графика работы проектных команд могут быть реализованы:

- предложенная автором методология автоматизации построения графика работы проектных команд, в основе которой лежат декомпозиция задач проекта и распределение ответственности за их выполнение между членами команды;
- автоматизированные процедуры, которые на текущий момент выполняются в неавтоматизированном режиме, а именно:
 - определение состава команды на основе решения многокритериальной задачи, учитывающей необходимость нахождения компромисса между потребностью в минимизации затрат на человеческие ресурсы и ограничениями на время выполнения проекта;
 - построение графика работы проектной команды в условиях заданной последовательности выполнения задач, учет квалификации трудовых ресурсов и связанной с ней стоимости ресурсов;
 - определение загрузки сотрудников, задействованных в выполнении проекта при одновременном выполнении одной задачи несколькими людьми или выполнении нескольких задач одним человеком;
 - учет особенностей определения производительности сотрудников при командной работе.



Разработанные автором принципы построения системы, формализации, алгоритмы и модели являются основой для создания универсального для различных проектов математического и программного обеспечения, позволяющего оперативно составлять и анализировать график работ команды на одном или нескольких параллельных проектах.

Предложенные математическое и программное обеспечения можно рекомендовать к внедрению как основу для формирования внутренней команды специалистов и бюджета проекта при проектировании, отладке, внедрении, сопровождении и модификации элементов автоматизированных информационно-управляющих систем и автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Директор по техническому и технологическому развитию

АО ЕВРАЗ Ванадий Тула



Н.В. Власюк

Приложение 13

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор РУТ (МИИТ)



В.С. Тимонин

« 01 » сентября 2023 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертации

Маркевич Агаты Владимировны

«Интеллектуальная система построения графика работы машинистов метрополитена»

Результаты, полученные Маркевич Агатой Владимировной в рамках исследования при подготовке диссертации, используются:

– в методическом обеспечении дисциплин «Интеллектуальные системы управления на транспорте», «Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте»;

– в ходе научно-исследовательской работы и подготовки выпускных квалификационных работ по направлениям подготовки 27.03.04 – «Управление в технических системах» (профиль «Системы, методы и средства цифровизации и управления», бакалавриат) и 27.04.04 – «Управление в технических системах» (программа «Интеллектуальное управление в транспортных системах», магистратура).

Заведующий кафедрой «Управление и защита информации»,
д.т.н., профессор

Л.А. Баранов

Доцент кафедры «Управление и защита информации»,
к.т.н., доцент

А.И. Сафронов