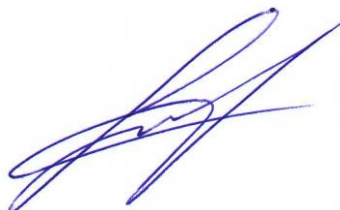


ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

На правах рукописи

СКОВРОН ИГОРЬ ЯРОСЛАВОВИЧ



УДК 656.212

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
Бобровский Владимир Ильич,
доктор технических наук, профессор

Днепропетровск 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ	
1.1. Совершенствование технического оснащения для формирования многогранных составов	13
1.2. Совершенствование технологии формирования многогранных составов на железных дорогах	24
1.3. Методы исследования процесса формирования многогранных составов	38
1.4. Выводы к разделу	44
РАЗДЕЛ 2 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ	
2.1. Моделирование структуры местного вагонопотока	45
2.2. Методика определения логических номеров групп многогранных составов	48
2.3. Формализация методов формирования многогранных составов	50
2.4. Схема формирования многогранных составов	57
2.5. Функциональная модель процесса формирования многогранных составов	59
2.6. Идентификация и оценка адекватности разработанной модели	67
2.7. Выводы к разделу	71
РАЗДЕЛ 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ	
3.1. Совершенствование методики сокращения начальной неупорядоченности исходного многогранных составов	73
3.2. Определение зависимостей продолжительности формирования многогранных составов от параметров состава и технического оснащения	79
3.3. Выбор рациональной схемы формирования многогранных составов	90
3.4. Повышение эффективности получения ограниченной выборки схем	103
3.5. Анализ множества схем	110

3.6. Рекомендации к практическому применению разработанной модели	117
3.7. Выводы к разделу	119

РАЗДЕЛ 4 ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ НА ДВУСТОРОННЕМ СОРТИРОВОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ.....	122
--	-----

4.1. Конструкция и технология работы двусторонней горки	122
4.2. Имитационная модель процесса расформирования составов на горке малой мощности.....	126
4.3. Исследование и выбор рациональных параметров конструкции двусторонней горки	135
4.4. Формализация технологии формирования многогруппных составов с использованием двусторонней горки.....	144
4.5. Функциональное моделирование процесса формирования многогруппных составов с использованием двусторонней горки	153
4.6. Выводы к разделу	158

РАЗДЕЛ 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	159
--	-----

5.1. Методика определения экономической эффективности.....	159
5.2. Определение сравнительной экономической эффективности совершенствования процесса формирования многогруппных составов	164
5.3. Определение сравнительной экономической эффективности двустороннего вспомогательного сортировочного устройства.....	166
5.4. Выводы к разделу	170

ВЫВОДЫ	171
--------------	-----

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	174
---------------------------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ А	188
--------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	193
-------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ В	201
--------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ Г	210
--------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ Д	218
--------------------	-----

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АРМ	– автоматизированное рабочее место
ВСУ	– вспомогательное сортировочное устройство
ДНГ	– действительный номер группы
ДСМ	– двойной ступенчатый метод
ДСМА	– адаптированный двойной ступенчатый метод
ДВСУ	– двустороннее вспомогательное сортировочное устройство
ГММ	– горка малой мощности
ГрП	– группировочный парк
КМ	– комбинаторный метод
КМА	– адаптированный комбинаторный метод
ЛНГ	– логический номер группы
ЛНП	– логический номер пути
МРН	– метод равномерного нарастания
МРН	– адаптированный метод равномерного нарастания
РМ	– распределительный метод
РМА	– адаптированный распределительный метод
ОДР	– область допустимых режимов
ОСГ	– основная сортировочная горка
ОСМ	– основной ступенчатый метод
ОСМА	– адаптированный основной ступенчатый метод
ОСП	– основной сортировочный парк
ОСУ	– основное сортировочное устройство
ПВ	– полувагон
ПФЭ	– полный факторный эксперимент
СУ	– сортировочное устройство
ТП	– тормозная позиция
Х/П	– ходовой путь

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Железнодорожные станции являются одним из главных элементов транспортной инфраструктуры железных дорог и важным звеном в удовлетворении потребностей государства и населения в перевозках.

В современных рыночных условиях с целью обеспечения высокой конкурентоспособности железнодорожного транспорта необходимо снижать уровень стоимости его услуг. Это может вызвать необходимость реконструкции существующих станций и совершенствования технологии ее работы.

Повышение эффективности функционирования железнодорожных станций возможно за счет приведения их конструкции и технологии в соответствие с объемами работы. Указанная цель может быть достигнута путем концентрации сортировочной работы на сетевых станциях с механизированными горками, а также сосредоточения маневровой работы по подборке групп местных вагонов по грузовым фронтам на несетевых сортировочных и участковых станциях. Такая концентрация маневровой работы приводит к необходимости формирования многогруппных составов в условиях недостаточного числа путей.

Формирование составов, особенно многогруппных, является одним из наиболее трудоемких элементов процесса переработки вагонов на станциях и существенно влияет на сроки доставки грузов. В связи с этим с целью уменьшения продолжительности нахождения вагонов на станциях, снижения себестоимости перевозки грузов и, как следствие, повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта, необходимо совершенствование процесса формирования многогруппных составов.

Практическому решению поставленной задачи посвящено значительное количество научных публикаций, в которых приведены технические и технологические предложения по интенсификации процесса формирования многогруппных составов. В то же время в большинстве опубликованных работ приводятся описания технических решений и методов формирования практически без анализа и сравнительной

оценки их эффективности. Также отсутствуют рекомендации по выбору рационального метода формирования в конкретных условиях.

Таким образом, исследование и совершенствование технологии и технических средств формирования многогруппных составов на основе функционального моделирования этого процесса является актуальной научно-прикладной проблемой.

Связь работы с научными программами, работами, темами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития железнодорожной отрасли, которые определены в Государственной целевой программе реформирования железнодорожного транспорта (постановление Кабинета Министров Украины от 16.12.2009 №1390), а также связана с НИР, выполненными Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна «Автоматизация проектирования железнодорожных станций» (государственный регистрационный номер (№ госрегистрации) 0105U00180), «Теоретические исследования, разработка методов и технологических алгоритмов управления процессом расформирования составов на сортировочных горках» (№ госрегистрации 0107U001827), «Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов на станциях» (№ госрегистрации 0109U000480), в которых автор принимал участие в качестве исполнителя и соавтора отчетов.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение эффективности процесса формирования многогруппных составов за счёт сокращения количества маневровых передвижений, уменьшения расходов времени и энергетических ресурсов, и, как следствие, соответствующих эксплуатационных затрат станции. Указанная цель может быть достигнута путем выбора рационального плана маневровой работы для конкретного многогруппного состава в оперативных условиях, а также за счет совершенствования технических средств для формирования составов.

В связи с этим в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ направлений повышения эффективности процесса формирования многогруппных составов на станциях.

2. Анализ и формализация существующих методов формирования многогранных составов; разработка методики формализации схем формирования составов для различных методов и способов получения их множеств.

3. Построение функциональной модели процесса формирования многогранных составов различными методами с помощью существующих технических средств; идентификация модели и проверка ее адекватности.

4. Исследование процесса формирования многогранных составов, разработка метода совершенствования технологии формирования путем выбора рациональных схемы и метода формирования многогранных составов, разработка рекомендаций по их использованию при формировании реальных составов с использованием соответствующего технического оснащения.

5. Анализ конструкции существующих сортировочных устройств; поиск оптимальных параметров профиля предложенного двустороннего вспомогательного сортировочного устройства.

6. Формализация и исследование процесса формирования многогранных составов на двусторонней горке; адаптация существующих методов формирования многогранных составов к двусторонней сортировке.

7. Определение сравнительной экономической эффективности рассмотренных методов формирования на различных сортировочных устройствах.

Объектом исследования является процесс формирования многогранных составов на станции.

Предмет исследования – взаимосвязь технологии формирования многогранных составов, их параметров, а также характеристик соответствующих технических средств с эксплуатационными и экономическими показателями.

Методы исследования. Методы теории вероятности и математической статистики использовались для анализа структуры местного вагонопотока и формирования случайных потоков многогранных составов.

Методы комбинаторной математики использовались для формализации процесса формирования многогранных составов различными методами и построения его функциональной модели.

Методы планирования экспериментов и регрессионного анализа использовались для проверки адекватности разработанной модели процесса формирования многогруппных составов.

Методы оптимизации были использованы для получения оптимальных параметров профиля двустороннего вспомогательного сортировочного устройства.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Впервые разработан и формализован метод двустороннего формирования многогруппных составов, который позволяет сократить объем маневровой работы и время ее выполнения.

2. Впервые решена задача определения оптимального профиля специализированного двустороннего сортировочного устройства, позволяющего повысить качество процесса формирования многогруппных составов.

3. Усовершенствована функциональная модель процесса формирования многогруппных составов за счет расширения количества анализируемых схем и методов формирования, что, в отличие от существующих, позволяет сократить продолжительность формирования таких составов.

4. Усовершенствована имитационная модель процесса расформирования составов за счет изменения системы управления движением отцепов, что, в отличие от существующих, позволяет выбрать оптимальный режим торможения отцепов на горках малой мощности, которые оборудованы одной или двумя тормозными позициями.

5. Получил дальнейшее развитие метод определения рациональной схемы формирования конкретного многогруппного состава за счет совершенствования системы генерирования и анализа множества схем, что позволяет сократить продолжительность формирования этого состава.

Практическое значение полученных результатов. Научные результаты, полученные в диссертационной работе, выводы и рекомендации, а также разработанные модели и методы могут быть использованы для оперативного управления процессом формирования многогруппных составов на станциях. Это позволит определить для каждого состава рациональные метод и схему формирования с учетом

имеющегося количества путей и, таким образом, получить план маневровой работы с этим составом. На основе предложенных методов разработаны алгоритмы и программное обеспечение для автоматизированного решения задачи совершенствования технологии формирования многогруппных составов. Для внедрения предложенного метода на станциях необходимо включить разработанное программное обеспечение в состав АРМ маневрового диспетчера станции, что позволит существенно сократить общую продолжительность формирования составов. Реализация предложенного метода в АРМ оперативно-диспетчерского персонала не требует существенных капитальных вложений, и, в то же время, позволяет получить план маневровой работы, использование которого будет способствовать значительному сокращению расходов на маневровую работу как с многогруппными составами, так и в целом по станции. Усовершенствована имитационная модель процесса расформирования составов на горках малой мощности, а также разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее выполнять оценку конструкции и режимов расформирования составов. Авторские права на конструкцию и технологию работы предложенного двустороннего сортировочного устройства защищены соответствующими патентами на полезные модели.

В настоящее время полученные результаты использованы:

1. При разработке рекомендаций по оценке и выбору вариантов технологии работы сортировочного комплекса станции Нижнеднепровск-Узел Приднепровской железной дороги.

2. В учебном процессе при подготовке студентов факультета «Управление процессами перевозок» и во время дипломного проектирования.

Практическое внедрение результатов работы подтверждается соответствующими документами, которые приведены в приложениях к диссертации.

Личный вклад автора. Все научные положения, разработки и результаты теоретических и экспериментальных исследований, выносимых на защиту, получены лично автором.

Статьи [2, 5] опубликованы единолично. В основных статьях, опубликованных в соавторстве, личный вклад автора следующий. В работе [1] выполнено формали-

зацию методов формирования многогруппных составов для создания функциональной модели этого процесса; с помощью данной модели выполнены соответствующие исследования. В статье [3] исследован метод генерирования исходного множества схем, а также усовершенствован поиск рациональной из них. В статье [4] предложена конструкция двустороннего сортировочного устройства малой мощности; формализован метод выполнения формирования многогруппных составов с помощью двустороннего вспомогательного сортировочного устройства.

Апробация результатов диссертации. Основные материалы и результаты диссертации докладывались и получили одобрение на: 5-й международной научной конференции «Проблемы экономики транспорта» (ДНУЖТ, 2003 г.); 73-й, 76-й и 77-й международных научно-технических конференциях «Развитие научной и инновационной деятельности на транспорте» (УкрДАЖТ, 2011, 2014, 2015 гг.); 65-й, 67-й, 69-й, 71-й, 72-й и 73-й международных научно-практических конференциях «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (ДНУЖТ, 2005, 2007, 2009, 2011, 2013 гг.); 3-й научно-практической конференции «Интеграция Украины в международную транспортную систему» (ДНУЖТ, 2011 г.); 1-й и 2-й международных научно-практических конференциях «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (ДНУЖТ, 2012, 2013 гг.); международной научно-технической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» (МИИТ, 2014 г.); 7-й международной научно-практической конференции «Трансэлектроника 2014» (ДНУЖТ, 2014 г.); научно-практической конференции «Развитие теории и практики функционирования железнодорожных станций и узлов» (ДНУЖТ, 2014 г.). В полном объеме диссертация докладывалась и была одобрена в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна на межкафедральном научном семинаре (2015 г.).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 26 научных работ: 5 научных статей, из которых 4 статьи в специализированных изданиях, утвержденных ВАК Украины и 1 статья в иностранном издании, 18 тезисов докладов в материалах и тезисах международных конференций, а также 3 патента на полезные мо-

дели: №56315 «Устройство для формирования многогруппных составов», №55826 «Способ формирования многогруппных составов на основном и вспомогательном сортировочных устройствах» и №80281 «Устройство для укладки на пути тормозных башмаков».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и 5 приложений. Полный объем работы - 222 страницы, из которых основной текст находится на 187 страницах, содержащих 35 рисунков и 30 таблиц; список использованных источников из 123 наименований изложен на 13 страницах; приложения изложены на 35 страницах.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

С целью обеспечения постоянного высокого уровня конкурентоспособности железнодорожного транспорта необходимо непрерывное совершенствование как железнодорожной инфраструктуры так и технологии эксплуатации ее элементов. Это позволит обеспечить высокий уровень рентабельности за счет снижения себестоимости процесса перевозок, улучшения транспортного обслуживания клиентов, обеспечения рационального проектирования, развития и эффективной эксплуатации железнодорожных станций. При этом существенное значение имеет оптимизация технических средств и технологии работы станций по формированию многогранных составов (сборных поездов, групповых технических маршрутов, подач на подъездные пути, грузовые фронты, причалы).

В транспортной науке для исследования различных технологических процессов применяются имитационные модели, а также разные методы их оценки. Они позволяют исследовать функционирование рассматриваемого объекта в различных технологических ситуациях, выбрать для проектирования целесообразное путевое развитие, выбрать рациональный тип и конструкцию сортировочного устройства для формирования многогранных составов с учетом специфики работы конкретной станции. Для анализа имитационных моделей применяют известные статистические методы обработки результатов моделирования.

Для получения адекватных результатов моделирования одним из важнейших факторов является обеспечение достоверности исходной информации о многогранных составах и технических средствах их формирования.

Задачами настоящей диссертационной работы является обобщение существующего опыта и дальнейшее развитие теории формирования многогранных составов. Последнее включает совершенствование методов и поиска рациональной схемы формирования, сравнительный анализ и выработка рекомендаций рационального их применения, совершенствование технических средств формирования составов и др.

Методологической основой реализации указанных выше этапов развития ста-

нет соответствующий математический аппарат. Исследования станционных процессов, происходящих при формировании многогруппных составов, будут выполняться путем имитационного моделирования с помощью средств вычислительной техники.

В связи с вышеизложенным, в данном разделе выполнен анализ работ ученых, посвященных проблемам организации и совершенствования процесса формирования многогруппных составов, выбору мощности и схемы путевого развития, типа и конструкции сортировочного устройства, применения имитационных моделей. В частности, рассмотрен ряд разнообразных методов формирования многогруппных составов, которые широко применяются на зарубежных железных дорогах, но практически не используются в моделях для исследования данного процесса, созданных учеными постсоветских стран.

На основе проведенного анализа будут определены пути возможного совершенствования существующих моделей данного процесса.

1.1. Совершенствование технического оснащения для формирования многогруппных составов

Формирование многогруппных составов является значительно более трудоёмким процессом, по сравнению с формированием одногруппных составов, вследствие чего техническое оснащение станции, предназначенное, в основном, для последних, не всегда эффективно использовать для формирования многогруппных составов.

С целью совершенствования указанного процесса рядом учёных предлагались различные технические решения для формирования многогруппных составов, среди которых наиболее интересными представляются секционирование группировочных путей, совершенствование конструкции основных сортировочных устройств, а также использование специализированных сортировочных устройств для многогруппной подборки.

1.1.1. Секционирование путей для формирования многогруппных составов. Формирование многогруппных составов на вытяжном пути является весьма продолжительным процессом, особенно при числе групп значительно превышающем число имеющихся для формирования путей.

Исходя из этого М. Н. Норматовым и В. И. Аксёновым в 1974 г. была предложена секционирование путей сортировочных парков станции для переработки местного вагонопотока и обоснована его эффективность. Указанное конструктивное решение позволяло формировать многогруппные составы практически без необходимости выполнения вытягивания/сборки и повторной сортировки вагонов (рис. 1.1) [1].

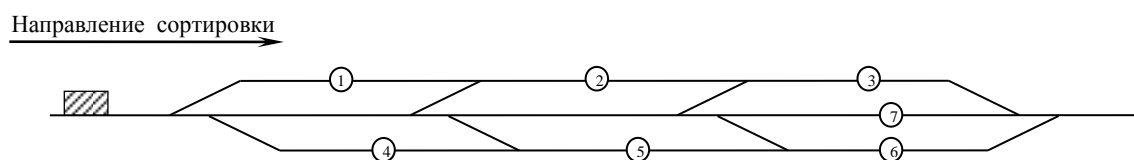


Рис. 1.1. Пример секционирования путей для многогруппной подборки вагонов

На рис. 1.1 показан пример секционирования трех путей для подборки вагонов, которые позволяют без повторной сортировки формировать состав с числом групп, не превышающим семь (номера групп вагонов строго закреплены за соответствующими секциями). Однако следует отметить, что кроме ограниченности числа групп в составе при формировании на указанном устройстве, также важным условием является примерно одинаковая длина каждой группы, не превышающая длины закрепленной за этой группой секции. Сортировка вагонов осуществляется только их осаживанием с вытяжного пути на соответствующую секцию с помощью маневрового локомотива. Использование профилированного вытяжного пути или полугорки позволило бы сократить продолжительность сортировки вагонов по секциям, однако, возникает проблема докатывания вагонов, имеющих назначение на дальние секции (секции №№3, 6, 7) ввиду незначительной высоты сортировочного устройства. Кроме того, к недостаткам предложенного устройства следует отнести необходимость точного учета параметров групп вагонов (которые могут меняться от состава к составу) при проектировании данного технического оснащения.

Подобное решение для формирования двух- и трехгруппных поездов в 1984 г. было предложено Л. В. Абуладзе и А. Г. Биченовым [2]. Авторами указывалось, что ввиду недостаточного путевого развития сортировочных парков для массового формирования групповых поездов, секционирование путей сортировочного парка и достаточная их длина позволит формировать как одногруппные так и груп-

повые поезда, что обеспечит сокращение как простоев вагонов на станции так и объема маневровой работы на вытяжках формирования. Авторами также были предложены выражения для определения длины сортировочных путей предназначенных для накопления групповых поездов.

Дальнейшее развитие вопрос специализации сортировочных путей нашел в научных работах Г. Ш. Телии. Им были предложены различные конструкции подгорочного парка для формирования групповых поездов и переработки местных вагонов [3–6].

Следует отметить что, несмотря на эффективность и экономичность, секционирование путей сортировочных или группировочных парков практически не используется для ускорения формирования групповых поездов при строительстве новых станций.

1.1.2. Совершенствование основных сортировочных устройств станции с целью интенсификации формирования многогруппных составов. В 60-е годы на железных дорогах формирование многогруппных поездов было незначительным ввиду непригодности для этого схем сортировочных станций.

Н. П. Галатченко в 1967 г. отмечает низкий уровень концентрации сортировочной работы: свыше 50% сортировочной работы выполняется на слаборазвитых безгорочных (преимущественно участковых) станциях, из-за распыления сортировочной работы за время рейса вагон перерабатывается в среднем 4 раза [7]. Также отмечается невозможность осуществления в широких масштабах групповой маршрутизации, подборки вагонов по районам выгрузки грузовых станций, портов, подъездных путей.

Размещение сортировочных станций и их путевое развитие того времени не отвечали условиям концентрации маневровой работы и рациональной организации перевозок. Автором предлагается сократить до минимума строительство новых станций малой мощности и закрыть ряд безгорочных станций. Взамен этого, сэкономленные средства следует направить, по мнению Н. П. Галатченко, на развитие опорных и постройку мощных односторонних сортировочных станций с максимальным развитием сортировочных парков (вплоть до 80–100 путей) при одной горке, их новейшее техническое оснащение и автоматизацию. Расчетный срок окупае-

мости предложенных мероприятий составил 2,1 года. По результатам проведенных исследований автором была предложена формула для определения экономически целесообразного числа путей в сортировочном парке (вплоть до 63 путей для механизированной горки и до 86 путей для автоматизированной горки с параллельным роспуском с двух путей) [7].

В то же время автором не была детально исследована с помощью каких-либо моделей работа станции с одной сортировочной горкой и наличием в сортировочном парке столь значительного числа путей. Кроме этого, подборка местных вагонов в основном сортировочном парке неизбежно отрицательно скажется на перерабатывающей способности основной горки для массового вагонопотока.

Совершенствованием схем сортировочных станций в тот период занимались и другие ученые и специалисты-железнодорожники, среди которых необходимо отметить работы А. В. Абуладзе, Е. А. Вертухова, А. М. Карпова, Л. Б. Тишкова и ряда других.

Н. К. Сологуб и А. Б. Фокеев занимались исследованиями проблемы выбора технического оснащения и размещения сортировочных устройств для переработки местных вагонопотоков в крупнейших узлах. В отличие от Н. П. Галатченко, авторы считают в ряде случаев целесообразным развивать техническое оснащение грузовых станций узла, на которых и будет происходить детальная подборка вагонов по грузовым фронтам. Среди других вариантов рассмотрено также и применение основной сортировочной горки сортировочной станции узла для детальной подборки вагонов, а также выполнение частичной подборки на сортировочной станции с последующей деталью подборкой на грузовой станции. Целесообразный вариант организации работы с местными вагонами в узлах выбирается в зависимости от размера местного вагонопотока, величины состава передаточного поезда и коэффициента загрузки горки [8–10].

1.1.3. Использование специализированных сортировочных устройств. С целью ускорения работы по формированию многогруппных составов и освобождения мощностей основного сортировочного устройства для переработки массового потока вагонов на крупных сортировочных станциях используются вспомогательные сортировочные устройства, оборудованные в большинстве случаев горкой ма-

лой мощности. Подборка групп вагонов многогруппных составов в таком случае выполняется, как правило, на путях отдельных группировочных или группировочно-сортировочных парков. Такое решение позволяет формировать многогруппные составы изолированно от выполнения прочей маневровой работы на станции.

За период с 1968 по 1973 гг. учеными транспорта было предложено ряд заслуживающих внимания решений по размещению дополнительных сортировочных устройств на односторонних сортировочных станциях. Обычно такие устройства предусматривают горку малой мощности (ГММ) и сортировочно-группировочный парк.

В это же время А. А. Иванько предложил для выполнения вспомогательной сортировочной работы использовать горку малой мощности в хвосте основного сортировочного парка [11]. При этом для подборки групп вагонов использовались части путей сортировочного парка. Ввиду этого интересным представляется организация безопасной работы этой горки и разделение маневровой работы на путях указанного парка.

Обобщая опыт станции Люблино-Сортировочное Московской дороги, а также других передовых сортировочных станций, инженер А. Н. Сухопяткин отметил, что применение дополнительных сортировочных устройств ускоряет формирование поездов из вагонов местного потока, позволяет механизировать и автоматизировать данный процесс [12–14]. В одной из своих публикаций автором были представлены формулы для определения рационального путевого развития указанных парков в зависимости от количества формируемых на станции многогруппных составов. Согласно полученным расчетам, при формировании 5–50 многогруппных составов, в среднем из 6 групп, необходимо в сортировочно-группировочном парке наличие от 6 до 24 путей [14].

Кроме этого, А. Н. Сухопяткиным были исследованы вопросы расчета рациональной длины путей группировочных парков, которая зависит от распределения количества вагонов в группе. С целью сокращения существенной разницы в длине путей было предложено группу с наибольшим числом вагонов расположить на двух путях, но в таком случае требуется увеличение расчетного числа путей [15, 16].

Как следует из публикаций А. Н. Сухопяткина, формирование многогруппных составов на дополнительном сортировочном устройстве выполнялось без повторной сортировки вагонов, что неизбежно требовало значительного путевого развития. Также, не указывалась необходимость использования специальных методов формирования многогруппных составов, которые уже применялись на других станциях и позволяли значительно сократить потребность в путях в указанном парке, а часто и продолжительность процесса формирования.

Инженер Э. В. Бакумов в 1976 г. предложил метод определения числа и длины путей вспомогательных сортировочных парков [17], а в 1988 г. им были разработаны методические указания по проектированию вспомогательных сортировочных устройств [18].

С целью повышения эффективности переработки местных вагонов в 1977 г. группой ученых было предложено использование последовательно расположенных основного и вспомогательного сортировочных устройств. Сущность данного предложения заключается в том, что при расформировании состава с преимущественной долей транзитных вагонов на отдельных путях основного сортировочного парка накапливаются местные вагоны с последующей их сортировкой на вспомогательном сортировочном устройстве непосредственно по назначениям. В случае, когда в составе преобладает доля местных вагонов, такой состав пропускается без переработки на вспомогательное сортировочное устройство, где расформируется по назначениям, причем транзитные вагоны направляются на отсевные пути вспомогательного сортировочного парка, откуда со временем передаются на повторную переработку на основное сортировочное устройство, с целью последующей сортировки их на пути основного сортировочного парка по назначениям [19].

Недостатком предложенного устройства является существенная ресурсоемкость реконструкционных работ для его реализации, а также избыточный пробег как местных так и транзитных вагонов.

Альтернативное устройство формирования многогруппных составов предложено в [20]. Данное устройство состоит из основной сортировочной горки и расположенных последовательно к ней сортировочно-группировочного и сборно-отправочного парков. Сортировочно-группировочный парк оснащен вагонозамедли-

телями и располагается на двух элементах профиля, первый из которых имеет неускоряющий уклон, а второй – ускоряющий уклон. Функционирование данного сортировочного устройства предусматривает предварительное накопление вагонов на путях сортировочно-группировочного парка в процессе расформирования состава с горки и дальнейший регулируемый пропуск вагонов на сборно-отправочные пути. В этом случае на таких путях многогруппный состав будет формироваться в автоматическом режиме.

Однако, реализация данного устройства сопряжена со значительными капитальными затратами, и, кроме этого, нельзя не отметить ограничение максимального числа групп вагонов формируемых составов числом путей сортировочно-группировочного парка.

Анализ работы ряда сортировочных станций, выполненный в 1979 г. У. Т. Тулягановым и У. Т. Бахадировым, позволил разработать рекомендации по выбору рациональной специализации основной и вспомогательной горок, а также целесообразного размещения устройств, предназначенных для формирования многогруппных составов [21]. В 1980 г. У. Т. Туляганов и С. С. Мацкель также занимались вопросом специализации основной и вспомогательной горок для формирования поездов разных категорий [22].

В 1981 г. Н. П. Берлином были выполнены расчеты и оптимизация различных параметров сортировочных устройств станций, занятых переработкой местных вагонов [23].

В. В. Григорьев в 1983 – 1987 гг. публикует ряд работ, посвященных использованию вспомогательных сортировочных устройств применительно к формированию многогруппных составов [24–27]. Автор отмечает несовершенство существующей в то время технологии формирования многогруппных поездов, которая обуславливала значительные затраты маневровых средств, высокую загрузку хвостовых горловин сортировочных парков и вытяжных путей. Также В. В. Григорьевым была отмечена ограниченность возможностей сортировочных станций, построенных по традиционным схемам, что приводило к массовому формированию одногруппных поездов в ущерб возможной многогруппности.

В качестве одного из возможных путей совершенствования сортировочной работы с многогруппными составами автором предложено применение вспомогательных сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов. Им были разработаны разные схемы односторонних сортировочных станций со вспомогательными сортировочными устройствами; выбор той или иной схемы определялся рядом факторов. Также выполнялось исследование вопросов, связанных с определением числа и длины путей группировочного парка [27].

Обобщенный опыт ученых и практиков железнодорожного транспорта того времени был сконцентрирован в ряде методических указаний по совершенствованию конструкции и оптимизации работы горочных сортировочных устройств, предназначенных для работы с многогруппными составами [28–30].

А. А. Абрамов в [31, 32] аргументирует необходимость концентрации сортировочной работы по многогруппной подборке на крупных сортировочных станциях, но для этих целей должно использоваться не основное сортировочное устройство, а дополнительное, с местным сортировочным парком. Основным фактором, влияющим на параметры этих парков, по мнению автора, является среднее число назначений местных вагонов в составе и число вагонов в каждой группе. На основе изученной статистическими методами структуры передаточных поездов, им были получены аналитические выражения для определения количества и длины путей местных сортировочных парков.

В [33, 34] также рассмотрено использование вспомогательных сортировочных устройств для интенсификации процесса подборки групп вагонов. При этом авторами предложены схемы эффективного расположения таких устройств как на односторонних, так и на двухсторонних сортировочных станциях. В [34] было отмечено значительную долю местных вагонов, перерабатываемых на сортировочных станциях (до 40-50 %). Выходом из проблемы интенсификации переработки местного вагонопотока станет, по мнению авторов, использование вспомогательных сортировочных устройств малой мощности, которые следует расположить вблизи грузовых и промышленных районов. Каких-либо рекомендаций относительно совершенствования процесса переработки местных вагонов в [34] не предлагалось.

Существенный вклад в решение проблемы оптимизации конструкции сортировочных горок, а также повышения эффективности их эксплуатации сделал современный ученый Огарь А. Н. [35, 36].

Таким образом, ввиду имеющегося значительного числа работ, посвященных конструкции вспомогательных сортировочных устройств, можно сделать вывод о существенном практическом интересе к данному вопросу как со стороны ученых, так и со стороны инженеров-железнодорожников. В то же время, несмотря на значительное число публикаций, посвященных вспомогательным сортировочным устройствам, вопросу оптимизации технологии формирования многогруппных составов на таких устройствах уделено слишком мало внимания, что обуславливает необходимость дальнейшего изучения указанного вопроса.

1.1.4. Технические мероприятия по увеличению производительности работы с многогруппными составами на зарубежных железных дорогах. Одним из мероприятий по совершенствованию маневровой работы с многогруппными составами за рубежом, реализация которых требует существенных экономических ресурсов, является применение вспомогательных сортировочных устройств.

В середине 60-х годов на станциях железных дорог стран Бенилюкса, а также Португалии и Швейцарии с суточной переработкой на горке до 2500 вагонов формирование многогруппных составов рекомендовалось выполнять на свободных концах путей сортировочного парка в горловине, противоположной горочной. Если же суточная переработка превышала 2500 вагонов, было рекомендовано часть путей сортировочного парка выделить в группировочный парк для формирования только многогруппных составов. Данный группировочный парк должен оборудоваться вспомогательной горкой малой мощности, расположенной со стороны хвостовой горловины основного сортировочного парка [37].

На ряде станций французских железных дорог того времени для интенсификации маневровой работы по формированию многогруппных составов также применялись вспомогательные сортировочные устройства. Как считают специалисты Франции, группировочные парки с длинными путями позволяют обеспечить одновременное формирование нескольких составов с помощью одной лишь сортировки вагонов, исключая все рейсы по их сборке, требующие больших затрат времени [37].

В противоположность французским, на станциях железных дорог Италии группировочные парки, как правило, состояли из группы коротких тупиковых путей; при этом количество последних было большим, чем на станциях железных дорог Франции [37].

Приблизительно в это же время вспомогательные сортировочные устройства широко стали применять для формирования многогруппных составов на крупных сортировочных станциях Великобритании, а также США и Канады. Как правило сортировка вагонов с этих вспомогательных сортировочных устройств выполнялась на пути группировочного парка, имеющие небольшую длину. Число таких путей определялось максимально возможным числом групп многогруппного состава и степенью детализации назначений вагонов и могло достигать 10-ти, а в особых случаях и свыше 20-ти путей; длина этих путей рассчитывалась, исходя из характера работы станции и количества вагонов в группах, и могла быть равной от 100 м до 300 м [37].

В 1976 г. С. Рау в [38] отметил достаточную трудоемкость сортировочного процесса без использования горки. Учитывая это им было предложено ряд схем сортировочных станций для увеличения эффективности их работы по формированию многогруппных составов.

Одним из заслуживающих внимания предложений автора можно отметить схему сортировочной станции с горкой и вспомогательной полугоркой, применение которой позволит значительно сократить объем маневровой работы с местными вагонами (рис. 1.2).

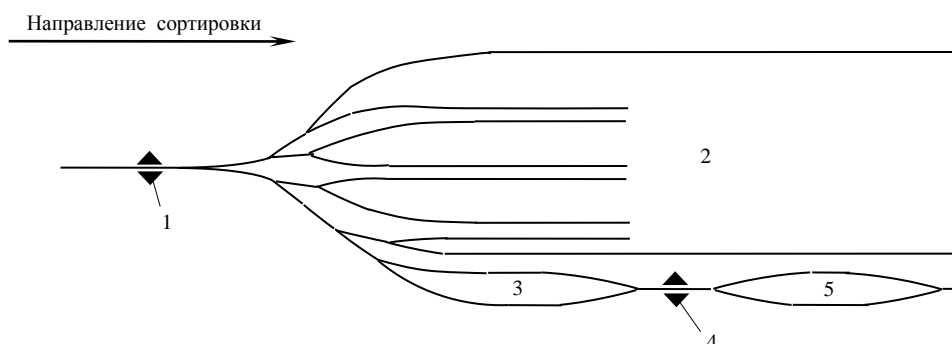


Рис. 1.2. Схема сортировочной станции с горкой и полугоркой

Использование данной схемы предполагает предварительное накопление местных вагонов на путях вспомогательного парка (рис. 1.2, 3), после чего они сортиру-

ются с полугорки (рис. 1.2, 4) на пути вспомогательного сортировочного парка (рис. 1.2, 5). При необходимости вагоны повторно подаются на полугорку до полного формирования многогруппного состава. При этом практически не используются мощности основной сортировочной горки (рис. 1.2, 1) и основного подгорочного парка (рис. 1.2, 2).

Не смотря на высокую эффективность применения данной схемы по сравнению с традиционных схем, она все же не давала возможности полностью устранить маневровую работу по многогруппной подборке вагонов из процесса формирования массового потока составов.

С. Рау в [38] указывает на то, что на железных дорогах Японии в этот период нашла применение более эффективная схема путей, получившая название «елочка» (рис. 1.3). Данная конструкция располагалась последовательно с сортировочной горкой (рис. 1.3, 1) и позволяла пропускать вагоны определенных групп на выделенную им секцию. Для того чтобы вагоны не могли проследовать с одной секции путей на другую, на конце каждой секции устанавливалось убирающееся устройство для остановки вагонов – стоппер (рис. 1.3, 2); данное устройство приводилось в нерабочее положение на последнем этапе формирования – при соединении всех вагонов, находящихся на левом и правом путях, их вытягивании и соединении двух получившихся частей состава.

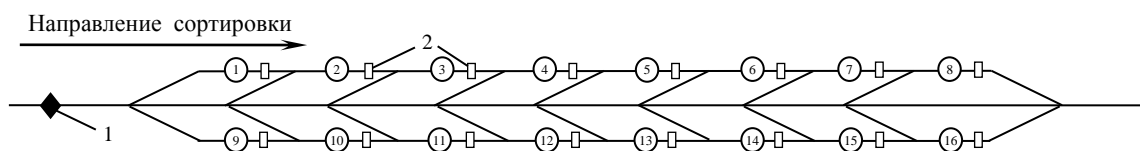


Рис. 1.3. Схема путей типа «елочка»

Автор отмечает, что подобное устройство требует выделения значительных средств на его сооружение и содержание. Кроме того, в случае наличия большего числа вагонов на какое-либо назначение, чем помещается на соответствующей ему секции, поточность процесса формирования нарушится. С целью недопущения подобных случаев необходимо еще на этапе проектирования устройства учитывать структуру формирующихся многогруппных составов. Также следует проводить обучение руководителей маневров действиям в указанной ситуации: можно использовать

незанятую секцию ввиду отсутствия вагонов на закрепленное за ней назначение в данном поезде, или же незанятую секцию между секциями для 8-й и 16-й групп.

Представленная на рис. 1.3 схема позволила избежать повторной переработки вагонов и значительно снизила загрузку локомотива, в связи с чем появилась возможность получить экономию эксплуатационных расходов по формированию многогруппных составов.

Автором в [38] также была предложена схема сортировочной станции, учитывающая все недостатки существующих схем, но она представляется все же довольно сложной как в конструкционном так и в эксплуатационном плане.

1.2. Совершенствование технологии формирования многогруппных составов на железных дорогах

Процесс формирования многогруппных составов на существующих станциях является весьма трудоемким процессом ввиду выделения ограниченного числа путей для этих целей, в то время как число назначений в многогруппных составах может оказаться довольно значительным. Такое несоответствие параметров составов и технического оснащения станций приводит к необходимости выполнения многократных повторных сортировок вагонов многогруппного состава, что с неизбежностью вызывает существенный рост продолжительности указанного процесса.

Таким образом, с целью интенсификации процесса формирования многогруппных составов, наряду с совершенствованием технического оснащения станций, на которых выполняется подборка вагонов, также целесообразным представляется детальное изучение технологии формирования многогруппных составов с целью ее оптимизации. Такой подход позволит сократить расходы на маневровую работу на 35–40%; при этом он практически не требует существенных капитальных вложений.

1.2.1. Совершенствование процесса формирования многогруппных составов на станциях. Совершенствование процесса формирования многогруппных составов на станциях отечественных железных дорог проявляется в использовании различных специальных способов и методов формирования многогруппных составов.

Первым в транспортной науке над проблемой оптимизации технологии формирования многогруппных составов работал Н. Н. Шабалин. В своих

публикациях [39, 40] Н. Н. Шабалиным была предложена методика выбора рациональной технологии формирования многогруппных составов. При этом для формирования, по мнению автора, целесообразно использовать концы сортировочных путей. Критерием оптимальности технологии формирования многогруппных составов считался минимальный коэффициент повторной переработки вагонов.

Однако автором не был сформулирован и не был обоснован принцип образования множества различных технологий формирования многогруппных составов, из которых выбирается рациональная.

Дальнейшее развитие идея Н. Н. Шабалина нашла в 1974 г. в работе В. И. Аксенова и М. Н. Норматова [1]. Наряду с предложенным секционированием путей сортировочного парка (см. рис. 1.1) авторами были предложена и технология формирования многогруппных составов на указанном устройстве.

В [41] инженером В. Н. Зубковым была рассмотрена проблема уменьшения времени формирования сборных поездов. Автором приводятся конкретные примеры сокращения времени формирования многогруппных составов за счет укрупнения назначений групп вагонов, возможность для которого появилась благодаря концентрации грузовой работы на опорных станциях. Также отмечена эффективность расформирования многогруппных составов частями (по 15–20 ваг) и предварительное отсеивание длинных групп вагонов, что по мнению автора снизит время формирования состава и позволит лучше использовать мощность маневрового локомотива. В то же время, автор не предлагает использовать какой-либо метод формирования, а выполнять его с учетом величины групп вагонов и их взаимного расположения, основываясь на опыте составителя.

В 1981 г. В. М. Николашин предлагает способ выбора оптимальной очередности операций по расформированию поездов с местными вагонами на грузовых станциях который позволит сократить простой указанных вагонов на этих станциях [42].

Вопросами организации местных вагонопотоков также занимался Т. Р. Нурмухамедов [43, 44]. Автором, помимо прочего, была предложена методика расчета плана формирования местных поездов в районах местной работы с учетом неравномерности вагонопотоков.

В 1985 г. в научных трудах было подчеркнута наличие проблемы формирования многогруппных составов, указано необходимость существенного ее совершенствования. В данной публикации авторами выполнен анализ структуры групп вагонов многогруппного состава, отмечено, в частности, что число вагонов в разных группах не одинаково, а порядка 20–30 % вагонов состава могут находиться в одной наиболее крупной группе. Такие максимальные группы рекомендуется сразу же оставлять на отдельный путь в начале формирования с целью уменьшения их перемещения в его процессе.

В 1985 г. были составлены инструктивно-методические указания по разработке и внедрению новой технологии формирования многогруппных составов [45], которая получила название комбинаторного метода. Дальнейшее развитие данный метод получил в работе В. М. Макарова [46], в которой, в частности, указывается целесообразность перехода от действительных номеров групп начального состава к условным номерам, что позволяет учесть начальную упорядоченность состава, и, как следствие, уменьшить число групп, требующих упорядочивания. Также в [46] приводится способ получения условных номеров групп.

В [45, 46] комбинаторный метод представлен в виде различных схем формирования для разного числа групп в составе на ограниченном числе путей (2–4 пути).

Для проверки эффективности комбинаторного метода сотрудниками ВНИИЖТа под руководством профессора Е. М. Тишкина было выполнено практическое внедрение разработанной технологии на безгорочной сортировочной станции с параллельным расположением парков – станции Бескудниково. Присоединение к станции нескольких десятков подъездных путей на которых размещалось около 100 фронтов погрузки и выгрузки, а также недостаточное путевое развитие самой станции привели к необходимости формирования столь значительного объема местного вагонопотока на 4-х путях. В этой связи данная станция с большим напряжением выполняла объемные и качественные показатели [47].

Решение авторов о применении комбинаторного метода на данной станции основывалось на характерных свойствах последнего. Именно данный метод позволял обеспечить:

- минимальное число рейсов при формировании составов на ограниченном числе сортировочных путей (2–4 путей);
- эффективность применения для составителей любой квалификации;
- одновременное формирование нескольких составов;
- формирование одного или нескольких составов двумя локомотивами с двух сторон одновременно;
- эффективность формирования многогруппных составов со значительным числом групп (5 групп и более) на ограниченном числе путей (не более 4-х путей).

Как указывается в [47], применение данного метода на станции Бескудниково позволило сократить простой местного вагона на 15–20 %.

Успешное внедрение комбинаторного метода привлекло к данной проблеме многих ученых и специалистов-железнодорожников. В этом же году появились публикации посвященные упомянутой выше проблеме [48, 49], в которых авторами указывается значительная сложность формирования многогруппных составов даже опытными руководителями маневров ввиду наличия значительного числа возможных схем формирования и необходимости оперативного выбора рационального решения.

В отличие от [45–47] в [49] отмечается наличие на сети дорог достаточно большого числа станций не с ограниченным (2–4 пути), а со значительным числом (5 путей и более) путей или свободных их концов. Авторами, на базе зарубежного опыта, разработан способ формирования многогруппных поездов на значительном числе сортировочных путей (или их концов) с использованием макета единого сортировочного листка. Данный макет может быть подготовлен заранее, а перед формированием состава необходимо выполнить его корректировку, после чего получить готовый план маневровой работы. Также, по указанному макету появлялась возможность определения ориентировочной длины путей (или их свободных концов) используемых для формирования на каждом его этапе.

Метод формирования, предложенный в [49] предполагает начальное отсеивание групп вагонов с нечетными номерами, в то время как группы с четными номерами сортируются по определенному принципу. На втором этапе группы с нечетными номерами добавляются к группам с меньшими четными номерами, а потом

происходит расстановка групп вагонов в определенном порядке. С помощью данного метода формирование многогруппного состава выполняется за число этапов, на единицу превышающее число путей, используемых для формирования. Авторами так же, как и в [47] указывается целесообразность выполнения одновременного формирования многогруппных составов.

Следует отметить, что при использовании указанного в [49] метода для формирования многогруппных составов из определенного числа групп необходимо обеспечить наличие строго соответствующего числа путей, в отличие от [45–47], где возможно формирование состава с произвольным числом групп на любом путевом развитии (2 пути и более). С другой стороны, если использовать для формирования конкретное число путей, то число перемещенных вагонов и число этапов формирования указанными методами будет практически одинаковым, что дает возможность предположить о сравнимой продолжительности формирования многогруппного состава данными методами.

В этом же году появляется работа И. В. Дерюгина и В. М. Макарова, в которой приводится технология выполнения формирования многогруппных составов (со значительным числом групп) с двух сторон одновременно двумя локомотивами [50]; указаны соответствующие схемы формирования на ограниченном числе путей. Как отмечается авторами, основной проблемой при выполнении формирования двумя локомотивами одновременно является согласованность выполняемых ими операций ввиду необходимости обеспечения безопасности маневровой работы и уменьшения непроизводительных простоев локомотивов.

В 1987 г. В. В. Григорьев в [27] также рассматривает проблему формирования многогруппных составов. В качестве целесообразного комплексного решения по ускорению процесса формирования автором было предложено использование вспомогательного сортировочного устройства в комплексе с эффективными методами формирования составов. Автором отмечается недостаток комбинаторного метода, приведенного в [45–47], заключающийся в ограничении путевого развития 4-мя путями и отсутствии планов подборки групп вагонов при большем числе путей. В. В. Григорьевым было предложено использовать два метода: комбинаторный метод должен применяться при ограниченном числе путей, а метод последовательного вы-

деления групп – при формировании на числе путей более 4-х, что позволит, по мнению автора, достичь дальнейшего уменьшения времени формирования как это происходит при увеличении числа путей с 2-х до 4-х.

В 1988 г. в работе О. А. Олейника [51] было отмечено, что интенсификация местной работы является комплексной задачей, включающая в себя ряд слагаемых, среди которых: совершенствование диспетчерского руководства обработкой местных вагонов, внедрение комбинаторного метода формирования многогруппных составов, применение малых сортировочных устройств, вычислительной техники, а также концентрация сортировочной работы на опорных станциях. Автором подчеркивалось, что использование одного лишь комбинаторного метода вне связи с остальными составляющими не приведет к существенному уменьшению простоя местных вагонов, в то же время в [45] основное внимание посвящено лишь использованию только комбинаторного метода.

О. А. Олейником отмечалась высокая эффективность учета фактического расположения групп вагонов в составе перед началом его формирования с целью уменьшения числа повторных сортировок. Это станет возможным если выполнить предварительную замену действительных номеров групп условными номерами путем объединения групп с последовательными номерами в одну группу. Автор критически высказывался об ограничении путевого развития для формирования многогруппных составов 4-мя путями в [45] вне зависимости от числа групп в таких составах. Как отмечает О. А. Олейник в некоторых случаях из-за подобного ограничения время формирования многогруппного состава после внедрения комбинаторного метода увеличилось. Кроме того в [45] при составлении схем формирования не учитывается неодинаковое число вагонов в группах, что не дает возможность избежать избыточной переработки максимальных групп, которые могут содержать до 20–30 % общего числа вагонов состава. Учитывая все изложенное ранее, в [51] подчеркивается необходимость дополнительной оптимизации планов маневровой работы, полученных по указанным в [45] рекомендациям.

Эффективность применения комбинаторного метода была отмечена и белорусскими железнодорожниками в 1989 г. Как было отмечено в [52] на станции Центролит был внедрен комбинаторный метод сортировки для ускорения подборки

групп вагонов на грузовые фронты. После этого маневровый диспетчер выполнял только предварительный анализ многогруппного состава, требующего формирования, заключающийся в присваивании номеров групп в порядке очередности подачи на грузовые фронты. Далее, в зависимости от числа групп и количества используемых путей, диспетчер выбирал соответствующую схему сортировки вагонов и определял, на какие пути они будут сортироваться при расформировании передачи. Таким образом, комплекс организационных мероприятий, проведенный на данной станции, позволил на имеющихся производственных мощностях без дополнительных капитальных вложений получить значительный эффект в использовании подвижного состава и повышении производительности труда.

В [53] инженером Ю. Н. Гусевым была предложена методика оценки схемы формирования многогруппных составов на сортировочной горке. В качестве критериев оптимальности автором предлагалось использовать минимум маневровых перемещений и минимум переработанных в их процессе вагонов.

Ограничение схем формирования многогруппных составов комбинаторным методом с учетом максимального числа путей, не превышающего 4-х [45], вызвало критические высказывания ряда ученых и практиков [27, 49, 51]. Это требовало дальнейшего изучения данного метода с целью его совершенствования и универсализации.

В 1990 г. профессор В. И. Бобровский в [54] показал, что формирование многогруппного состава с помощью комбинаторного метода на конкретном числе путей за соответствующее число этапов возможно разными способами, которые были названы схемой формирования. Как отмечалось автором, комбинаторный метод на самом деле состоит из множества схем формирования, величина которого определяется числом групп вагонов в конкретном составе и максимальным числом групп, которое может быть сформировано на конкретном числе путей без изменения числа этапов формирования. Возможность значительного числа схем формирования появляется благодаря поочередному пропуску каждого номера группы, что приводит к другому порядку распределения вагонов на пути, а, соответственно, и к другому объему маневровой работы. Выбор рациональной схемы формирования из получен-

ного множества позволяет получить план маневровой работы с наилучшими значениями выбранного критерия.

Общим недостатком рассмотренных выше публикаций является использование для формирования многогруппных составов единственного метода, преимущественно комбинаторного. В некоторых публикациях рассматриваются и другие методы [27, 49], но при выполнении формирования в определенных условиях всегда используется лишь один из них. Таким образом, в рассматриваемых работах не была выполнена сравнительная оценка эффективности использования различных методов формирования.

В 2000 г. В. И. Бобровским был предложен распределительный метод формирования многогруппных составов, который базируется на отличном от комбинаторного принципе поразрядной сортировки чисел [55]. Для этих методов была выполнена сравнительная оценка эффективности при формировании многогруппного состава как на вытяжном пути так и на горке. При этом, так же как и в [54], для нового метода рассмотрено множество схем формирования, поиск среди которых рациональной схемы позволяет обеспечить наилучшее значение выбранного критерия.

В [55] в качестве критерия оптимальности использовано время формирования многогруппного состава, как единый комплексный показатель. Действительно, можно предположить, что изменение времени формирования непосредственно зависит от изменения объема маневровой работы, на который оказывают влияние такие показатели, как число перемещенных или переработанных вагонов, число рейсов или этапов формирования, а также ряд пробежных показателей. С другой стороны, уменьшение времени формирования многогруппного состава с большой долей вероятности вызовет уменьшение эксплуатационных расходов на данный процесс.

Также в [55] отмечена целесообразность учета начальной упорядоченности состава, что позволяет уменьшить общее число групп в формируемом составе, практически вдвое.

В итоге следует отметить что сравнение рациональных схем формирования комбинаторного и распределительного методов позволяет получить план формирования многогруппных составов, обеспечивающий минимальное время его реализации. Как указывается в [55], на вытяжном пути лучшим в большинстве случаев ока-

зался распределительный метод; при этом комбинаторный метод оказался конкурентоспособным лишь в половине случаев при их формировании на числе путей меньше 4-х. В то же время на горке, где большую часть времени формирования составляет сборка вагонов лучшие результаты достигались при использовании комбинаторного метода.

В качестве замечаний к данной публикации можно отнести то, что автор в [55] рассматривает лишь один способ выполнения замены действительных номеров групп условными без доказательства его эффективности; в то же время существует несколько вариантов нумерации групп. Кроме этого, при определении множества схем рассматриваются лишь те из них, в которых число этапов формирования останется неизменным. В то же время при увеличении числа этапов появляется возможность существенно расширить начальное множество схем, что возможно позволит найти схему, при реализации которой время формирования будет меньшим, чем по схеме выбранной из начального множества.

В 2002 г. в [56] приведена новая технология и схема расчета в АСУ сортировочной станции рациональной последовательности маневровых операций по сортировке и подборке вагонов по станциям назначения и грузовым фронтам при формировании многогруппных поездов.

Гренкевич О. О. в работах [57, 58], посвященных рассматриваемой проблеме, приводит сравнительную эффективность способов формирования многогруппных составов. В качестве критерия оптимальности метода приняты эксплуатационные расходы на маневровую работу, которые, по мнению автора, наиболее полно охватывают все стороны процесса формирования и являются обобщенным показателем.

Основываясь на полученных результатах исследований в [58] сделан ряд выводов:

- наименьшие расходы на маневровую работу обеспечиваются при использовании ступенчатого дублирующего способа сортировки;
- при числе групп до 9-ти использование комбинаторного способа нецелесообразно, поскольку сопряжено со значительными расходами при выполнении маневровой работы;

– при увеличении числа групп до 9-ти и более эффективность использования комбинаторного способа возрастает, особенно при большом числе задействованных сортировочных путей.

В качестве замечания к публикациям [57, 58] следует отметить недостаточную целостность предложенной технологии формирования. Кроме того, не совсем понятным представляется повышение эффективности использования комбинаторного метода при росте числа путей, особенно с учетом того, что он был разработан как раз для выполнения эффективного формирования на ограниченном числе путей.

В научных публикациях Яновского П. А. много внимания уделено совершенствованию различных технологических процессов на железнодорожных станциях и участках; применительно к рассматриваемой в данной диссертации проблеме особый интерес вызывают работы [59, 60] в которых предложены пути совершенствования работы с местными вагонами.

Значительное число публикаций по проблеме формирования многогруппных составов свидетельствует о высокой степени заинтересованности железных дорог в поиске эффективных путей ее решения. Однако, не смотря на это, практическое внедрение предложенных мероприятий по повышению интенсивности работы с многогруппными составами было весьма незначительным.

Учитывая все сказанное выше, следует отметить высокую практическую необходимость выработки комплексного оптимизационного решения на базе наиболее известных методов. При этом необходимо использовать рациональные способы уменьшения числа групп начального состава, целесообразную технологию работы с максимальной группой, выбор наилучшей схемы из множества. Кроме того, в оперативных условиях у диспетчерского персонала должна быть обеспечена возможность варьирования критерием оптимальности при выборе лучшей схемы формирования.

1.2.2. Технологические мероприятия увеличения эффективности работы с многогруппными составами. К технологическим мероприятиям увеличения эффективности работы с многогруппными составами относится использование различных способов и методов их формирования.

Среди большого разнообразия существующих методов можно выделить методы формирования многогруппного состава одним или несколькими локомотивами, а так-

же методы одновременного формирования нескольких составов. Причем методы могут выбираться исходя из наличного числа и длины путей для формирования, конструкции горловины группировочного парка, типа используемого сортировочного устройства, параметров вытяжных путей и маневрового локомотива. Указанные методы различаются временем формирования состава с их помощью, числом перемещаемых вагонов в процессе формирования, степенью использования длины и числа сортировочных путей и рядом пробных показателей.

В 1963 г. эффективную технологию формирования многогруппных составов за рубежом в [61] отметил Месарош Пал. В своей работе он приводит описание как методов формирования, которые успешно применялись на венгерских железных дорогах (ступенной и одновременный методы), так и ряда весьма перспективных методов (пропорциональный, ступенчатый основной, ступенчатый дублирующий и ступенчатый максимальный методы, и метод сдваивания групп).

Также им была отмечена возможность использования упорядоченного расположения некоторых групп в исходном составе, в связи с чем такие группы стоит рассматривать как одну на протяжении всего процесса формирования, однако ответственность за эффективность использования начальной упорядоченности положена на работников маневровых бригад и, как следствие, существенно зависит от их опыта.

Кроме этого, автором были получены зависимости между числом групп, числом используемых путей и числом полных сортировок состава (этапов). Также автор выполнил сравнительную оценку эффективности представленных методов по критерию минимума энергетических расходов [61]. В качестве обобщенных рекомендаций доктор Месарош Пал представил таблицу, в которой, в зависимости от числа групп и используемых путей, предложены рациональные методы формирования по минимуму указанного выше критерия.

В то же время, следует отметить, что подобный выбор метода формирования не позволит обеспечить максимальной эффективности его применения. Более рациональным шагом, особенно в наше время, представляется поиск рационального плана маневровой работы для каждого конкретного состава с учетом особенностей кон-

кретного технического оснащения в оперативных условиях; решение подобной задачи в сжатые сроки возможно только с применением ЭВМ.

В этот же период на станциях швейцарских железных дорог для формирования многогруппных составов применялся только так называемый метод подгруппировочных парков, который сейчас широко используется и у нас: сначала все вагоны такого состава накапливались на одном пути, после чего сортировались на концах путей, число которых соответствовало числу групп в составе. В конце 60-х годов XX века группой ученых был предложен метод одновременного формирования, который позволял за три-четыре этапа сформировать состав со значительным числом групп [62].

На польских железных дорогах того времени в процессе формирования многогруппных составов также успешно применялись несколько методов формирования. Наиболее распространенный основной метод был разработан и формализован польскими специалистами Яном Йонски и Зигмундом Мышка. Одна из разновидностей указанного метода соответствует степенному методу, который широко используется на железных дорогах Чехословакии и Венгрии [62].

Составление плана маневровой работы по многогруппной подборке вагонов на железных дорогах Франции с использованием графического метода было отмечено в 1975 г. Е. В. Архангельским и Я. Д. Фарберовым [63]. Реализация данного метода позволяла сформировать многогруппный состав за минимальное число этапов. Как указывают авторы, составленный план маневровой работы обеспечивает минимальное время сортировки и сборки частей формируемого состава.

Однако, следует заметить, что в некоторых случаях при формировании многогруппного состава может возникнуть необходимость в большем числе путей, чем выделенное для этого процесса. Также в [63] не рассматривается возможность, в определенных случаях, получения альтернативных вариантов планов маневровой работы и выбора из них рационального.

Проведенный французскими специалистами анализ работы основных сортировочных станций Франции показал, что значительное сокращение маневровых передвижений, связанных с перестановкой и соединением отдельных частей формируемых составов, может быть достигнуто при одновременном формировании нескольких многогруппных поездов. По этому методу вагоны, включаемые в многогрупп-

ные поезда, направляются на пути накопления основного сортировочного парка в соответствии с предварительно составленной программой, которая предусматривает обеспечение необходимой композиции всех многогруппных поездов при минимальном числе маневровых рейсов [64].

Как указывается автором, внедрение метода одновременного формирования нескольких многогруппных поездов на большинстве основных сортировочных станций Франции, по сравнению с последовательным их формированием, позволило не менее чем на 25 % уменьшить время потраченное на маневры с одним составом. В рассматриваемой публикации Е. В. Архангельским была указана возможность реализации данного метода как на основной горке, так и на вспомогательной, а также при их согласованной работе.

В работе группы соавторов под руководством Ф. Флодра [65] приведен ряд методов, с помощью которых можно оптимизировать процесс формирования многогруппных составов. Часть из указанных методов предназначена для использования при формировании многогруппного состава одним локомотивом. Среди них имеются методы, обеспечивающие установленное число этапов но требующие для этого строго определенного числа путей (основной и двойной ступенчатый), или, методы, позволяющие эффективно сформировать многогруппный состав на минимальном числе путей, требующий многократной повторной сортировки (равномерного нарастания, сдваивания групп и простой ступенчатый методы), либо же, наоборот, методы, с помощью которых можно с минимальной повторной сортировкой сформировать состав, но при условии наличия достаточного числа путей или концов путей (классические ступенчатые методы – основной и усовершенствованный).

Кроме указанных существуют синхронные методы, предназначенные для формирования нескольких многогруппных составов на большое число направлений. Синхронное формирование может быть одно- и двусторонним, а среди синхронных методов выделяют простые, основные и потенциальные. Выбор метода зависит от числа вагонов и их групп, мощности путевого развития, длины вытяжных путей, типа локомотива, а также от энергозатрат.

Следует подчеркнуть, что в [65] приведено лишь описание каждого метода, которое содержит словесный или схематический алгоритм сборки и сортировки вагонов

при его использовании. В то же время, авторами не было выработано рекомендаций касательно использования того или иного метода для формирования конкретного состава, обеспечивающего оптимальное значение выбранного критерия.

Минимизировать число передвижений локомотива, вследствие чего уменьшатся общие затраты на маневровую работу по формированию многогруппных составов предлагается автором в [66, 67] с помощью метода Q-learning, применяемого при разработке систем поддержки принятия на базе искусственного интеллекта. Одним из преимуществ Q-learning является возможность оценить ожидаемую полезность доступных действий, не формируя модели окружающей среды. Этот подход может применяться в ситуациях, которые можно представить в виде марковского процесса принятия решений. Методологические основы сортировки вагонов изложены в [68]. Однако, в случае применения данной методики необходимо реализовать полную автоматизацию работы подсистем станции, что потребует существенных вложений.

В ряде публикаций зарубежных учёных и специалистов [69–71] рассматривается использование робастного управления при выполнении сортировки вагонов на станции, однако системы, обладающие свойством робастности, называются робастными (грубыми) системами и, как правило, применяются для управления объектами с неизвестной или неполной математической моделью, и содержащими неопределённости. Указанная особенность обуславливает определенные ограничения в использовании робастного управления на станциях.

Учитывая все изложенное выше, можно сделать вывод о том что на зарубежных железных дорогах разработано и успешно применяются значительное число различных методов формирования многогруппных составов. Кроме этого, для ускорения данного процесса в большинстве случаев рекомендуется его выполнение с помощью специализированных сортировочных устройств; приводятся различные схемы сортировочных станций, оптимизированные для многогруппной подборки.

Однако практически во всех рассмотренных публикациях о зарубежном опыте приводится лишь описательная характеристика методов формирования, а рекомендации по их применению носят абстрактный характер. Это не дает возможности объективно оценить преимущества и недостатки рассматриваемых методов при формировании различных составов в конкретных условиях. В то же время, именно

возможность оперативной выработки рекомендаций по формированию многогруппных составов с обеспечением лучших значений заданного критерия остро необходима в случае реализации прогрессивной технологии на производстве. Учитывая сложность рассматриваемой проблемы, получить подобные оптимизационные решения возможно лишь с применением средств вычислительной техники.

1.3. Методы исследования процесса формирования многогруппных составов

Проведенный анализ публикаций о проблеме формирования многогруппных составов позволил обнаружить высокую ее актуальность. В то же время, не смотря на наличие большого числа работ по указанной проблеме, в них недостаточное внимание уделено сравнительному анализу предложенных вариантов для выбора целесообразных технических средств и технологии формирования.

С целью выполнения сравнительной оценки эффективности предложенных мероприятий необходимо использовать модель процесса формирования многогруппных составов. С учетом специфики функционирования железнодорожного транспорта для его исследования и анализа наиболее целесообразными представляются имитационные модели; для их составления необходимо формализовать каждое технологическое звено рассматриваемого процесса.

1.3.1. Способы анализа структуры местного вагонопотока. При разработке имитационной модели процесса формирования многогруппных составов на конкретной станции важно иметь возможность получения начальных составов для исследования, структура которых максимально точно соответствует структуре аналогичных составов, формируемых на указанной станции. С этой целью на объекте исследования необходимо выполнить ряд соответствующих наблюдений, статистическая обработка результатов которых позволит получить некоторую информацию о структуре местного вагонопотока.

В 1966 г. Н. М. Иванков исследовал влияние структуры перерабатываемого на станции вагонопотока на использование сортировочных путей [72].

Методика изучения и анализа структуры местного вагонопотока приедена в [73]. В данной публикации излагается методика обработки на ЭВМ данных о мест-

ных вагонопотоках с целью организации системы их переработки на технических станциях и массового формирования многогруппных составов.

Аналогичный вопрос изучается и применяется для моделирования исходных многогруппных составов при выполнении исследований с помощью имитационной модели в [74].

Таким образом, для получения результатов моделирования процесса формирования, наиболее близких к реальным, очень важным является корректное представление данных о структуре местного вагонопотока.

1.3.2. Формализация методов формирования многогруппных составов.

Среди рассмотренных публикаций единицы содержали формализованное представление методов формирования многогруппных составов, тогда как большинство из них (например [44, 47, 61, 62, 65]) носили описательный характер.

В 1987 г. Е. М. Тишкин выполнил формализацию разработанного ранее комбинаторного метода [75]. В данной публикации под названием комбинаторного метода были представлены несколько различных стратегий.

Для первой и второй стратегии в [75] приводились выражения, с помощью которых можно было рассчитать для конкретного состава рациональное число сортировочных путей, общее число этапов формирования, а также число групп, которые будут направлены на каждый путь на первом этапе. К сожалению, последнее выражение не было предназначено для расчетов на втором и последующих этапах формирования. Стоит отметить, что представленные выражения не охватывали все существенные связи между параметрами состава и технического оснащения, что не позволит использовать их для моделирования процесса формирования.

Две последние стратегии представляли собственно комбинаторный способ формирования состава на 2-х и 3-х сортировочных путях. Пример формирования состава с их помощью, а также их описательная характеристика приводилась ранее в [45].

В рассматриваемой работе была выполнена также сравнительная оценка представленных стратегий по числу этапов формирования и переработок на одну группу.

Спустя два года, Е. М. Тишкин развил свое математическое описание комбинаторного метода [76]. В данной публикации были учтены недостатки [75], что дало

возможность использовать полученные авторами выражения для выполнения моделирования процесса формирования многогруппного состава.

В данной работе также было выполнено обоснование целесообразности учета начальной упорядоченности многогруппного состава, которое было предложено еще В. М. Макаровым в [46] без обоснования эффективности такого решения.

В 2000 г. В. И. Бобровским был представлен распределительный метод [55]. В данном труде также была выполнена его формализация, в ходе которой было получено множество выражений, характеризующих зависимости между параметрами состава и путевого развития. Наиболее интересным, среди прочих, представляется выражение для определения номера пути следования определенной группы на произвольном этапе формирования. Это позволяет данную публикацию, как и [76], использовать как математический базис при разработке имитационной модели процесса формирования многогруппных составов.

Кроме этого, автором была выполнена оценка степени сокращения числа групп в многогруппном составе после учета начальной его упорядоченности; была указана целесообразность такой перенумерации ввиду сокращения числа групп в составе, подлежащего формированию, практически вдвое.

1.3.3. Критерии оценки процесса формирования многогруппных составов.

Немаловажным представляется вопрос о выборе критерия оптимальности, с помощью которого сравниваются рассматриваемые технологические или технические предложения. От правильного выбора критерия зависит достоверность получения результатов.

В транспортной науке известны несколько подходов к оценке предложений по интенсификации многогруппной подборки вагонов.

Некоторые авторы считают необходимым сравнивать предлагаемые варианты с помощью коэффициента повторной переработки вагонов. Например, в [39, 40] с помощью минимума данного коэффициента выбирается лучший вариант специализации путей для групповых поездов. Аналогичный критерий использовался в [32, 77] для выбора оптимального варианта сортировочного листка.

Известны работы, в которых роль критерия выполняли минимальные маневровые передвижения. Именно данный подход использовался в [78] для выбора ра-

ционального варианта маневровой работы.

В других публикациях в качестве критерия используют сразу два показателя: минимальное количество маневровых передвижений и минимальное количество переработанных в процессе формирования вагонов. Данный критерий применяется в [53] для поиска рационального варианта плана работы составителя.

Наконец, в качестве оценки различных стратегий комбинаторного метода в [75] применяется сравнение их по числу этапов формирования и по числу переработок на одну группу. Аналогичные оценочные показатели использовались и в следующей работе автора в качестве критерия оптимальности метода формирования [76].

Следует заметить, что выбор способа формирования многогруппного состава по рассмотренным выше критериям не может гарантировать минимального времени или минимальных расходов на данный процесс, так как в данных количественных показателях не учитывается фактическая длина маневровых перемещений, что зависит непосредственно от местных условий и конструкции технического устройства формирования.

Ввиду этого, ряд ученых считают необходимым оценивать различные решения с помощью времени формирования многогруппных составов. Так в [27, 55] осуществляется выбор лучшего метода формирования с помощью именно этого критерия. Также, в данной работе, он применяется и для определения рациональной схемы формирования по каждому методу. В [63] этот же критерий использован для оценки составленного плана маневровой работы, однако получение множества планов и выбора оптимального по указанному критерию в данной публикации не выполняется.

В ряде публикаций критерием оптимальности способа производства маневровых операций являются эксплуатационные расходы [57, 58]. Автором считается, что все указанные показатели не достаточно точно описывают реальный процесс формирования составов, так как не учитывают энергетических затрат маневрового локомотива; особенно это представляется существенных при формировании с помощью сортировочной горки.

1.3.4. Имитационное моделирование процесса формирования многогруппных составов. Получение количественной оценки предложенных методов оптими-

зации какого-либо процесса возможно либо при его изучении непосредственно на объекте, либо при изучении модели данного процесса.

Процесс формирования многогруппных составов относится ко второй группе из приведенной выше классификации, поскольку выполнить необходимые исследования непосредственно на станции не представляется возможным в силу различных причин. Таким образом, для исследования рассматриваемого процесса с целью последующей оптимизации необходимо создание адекватной имитационной модели.

В конце 80-х годов XX века В. М. Макаров разработал имитационную модель формирования многогруппных составов комбинаторным способом [77]. Однако данная имитационная модель предназначалась лишь для оценки временных характеристик плана маневровой работы, созданного на основе одного метода. Задачи поиска рационального плана в каком-либо его множестве с помощью данной модели не решалась.

В [78] с помощью имитационной модели выполнялись исследования разных методов и схем формирования с целью получения рациональной технологии.

Имитационное моделирование используется также и в [79] для определения затрат на маневровую работу при формировании многогруппного состава с использованием тяговых расчетов.

Следует заметить, что применение тяговых расчетов для маневровой работы является весьма сложным ввиду отсутствия правил тяговых расчетов для маневровой работы. Кроме того, даже предположив обоснованность использования тяговых расчетов для моделирования формирования многогруппных составов, в его результате можно получить наиболее близкое реальному значение времени формирования по конкретному варианту маневровой работы, однако скорость расчета на такой модели будет чрезвычайно низка, что не позволит исследовать значительные варианты выполнения маневровой работы с целью поиска наиболее целесообразного.

1.3.5. Системы принятия решений в АРМ маневрового диспетчера. Поиск рационального технологического решения при формировании многогруппного состава является довольно сложной задачей. В то же время, для оперативного руководства данным процессом, маневровый диспетчер должен иметь возможность за очень короткий срок получить обоснованную рекомендацию его к дальнейшим действиям.

Подобная возможность появляется при полной интеграции имитационной модели в программное обеспечение соответствующего автоматизированного рабочего места. Лишь в таком случае представляется возможность получения необходимой информации непосредственно из АСУ, в которой должны находиться как все характеристики путевого развития станции, так и сведения о любых технологических операциях на ней.

Первыми попытками использования имитационных моделей для оценки предлагаемых технологических решений в производстве было создание системы «Электронный составитель» при участии В. М. Макарова. Данная система использовала нормативно-справочную информацию о последовательности обслуживания грузовых фронтов, вместимости сортировочных путей, длине горловин, а также оперативную информацию, например, натурные листы на прибывающие поезда, накопительные ведомости. С помощью данной информации рассчитывались параметры самого состава, рациональное число сортировочных путей и последовательность маневровых операций при формировании состава. Результат расчета выдавался в виде сортировочного листка. Недостатком данной системы, как уже указывалось выше, является отсутствие вариантных схем формирования. Это не позволяет оптимизировать процесс многогруппной подборки.

В [80] выполнен анализ ранее существовавших оптимизационных моделей процесса формирования, отмечены их узкие стороны, а также высказана необходимость разработки модели выбора в оперативных условиях рационального способа сортировки вагонов при формировании многогруппных составов с учетом всех указанных недостатков. При этом была подчеркнута необходимость рассмотрения нескольких вариантов технологии формирования многогруппных составов, а также выбора в качестве критерия оптимальности затрат на маневровую работу, как наиболее отражающего все нюансы процесса формирования на конкретной станции. Моделирование маневровых передвижений, по мнению авторов, должно выполняться с помощью тяговых расчетов.

Как было подчеркнуто выше, возможность применения тяговых расчетов для моделирования маневровых передвижений в условиях низких скоростей при постоянном их изменении требует дополнительных исследований.

Результаты анализа публикаций и постановка задачи были отображены в [81].

1.4. Выводы к разделу

Учитывая все изложенное выше, можно отметить следующее.

Учеными предлагались различные варианты интенсификации процесса формирования многогруппных составов, однако наиболее используемым оказался лишь комбинаторный метод, причем без какого-либо сравнения с другими методами. Единичные публикации, в которых предлагалось использовать в определенных случаях другие методы формирования, не были учтены в нормативных документах, и о внедрении их в производство не было получено никаких сведений.

В то же время, на зарубежных железных дорогах успешно применялось множество методов, а также технических решений, способствовавших снижению продолжительности и расходов на маневровые работы.

В рассмотренных публикациях подчеркивалась значительная трудоемкость и энергозатратность формирования многогруппных составов. Учеными и специалистами железных дорог предлагались различные подходы к оптимизации указанного процесса. Однако, очень редко встречаются работы, позволяющие выполнить моделирование процесса формирования характерных для данной станции многогруппных составов с учетом всех параметров ее технического оснащения. Без наличия подобных моделей не представляется возможным получить сколь-нибудь объективную количественную оценку использования различных технико-технических оптимизационных решений для их сравнения и выбора рационального из них.

Таким образом, обобщая все изложенное выше, можно отметить необходимость создания и интеграции в производственный процесс моделей формирования многогруппных составов. Данные модели должны быть построены с использованием всех прогрессивных предложений, обеспечивающих минимизацию продолжительности рассматриваемого процесса, а это, несомненно, приведет к уменьшению соответствующих эксплуатационных расходов.

РАЗДЕЛ 2

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

Формирование составов, в особенности многогруппных, является одним из наиболее трудоемких элементов процесса переработки вагонов на станциях. Его сложность обусловлена необходимостью многократной сортировки вагонов, возникающей в условиях ограниченного числа сортировочных путей при большом числе групп в составе. При этом, как правило, существует значительное число возможных вариантов сортировки, среди которых необходимо найти рациональный.

Для выполнения исследований в диссертации предлагается использовать имитационную модель процесса формирования многогруппных составов, которая должна обеспечить:

- определение основных параметров многогруппного состава;
- учет начальной упорядоченности состава для минимизации объема маневровой работы;
- имитацию процесса формирования потока составов различными методами формирования при заданном техническом оснащении;
- определение основных показателей процесса формирования.

Для решения указанных выше задач имитационная модель должна иметь все данные о параметрах путевого развития и многогруппных составах, а также имитировать все операции по их формированию различными методами. Принципы представления и использования в модели сведений о путевом развитии, где выполняется формирование многогруппных составов, взяты из [74]. При расчете времени формирования учтены рекомендации [74, 82, 83].

2.1. Моделирование структуры местного вагонопотока

Вагонопоток, поступающий на конкретную станцию, характеризуется соотношением порожних и груженых вагонов, вагонов разных типов, назначений, начальной упорядоченности состава и др.

Для обеспечения адекватности результатов выполняемых исследований с помощью имитационной модели необходимо моделировать составы, основные характеристики которых максимально соответствуют характеристикам реальных составов на конкретных станциях.

2.1.1. Определение основных параметров структуры местного вагонопотока. Получение матриц условных вероятностей. Для получения в модели составов, адекватных реальным, необходимо выполнить исследование их структуры, а также весовых и других характеристик.

С этой целью в данной диссертационной работе производится расчет условных вероятностей появления основных характеристик отцепов.

Количество назначений вагонов в многогруппном составе в диссертации определяется путём использования геометрического распределения [74]. Сущность указанного подхода поясняется следующим примером. Предположим, что определенный вагон состава имеет определенное назначение; кроме того известна вероятность P того, что очередной вагон имеет аналогичное назначение; тогда вероятность того, что следующие за данным m вагонов имеют то же назначение, определяется геометрическим распределением:

$$P_m = p^m \cdot q, m = 0, 1, 2, \dots$$

где $q = 1 - p$ – вероятность того, что очередной вагон имеет отличающееся назначение.

Число назначений в составе при этом составит $k = m + 1$. Вероятность p находим с помощью выражения [74]:

$$p = 1 - \frac{1}{k}$$

Поток составов на станциях, для которых неизвестны данные о распределении назначений вагонов в составе, может быть получен при помощи среднего их числа \bar{k} , найденного для станций с аналогичными условиями.

2.1.2. Моделирование назначений вагонов многогруппного состава. Моделирование назначений вагонов многогруппного состава производится по матрице условных вероятностей путем сравнения случайного числа ξ_i с вероятностью появ-

ления вагона определенного назначения p_a , и в зависимости от получившегося назначения выполняется сравнение следующего равномерно распределенного случайного числа ξ_{i+1} с вероятностью появления некоторого назначения с учетом назначения предыдущего вагона p_{ab} .

Функция распределения назначений имеет следующий вид:

$$F(k) = 1 - p^k$$

Согласно [74], приравняем $F(m)$ случайному числу ξ_i из интервала $[0,1]$ и найдем функцию, обратную $F(m)$:

$$F(k) = 1 - p^k = \xi_i$$

Окончательно получим:

$$m = \left\lfloor \frac{\ln \xi_i}{\ln p} \right\rfloor, \quad k = m + 1,$$

где $\lfloor x \rfloor$ – операция взятия целой части числа x .

Найденные таким образом вероятности для моделирования удобно записать в виде прямоугольной матрицы $(N+1) \times N$:

$$P = \begin{bmatrix} P_{01} & P_{02} & \dots & P_{0j} & \dots & P_{0N} \\ P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & P_{Nj} & \dots & P_{NN} \end{bmatrix}$$

Для моделирования назначения очередного вагона состава (кроме первого) выбирается i -я строка матрицы, если предыдущий вагон следовал на i -е назначение. Для первого вагона состава всегда выбирается нулевая строка матрицы.

В предложенном в [74] методе поочередно моделируются назначения m вагонов состава; при этом автоматически получаются длинные отцепы, если смежные вагоны следуют на одно назначение.

Аналогичным образом выполняется моделирование типа вагонов состава, весовой категории, числа осей и пр.

2.2. Методика определения логических номеров групп многогруппного состава

Как отмечалось ранее при анализе публикаций, учет начальной упорядоченности многогруппного состава позволяет уменьшить число групп еще до начала формирования [46, 51, 54, 55, 74, 76]. Это становится возможным благодаря расположению в исходном составе всех вагонов предыдущего назначения перед вагонами следующего назначения, что позволяет объединить несколько таких назначений в одну группу. При этом полученная нумерация групп называется *условной* [46, 51, 76] или *логической* [54, 55, 74]; число логических номеров групп (ЛНГ) может быть не более числа действительных номеров групп (ДНГ) вагонов в составе, но, как правило, значительно меньше.

В свою очередь, уменьшение числа ЛНГ позволит уменьшить число маневровых передвижений, а значит и общую продолжительность формирования состава. При этом такая замена не требует расходов каких-либо ресурсов, а выполняется на уровне корректировки данных натурального листа вручную или же с помощью ЭВМ по заранее созданному алгоритму.

Представим многогруппный состав в качестве множества вагонов S . Как отмечалось в [51, 55, 74], данный состав всегда имеет группы вагонов различных назначений Γ ; общее число таких ДНГ равно k

$$S = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{k-1}, \Gamma_k\}$$

В результате формирования многогруппного состава все вагоны g -й группы (при $g = 1, 2, \dots, k-1, k$) должны находиться вместе, причем порядок их внутри группы может иметь либо не иметь значение. В таком случае, формирование состава из n вагонов можно рассматривать в математическом отношении как перестановку определенного множества номеров групп g_i каждого (i -го) из n вагонов с целью их упорядочения

$$S = \{g_1, g_2, \dots, g_{n-1}, g_n\} \quad (2.1)$$

Учитывая это, становится понятным тот факт, что с уменьшением общего числа групп вагонов k , потребность в выполнении перестановок в процессе форми-

рования в большинстве случаев уменьшится, что должно позволить снизить время его выполнения.

Алгоритм получения θ ЛНГ заключается в последовательном просмотре слева направо перестановки S [54]. Всего требуется выполнить θ просмотров перестановки S , чтобы прочитать все ее элементы последовательно в неубывающем порядке [82]. Так как при каждом просмотре перестановки получается одна логическая группа вагонов, то число просмотров θ и будет числом ЛНГ состава.

В [54] автором было доказана целесообразность замены ДНГ вагонов исходного состава g_i на их ЛНГ γ_i . Причем значение γ_i представляет собой на единицу уменьшенный номер чтения, при котором, с учетом неубывающего порядка, читается номер g_i . Ввиду этого состав S в представлении (2.1) можно заменить следующим списком ЛНГ

$$S^* = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{n-1}, \gamma_n\}, \text{ при } \gamma_i = 0, 1, \dots, \theta - 1, \theta \text{ и } i = 1, 2, \dots, n - 1, n \quad (2.2)$$

Причем, полученное число ЛНГ θ является случайной величиной и варьируется в определенном интервале $1 \leq \theta \leq k$

$$\theta = \begin{cases} k & \text{при } g_1 \geq g_2 \geq \dots \geq g_n \\ 1 & \text{при } g_1 < g_2 < \dots < g_n \end{cases} \quad (2.3)$$

В остальных случаях $1 < \theta < k$.

Из (2.3) следует, что при $\theta = 1$ состав является отсортированным по неубыванию номеров групп, следовательно, ни в каком формировании не нуждается. Абсолютно противоположная ситуация наблюдается когда $\theta = k$. В этом случае состав является отсортированным в невозрастающем порядке, а значит требуется его формирование, причем число групп останется прежним ввиду невозможности их минимизации, которая следует из алгоритма, использованного для этого. В этом случае справедливо следующее представление выражения (2.3)

$$S^* = \{\gamma_1 = g_1 - 1, \gamma_2 = g_2 - 1, \dots, \gamma_{n-1} = g_{n-1} - 1, \gamma_n = g_n - 1\}$$

В некоторых трудах определен весьма интересный показатель названный степенью сокращения числа групп $\delta = \theta / k \cdot 100\%$ [54, 55, 74]. Согласно выполненным в указанных публикациях исследований, данный показатель приблизительно равен

50 %, что позволяет предположить практически двукратное уменьшение числа групп по сравнению с начальным. Таким образом, выполненный анализ свидетельствует о целесообразности замены действительных номеров групп g_i логическими γ_i . Автором указанных публикаций был разработан алгоритм определения ЛНГ для вагонов исходного состава, основанный на преобразовании перестановок [55, 74]. Как указывалось в труде [82], число просмотров θ перестановки S равно числу возрастающих отрезков в перестановке S' , обратной к перестановке S .

Поставим в соответствие множеству S (2.1) множество целых чисел $S' = \{0, 1, \dots, n-2, n-1\}$. После этого выполним сортировку S' по возрастанию ключей, в качестве которых используются элементы g_i перестановки S . В результате получим обратную к S перестановку $S' = \{g'_1, g'_2, \dots, g'_{n-1}, g'_n\}$ при $g'_1 = 1, 2, \dots, n-1, n$ [82]. В перестановке S' выделяем возрастающие отрезки, например длиной l , тогда $g_{j-1} > g_j < g_{j+1} < \dots < g_{j+l-1} > g_{j+l}$, при $1 \leq j \leq n-l$; нумеруем выделенные отрезки последовательными номерами $\gamma'_i = 0, 1, \dots, \theta-2, \theta-1$. Данные номера представляют собой ЛНГ вагонов исходного состава. Для получения перестановки S^* из выражения (2.2) необходимо список γ'_i отсортировать по возрастанию значений ключа g'_i перестановки S' .

2.3. Формализация методов формирования многогруппных составов

На отечественных железных дорогах для формирования многогруппных составов широко применялся практически единственный метод – комбинаторный. Впервые он был внедрен на станции Бескудниково, где его эффективность была подтверждена, после чего его начали широко внедрять и на других станциях. Большинство работ отечественных ученых описывали применение данного метода для разных условий формирования. Лишь в единичных отечественных публикациях встречается предложение использовать другие методы. В то же время, на зарубежных железных дорогах еще с середины 60-х годов XX века успешно применялся целый ряд разнообразных методов интенсификации процесса многогруппной подборки.

Все множество существующих методов формирования многогруппных составов можно условно разделить на три группы: методы формирования отдельного состава одним локомотивом, синхронные методы формирования двумя локомотивами отдельного состава, и методы одновременного формирования нескольких составов двумя локомотивами. С учетом особенностей существующего технического оснащения и специфики работы несетевых сортировочных, участковых и грузовых станций, обслуживающих грузовые фронты и причалы, наиболее интересным представляется исследование методов, относящихся к первой группе.

Обобщая все сказанное выше, в диссертационной работе выполнена характеристика и формализация ряда наиболее распространенных на территории постсоветских стран и за рубежом методов формирования многогруппных составов, среди которых комбинаторный метод [45–48, 75, 76], распределительный метод [55, 74], основной и двойной ступенчатый методы [65], а также метод равномерного нарастания [27, 65].

2.3.1. Предварительные определения и соглашения. *Группой* являются вагоны состава, имеющие одно назначение; при этом каждому вагону группы присваивается номер g_i , выбор которого осуществляется по определенным правилам. Общее число групп в составе равно θ .

Техническое оснащение станции для формирования многогруппного состава представляет собой некое сортировочное устройство (вытяжной путь или сортировочная горка) и определенное число сортировочных путей $m_{СП}$ из которых в определенный момент используется $m \leq m_{СП}$ путей. Для выполнения формирования число путей должно быть не менее 2-х, но в то же время, иметь больше путей чем число групп θ нет необходимости, то есть $2 \leq m \leq \theta$. Каждый j -й этап формирования из общего их числа N включает операции сборки и сортировки. Число путей сборки $m_{сб}$ и сортировки m_c варьируются в следующих пределах $m_{сб} = 1, 2, \dots, m_{СП}$, $m_c = 1, 2, \dots, m_{СП}$ в зависимости от метода и этапа формирования многогруппного состава.

Метод M формирования рассматривается как совокупность правил сборки и сортировки групп вагонов состава по путям на отдельных этапах его формирования.

Схемой формирования состава σ некоторым методом называется порядок распределения его n вагонов по путям μ_i , при $i = 1, 2, \dots, n$ на j -м этапе формирования; при этом схема формирования определяется множеством использованных номеров групп $\{\gamma\}$. Для каждого метода M , в большинстве случаев, имеется возможность получить множество схем Z формирования путем определенного выбора нумерации γ_i групп вагонов состава; время формирования T_Φ многогруппного состава по схемам и методам не совпадает ввиду их определенного отличия.

2.3.2. Комбинаторный метод (КМ). Данный метод $M = 1$ был разработан во ВНИИЖТе в 1985–1986 гг. и вскоре был применен для интенсификации работы с многогруппными составами на станции Бескудниково [45–48], а потом и на некоторых других станциях [52]. Спустя несколько лет он был формализован сотрудниками ВНИИЖТа во главе с профессором Тишкиным Е. М [75, 76].

Основой данного метода являются числа Фибоначчи m -го порядка, которые используются для кодирования номеров групп γ_i ; данный код определенным образом меняется в зависимости от этапа формирования j . Кроме этого, метод требует кодирования особым образом номеров путей сортировки – получения логических номеров путей (ЛНП) μ_i , причем на каждом этапе их значение циклически меняется. Число используемых в процессе формирования путей m зависит от кода групп вагонов γ_i . Стоит отметить, что в данном методе отсутствует сборка вагонов, вместо которой используется их вытягивание (то есть $m_{сб} = 1$) на вытяжной путь с пути ЛНП которого $\mu_i = 0$.

Далее представлены известные выражения, показывающие взаимосвязи параметров путевого развития и состава [74] при формировании данным методом.

а) число путей m , которые могут потребоваться для формирования, находится в диапазоне

$$m \in [2, \lceil \log_2 \theta \rceil + 1], m \in \mathbb{N},$$

б) минимальное число групп $\theta_{\min}^{(m)}$ равно

$$\theta_{\min}^{(m)} = F_{2m-1}^{(m)} = 2^{m-1},$$

в) число возможных этапов N формирования

$$\forall N \in \mathbb{N}, q \in 2m-1, 2m, \dots, m \in \mathbb{N} \Rightarrow N = q - m + 1,$$

$$\text{при } F_{q-1}^{(m)} < \theta \leq F_q^{(m)},$$

где $F_{q-1}^{(m)}, F_q^{(m)}$ – $q-1$ -ое и q -ое число Фибоначчи порядка m .

г) логический номер i -й группы

$$\forall \gamma_i = \varphi_N, \dots, \varphi_1, \varphi_j \in 0, 1, \varphi_N = 0 \Rightarrow \gamma_i = F_{m+N-1}^{(m)} \varphi_N + F_{m+N-2}^{(m)} \varphi_{N-1} + \dots + F_m^{(m)} \varphi_1,$$

д) ЛНП μ_j сборки на j -м этапе

$$\mu_j = 0, \quad \mu_{j+1} = (\mu_j + m - 1) \bmod m \text{ при } j \in 1, N,$$

е) ЛНП μ_j сортировки на j -м этапе

$$\mu_j \gamma_i \text{ если в } \gamma_i \varphi_{k+j} = 0, \varphi_{k+j-1} = \dots = \varphi_{j+1} = \varphi_j = 1, \text{ при } j \in 1, N.$$

Более детально этот метод формирования многогруппных составов рассмотрен в [74].

2.3.3. Распределительный метод (РМ). Этот метод $M = 2$ является альтернативой комбинаторному, и тоже позволяет эффективно сформировать многогруппный состав [74]. Распределительный метод эффективно использует большое число путей; при формировании состава на одинаковом числе путей оно выполняется за меньшее число этапов по сравнению с комбинаторным методом.

Указанный метод имеет в своей основе позиционную систему счисления. Существенным его отличием является необходимость сборки вагонов со всех путей на каждом этапе формирования. Нумерация путей также кодируется, но она не меняется в процессе формирования.

Для данного метода приведем следующие зависимости:

а) число путей m , которые могут быть использованы для формирования, находится в диапазоне

$$m \in 2, \theta, m \in \mathbb{N},$$

б) минимальное число групп θ_{\min} , которое можно формировать именно на m путях равно

$$\theta_{\min} = m,$$

в) число возможных этапов формирования

$$\forall N, \theta \in \mathbb{N}, m \in \mathbb{N} \Rightarrow N = \lceil \lg \theta / \lg m \rceil + 1 \in \mathbb{N},$$

г) логический номер i -й группы

$$\forall \gamma_i = \psi_N, \dots, \psi_1, \psi_j \in 0, m-1, \psi_N = 0 \Rightarrow \gamma_i = \psi_N m^{N-1} + \dots + \psi_1 m^0,$$

д) ЛНП μ_i сборки на j -м этапе

$$\mu_j = m-1, m-2, \dots, 0 \text{ при } j \in 1, N,$$

е) ЛНП μ_i сортировки на j -м этапе

$$\mu \gamma_i = k, \text{ если в } \gamma_i \varphi_{k+j} = 0, \varphi_{k+j-1} = \dots = \varphi_{j+1} = \varphi_j = 1, \quad \forall j \in 1, N.$$

Существенным недостатком данного метода является необходимость сборки вагонов со всех путей, что увеличивает число перемещаемых вагонов в процессе формирования. Однако меньшее число этапов при формировании данным методом позволяет ему эффективно конкурировать с комбинаторным и без сравнения процесса формирования по временным показателям невозможно определить который из этих двух методов лучше.

2.3.4. Основной ступенчатый метод (ОСМ). В процессе анализа публикаций по теме формирования многогруппных составов, выполненного в первом разделе настоящей диссертации, не было обнаружено формализации основного ступенчатого метода $M = 3$. Но для включения технологии формирования по данному методу в имитационную модель его формализация необходима.

Основой данного метода послужила десятичная система счисления. Его основной особенностью является постоянное число этапов формирования которое не превышает трех ($N \leq 3$). В то же время, максимальное число групп в составе G_m , которое может быть упорядочено данным методом, напрямую зависит от числа путей m . Также может понадобиться и обратная зависимость: найти минимально возможное число путей m_{\min} для формирования многогруппного состава из θ групп. Сборка вагонов данным методом осуществляется на всех этапах с $m-1$ путей, то есть со всех путей кроме пути с ЛНП $\mu_j = 0$.

Ниже указаны наиболее существенные зависимости между параметрами состава и путевого развития.

а) минимальное число путей m_{\min} , с помощью которого можно будет выполнить формирование многогруппного состава из θ групп

$$m_{\min} = \lceil \log_2 \theta \rceil + 1, m_{\min} \geq 2, m_{\min} \in \mathbb{N},$$

б) максимальное число групп G_m , которое может быть подобрано на m путях

$$G_m = 0,5m(m+1), m \in \mathbb{N}$$

в) число возможных этапов N формирования

$$\forall N \in \mathbb{N}, m \in \mathbb{N} \Rightarrow N = \begin{cases} 2, & \text{при } \theta \in [2, m] \\ 3, & \text{при } \theta \in (m, G_m] \end{cases}$$

г) ЛНП μ_i сборки на j -м этапе

$$\text{при } j=1 \quad \mu_i = 1,$$

$$\text{при } j>1 \quad \mu_i = m, m-1, \dots, 2,$$

д) ЛНП μ_i сортировки на j -м этапе

$$\text{при } j=1 \quad \mu_i = \gamma_i - 0,5(2m - \eta_i - 1)$$

$$\text{где } \eta_i = m - 0,5(1 + \theta)$$

$$\text{при } j=2 \quad \mu_i = \eta_i + 1$$

$$\text{при } j=N \quad \mu_i = 1$$

Данный метод за небольшое число этапов $N \leq 3$ позволяет сформировать многогруппный состав, однако, максимальное число групп G_m в таком составе ограничено и зависит от наличного числа путей для формирования m . Этим данный метод отличается от рассмотренных ранее, которые на таком же путевом развитии позволяли сформировать состав с произвольным числом групп θ ; число этапов при этом могло быть значительно большим $N > 3$.

2.3.5. Двойной ступенчатый метод (ДСМ). Настоящий метод $M = 4$ также как и предыдущий ранее не был формализован. Алгоритм метода во многом аналогичный основному ступенчатому методу, однако, позволяет сформировать состав с большим числом групп, но за большее число этапов формирования $N \leq 4$.

Для данного метода были формализованы следующие существенные зависимости:

а) минимальное число путей для сортировки θ групп

$$m_{\min} = \left\lceil 0,5(1 + \sqrt{4\theta + 1}) \right\rceil, \quad m_{\min} \in \mathbb{N}$$

б) максимальное число групп, которое может быть подобрано на m путях

$$G_m = m(m + 1), \quad m \in \mathbb{N}$$

в) число этапов N формирования многогруппного состава

$$\forall N \in \mathbb{N}, m \in \mathbb{N} \Rightarrow N = \begin{cases} 2, & \text{при } \theta = 2 \\ 3, & \text{при } \theta \in (2, 2m) \\ 4, & \text{при } \theta \in [2m, G_m] \end{cases},$$

г) ЛНП μ_i на j -м этапе при сборке

$$\begin{aligned} \text{при } j \leq 2 \quad \mu_i &= 1, \\ \text{при } j > 2 \quad \mu_i &= m, m-1, \dots, 2, \end{aligned}$$

д) ЛНП μ_i на j -м этапе при сортировке

$$\text{при } j = 1 \quad \mu_i = \begin{cases} 0,5(\gamma_i - \eta_i^I(2m - \eta_i^I - 1) + 2) & \text{при } \gamma_i \bmod 2 = 1 \\ 1 & \text{при } \gamma_i \bmod 2 = 0 \end{cases},$$

$$\text{где } \eta_i^I = \left\lceil 0,5(2m - \sqrt{(2m+1)^2 - 4(\theta+2)} - 1) \right\rceil,$$

$$\text{при } j = 2 \quad \mu_i = 0,5(\gamma_i - \eta_i^{II}(2m - \eta_i^{II} - 1) + 1),$$

$$\text{где } \eta_i^{II} = \left\lceil 0,5(2m - \sqrt{(2m+1)^2 - 4(\theta+1)} - 1) \right\rceil.$$

$$\text{при } j = N - 1 \quad \mu_i = \eta_i^{II} + 1,$$

$$\text{при } j = N \quad \mu_i = 1.$$

Данный метод за $N \leq 4$ этапа позволяет сформировать многогруппный состав с максимальным числом групп G_m , практически вдвое превышающим аналогичное у основного ступенчатого метода. В то же время, потребное путевое развитие зависит от параметров состава, что позволяет говорить о недостаточной универсальности двух последних методов.

2.3.6. Метод равномерного нарастания (МРН). Данный метод $M = 5$, как и два предыдущих ($M = 3, 4$), имеет в основе десятичную систему счисления. Сортировка вагонов данным методом осуществляется таким образом, что на каждом этапе на $m - 1$ путь сортируется по одной группе, а все остальные вагоны попадают на отсечной путь с ЛНП $\mu_i = m$. Отличается он также и порядком выполнения сборки вагонов: на всех этапах, кроме первого и последнего сборки выполняется из пути с ЛНП $\mu_i = m$.

Наиболее значимые зависимости параметров метода представлены ниже.

а) число путей m , которые могут быть использованы для формирования, находится в диапазоне

$$m \in 2, \theta, m \in \mathbb{N},$$

б) количество этапов N формирования

$$N = \left\lceil \frac{\theta - 1}{m - 1} \right\rceil$$

в) ЛНП μ_{c_i} при сортировке

$$\mu_{c_i} = \begin{cases} \gamma_i \bmod (m - 1) & \text{при } \lfloor \gamma_i / (m - 1) \rfloor = j \\ m, & \text{при } \lfloor \gamma_i / (m - 1) \rfloor \neq j \end{cases}$$

г) ЛНП $\mu_{сб_i}$ при сборке всегда составляет $\mu_{сб_i} = m$.

Данный метод имеет сходство с первыми двумя методами, поскольку число групп, которое может быть подобрано на выделенном числе путей, не ограничено.

2.4. Схема формирования многогруппных составов

Выполненный анализ [54, 55, 74] показывает, что внутри каждого метода M формирования существует возможность выполнять формирование несколькими способами, которые были названы схемой формирования σ . Как показал анализ методов формирования $M = 1..5$, число возможных схем формирования Z состава зависит от числа групп вагонов θ и числа используемых сортировочных путей m . При этом для каждого метода M существуют критические значения числа групп G_m , при которых схема формирования состава является единственной. Эти значения определяются чис-

лом используемых путей m , а для отдельных методов – еще и числом этапов формирования N .

Для методов КМ, РМ и МРН существует множество критических значений $G_{m,N}$ числа групп:

$$\exists! M_i \in \{M_1, M_2, M_5\}, m \in a > 1 | a \in \mathbb{N}, N \in \mathbb{N} \Rightarrow G_{m,N} = \{G_{m,1}, G_{m,2}, \dots\}.$$

Эти значения определяются для каждого m числом этапов формирования N , которое, в свою очередь, зависит от числа групп θ в составе:

а) комбинаторный метод

$$\exists! M_1 \in \{M_1, M_2, M_5\}, m \in a > 1 | a \in \mathbb{N}, N \in m, m+1, \dots \Rightarrow G_{m,N} = F_{N+m+1}^{(m)},$$

где $F^{(m)}$ – обобщенное число Фибоначчи порядка m .

б) распределительный метод

$$\exists! M_2 \in \{M_1, M_2, M_5\}, m \in a > 1 | a \in \mathbb{N}, N \in a > 1 | a \in \mathbb{N} \Rightarrow G_{m,N} = m^{N-1},$$

в) метод равномерного нарастания

$$\exists! M_5 \in \{M_1, M_2, M_5\}, m \in a > 1 | a \in \mathbb{N}, N \in a > 1 | a \in \mathbb{N} \Rightarrow G_{m,N} = (m-1)N + 1,$$

При этом число этапов N определяется так, чтобы выполнялось условие:

$$\exists! G_{m,N}, \theta \in [2; G_{m,N}], N \in \mathbb{N} \Rightarrow G_{m,N} < \theta < G_{m,N+1}.$$

Для методов ОСМ и ДСМ для каждого m существует единственное критическое значение G_m , поскольку число этапов N в этих методах фиксировано (для ОСМ $N \leq 3$, для ДСМ $N \leq 4$).

а) основной ступенчатый метод

$$\exists! M_3 \in \{M_3, M_4\}, m \in a > 1 | a \in \mathbb{N} \Rightarrow G_m = 0.5m(m+1),$$

б) двойной ступенчатый метод

$$\exists! M_4 \in \{M_3, M_4\}, m \in a > 1 | a \in \mathbb{N} \Rightarrow G_m = m(m+1) - 1.$$

В случае совпадения числа групп θ с одним из критических значений $G_m / G_{m,N}$ существует единственная схема формирования состава $Z=1$. Однако, в большинстве случаев, число схем Z может быть достаточно велико [55]:

$$\exists! \theta = G \Leftrightarrow Z = 1,$$

$$\forall \theta \in 2; G \Rightarrow \left(Z = C_G^\theta = \frac{G!}{\theta! (G-\theta)!} \right) \in a > 1 | a \in \mathbb{N} \quad (2.4)$$

В этом случае появляется возможность оптимизировать процесс формирования состава за счет выбора схемы с минимальной его продолжительностью $T_{\text{фmin}}$. Выбор схемы можно осуществить путем полного перебора всех вариантов, когда число Z невелико. Однако, когда число Z значительное, определить $T_{\text{ф}\sigma}$ каждой σ -й схемы с целью поиска среди них рациональной за приемлемое время практически невозможно. В таком случае поиск схемы с минимальным временем $T_{\text{фmin}}$ из множества Z (2.4) следует заменить поиском рациональной схемы из выборки \tilde{n}_0 с помощью статистического подхода.

Ввиду близкого к нормальному распределению времени формирования $T_{\text{ф}\sigma}$ схем множества Z в [55, 74] предлагается использовать непараметрический односторонний толерантный предел, основанный на минимальном значении $T_{\text{фmin}}$ в выборке объемом \tilde{n}_0 [84, 85]. Величина \tilde{n}_0 представляет собой минимальный объем выборки, при котором со статистической надежностью β можно утверждать, что время $T_{\text{ф}\sigma}$ не менее чем у доли γ генеральной совокупности схем превышает $T_{\text{фmin}}$ выборки \tilde{n}_0 . Согласно [85] при $\beta=0,95$ и $\gamma=0,99$ получим размер выборки $\tilde{n}_0 = 299$ схем.

Таким образом, размер множества схем, внутри которого будет вестись поиск минимальной или рациональной схемы, составит [55, 81]:

$$\forall Z, \tilde{n}_0 = \begin{cases} Z & \text{при } Z \leq 299, \\ 299 & \text{при } Z > 299. \end{cases} \quad (2.5)$$

Указанные выражения были использованы при проектировании имитационной модели процесса формирования многогруппных составов.

2.5. Функциональная модель процесса формирования многогруппных составов

Для выполнения исследования и анализа процесса формирования многогруппных составов с целью его оптимизации автором была построена имитационная модель, которая для заданных исходных данных о составах многогруппных поездов и

техническом оснащении для их формирования позволяет получить детальное представление об указанном процессе.

2.5.1. Задачи имитационной модели процесса формирования многогруппных составов. Предложенная модель ориентирована на решение следующих задач:

- расчет времени T_ϕ формирования s -го состава при использовании некоторой схемы σ для выбранного метода M ;
- поиск рациональной схемы $\hat{\sigma}$ формирования состава для выбранного метода M ;
- определение рациональной технологии формирования состава (выбор рациональной схемы $\hat{\sigma}_m$ на множестве рассматриваемых методов M_1, \dots, M_s).

Таким образом, разработанная имитационная модель должна обеспечить получение количественной оценки отдельной схемы конкретного метода и в дальнейшем, рассмотрев множество схем ряда методов, появляется возможность подробного их изучения и сравнения с помощью данной оценки.

В качестве указанной оценки в данной модели принято время формирования T_ϕ многогруппного состава, так как оно является неким обобщенным показателем, который с одной стороны зависит от объема выполненной маневровой работы в процессе формирования, а с другой стороны влияет на временные показатели работы всей станции.

2.5.2. Структура имитационной модели процесса формирования многогруппных составов. Имитационная модель состоит из двух модулей. Первый из них позволяет для отдельного s -го состава установить совокупность рейсов сборки R_r^+ и сортировки R_r^- , необходимую для реализации некоторой схемы его формирования заданным методом. Второй модуль служит для расчета продолжительности формирования данного состава $T_{\phi\sigma}$ при использовании заданного метода M и схемы σ . С помощью двух указанных модулей осуществляется выбор рациональной схемы формирования $\hat{\sigma}_m$ для каждого из рассматриваемых методов (M_1, \dots, M_s) [74, 81].

Процесс формирования многогруппного состава любым методом можно представить в виде последовательности K маневровых рейсов сборки и сортировки вагонов $(R_1, R_2, \dots, R_{K-1}, R_K)$ [74]. При этом каждый рейс R_r^\pm , в зависимости от его специализации, можно представить как:

$$\text{рейс сборки} \quad R_r^+ = (w_r, n_r^+),$$

$$\text{рейс сортировки} \quad R_r^- = (w_r, n_r^-).$$

где w_r – номер сортировочного пути, на который выполняется r -й рейс;

n_r^- , n_r^+ – число вагонов, на которое изменяется маневровый состав, а также группа вагонов на пути w_r после выполнения r -го рейса.

При этом по завершении рейса сборки R_r^+ число вагонов при локомотиве увеличивается на n_r^+ , а на пути w_r – уменьшается на ту же величину.

После рейсов сортировки R_r^- , напротив, увеличивается число вагонов на пути w_r на величину n_r^- и соответственно уменьшается маневровый состав.

На каждом этапе формирования последовательно выполняется группа рейсов R^+ сборки вагонов с $m_{сб}$ путей, после которых собранные вагоны сортируют, используя определенное число рейсов R_r^- .

Список номеров сортировочных путей $\vec{w}_s = (w_1, w_2, \dots, w_{m_{сб}})$, с которых собирают вагоны на j -м этапе, определяются методом M формирования состава:

$$\vec{w}_j = f_M(j)$$

Пути назначения рейсов сортировки R_r^- собранного состава определяются ЛНГ γ_i каждого вагона:

$$w_i = \Psi_M(\gamma_i, j), \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, N,$$

где n – число вагонов в маневровом составе, сортируемом на j -м этапе;

N – число этапов формирования состава.

После определения номеров путей назначения w_i для состава смежные вагоны, следующие на один путь, объединяются в отцепы с числом вагонов n_r^- .

Второй модуль на основе полученного множества рейсов $R_r^\pm = (w_r, n_r^\pm)$, определяет время процесса формирования состава T_ϕ , используя нормативы времени выполнения маневровых операций, как на вытяжном пути, так и на горке; методика расчета более детально раскрыта в [74].

Для определения продолжительности T_ϕ указанного процесса необходимо получить последовательность маневровых рейсов сборки R_r^+ и сортировки R_r^- при выполнении формирования многогруппного состава по произвольной схеме σ выбранного метода M .

2.5.3. Методика расчета продолжительности формирования по схеме.

Суммарное время формирования многогруппного состава определяется сложением времени выполнения всех операций сборки и сортировки на N этапах [74], а также времени осаживания вагонов на сортировочных путях при формировании состава на горке

$$T_\phi = \sum_{j=1}^N (t_{сб\ j} + t_{с\ j}) + t_{ос}$$

2.5.3.1. Время сборки $t_{сб\ j}$ вагонов с $m_{сб}$ сортировочных путей на j -м этапе формирования определяется исходя из суммарного времени связанных с ней маневровых полурейсов

$$t_{сб\ j} = \sum_i^{m_{сб\ j}} (t_{ос\ i} + t_{выт\ i})$$

где $t_{ос\ i}, t_{выт\ i}$ – соответственно, время осаживания и вытягивания маневрового состава с i -го пути на j -м этапе формирования;

$m_{сб}$ – число сортировочных путей, с которых выполняется сборка вагонов.

Как показал анализ и формализация методов формирования, некоторые из них предполагают сборку только лишь с одного пути $m_{сб} = 1$ (КМ и МРН). Другие методы требуют сборку со всех $m_{сб} = m$ (РМ) или почти со всех путей $m_{сб} = m - 1$ (ОСМ, ДСМ). При этом на разных этапах значение $m_{сб}$ может меняться.

В труде [74] для нахождения значений величин $t_{\text{ос}i}$ и $t_{\text{выт}i}$ используется выражение $t = a + bm$. С учетом этого значения $t_{\text{ос}i}$ и $t_{\text{выт}i}$ определяются с помощью следующих выражений

$$t_{\text{ос}i} = a_{\text{ос}i} + b_{\text{ос}i}n_{\text{ос}i}, \quad (2.6)$$

$$t_{\text{выт}i} = a_{\text{выт}i} + b_{\text{выт}i}n_{\text{выт}i}, \quad (2.7)$$

где $a_{\text{ос}i}, b_{\text{ос}i}$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от $L_{\text{ос}i}$;

$a_{\text{выт}i}, b_{\text{выт}i}$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от $L_{\text{выт}i}$;

$n_{\text{ос}i}, n_{\text{выт}i}$ – число вагонов в маневровом составе на полурейсе осаживания и вытягивания; очевидно, что при сборке $n_{\text{ос}i} \leq n_{\text{выт}i}$.

Однако с 2002 г для оценки продолжительности маневрового полурейса на железных дорогах Украины введено в действие новое руководство [83] по нормированию продолжительности маневрового полурейса, согласно которому она должна определяться с помощью формулы:

$$t_{\text{п/р}} = \frac{(\alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}}n)V}{2} + 3.6 \frac{L_{\text{п/р}}}{V}, \quad (2.8)$$

где $\alpha_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий время, необходимое для смены скорости движения локомотива на 1 км/ч во время разгона и торможения, с/км/ч;

$\beta_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на смену скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч во время разгона и торможения, с/км/ч/ваг;

n – число вагонов при локомотиве во время передвижения, ваг;

$L_{\text{п/р}}$ – длина полурейса, м;

V – допустимая скорость движения во время маневров, км/ч.

Согласно [83] указанные в (2.8) коэффициенты принимают следующие значения: $\alpha_{\text{рт}} = 2,44$ с/км/ч, $\beta_{\text{рт}} = 0,1$ с/км/ч/ваг.

Для наглядности на рис. 2.1 приведено схематическое изображение допустимой скорости, которую необходимо использовать в (2.8) [86].

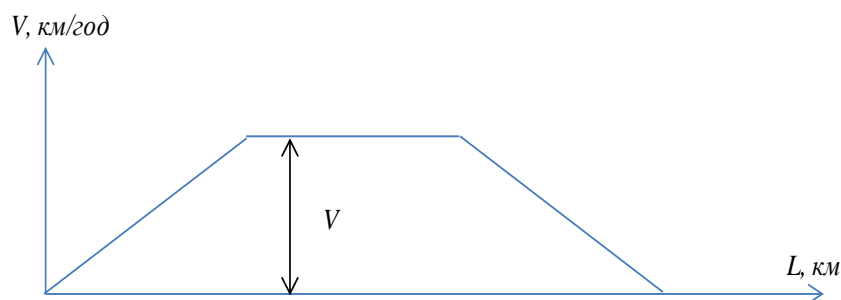


Рис. 2.1 – Иллюстрация допустимой скорости маневрового полурейса

Тем не менее, в [83] не приведены конкретные рекомендации относительно значений V , а значения скорости, рекомендуемые в [86] и в ПТЭ [87], не всегда позволяют получить корректные временные показатели маневровой работы. В этой связи, возникает необходимость исследования зависимости скорости полурейса при формировании многогруппных составов от различных факторов.

С этой целью был выполнен анализ скоростемерных лент маневровых локомотивов, работающих в районе формирования четной системы станции Нижнеднепровск-Узел. В результате были определены скорости V в сочетании с длиной полурейса L ; для наглядности указанные пары значений (V, L) приведены в виде поля точек на рис. 2.2.

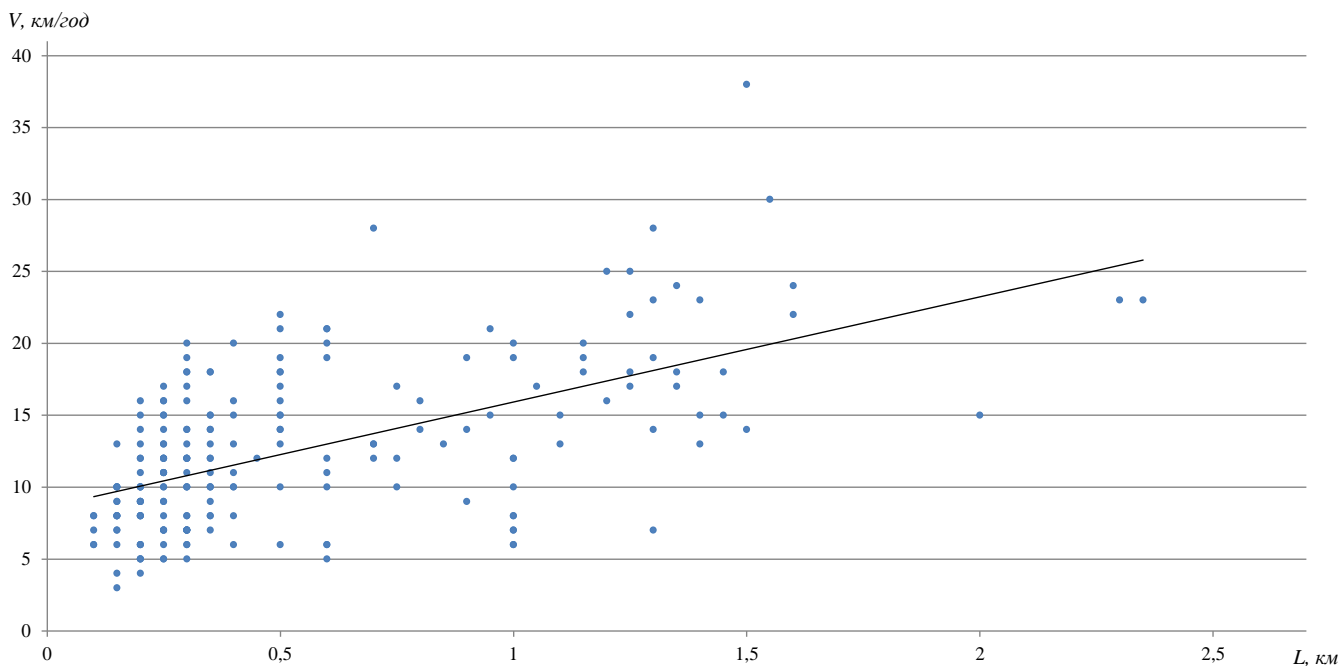


Рис. 2.2 – Поле точек (V, L) и функция $V = f(L)$

В результате указанных исследований было определено средневзвешенную скорость маневровых локомотивов при выполнении полурейсов в подсистеме формирования с помощью выражения:

$$\bar{V} = \frac{\sum LV}{\sum L} = \frac{1763.40}{115.75} = 15.25 \text{ км/ч.}$$

Анализ поля точек позволяет предположить наличие корреляционной связи между длиной перемещения L и скоростью V ; при этом коэффициент корреляции составит:

$$r_{LV} = \frac{K_{LV}}{\sigma_L \cdot \sigma_V} = \frac{1.447}{0.444 \cdot 4.596} = 0.71.$$

Также, по результатам выполненных исследований была определена зависимость, наилучшим образом описывающую поле точек (V, L) за критерием минимума остаточной дисперсии; выбранная зависимость имеет вид

$$V = 5.839 + 11.158L - 1.786L^2. \quad (2.9)$$

Полученное выражение будет использовано в имитационной модели при расчете схемы формирования многогруппных составов с использованием скорости как функции от длины полурейса $V = f(L)$.

Дальнейшее исследование процесса формирования на реальном объекте дало возможность установить зависимость скорости маневрового полурейса от его длины и количества вагонов. Выражение, обеспечивающее наименьшую остаточную дисперсию имеет вид

$$V = 7.4048 + 4.6066L - 0.0767n$$

Таким образом, задача определения времени полурейсов сводится к определению длин полурейсов осаживания L_{oc} и вытягивания $L_{выт}$. Данные длины зависят от параметров горловины сортировочного парка, и места расположения первых вагонов на пути относительно предельного столбика.

Как предлагается в [74] для минимизации длины полурейсов необходимо таким образом обеспечивать расстановку вагонов на сортировочных путях, чтобы при сборке на каждом этапе они находились у предельного столбика. В этом же труде

раскрыта методика расчета длин полурейсов осаживания $L_{ос}$ и вытягивания $L_{выг}$ с учетом использования геометрической модели сортировочного парка.

С целью ликвидации избыточных маневровых перемещений при сборке вагонов всегда выполняется следующая проверка: если группа последних вагонов, которые вытягиваются с некоторого пути, при сортировке на этом же этапе имеет назначение на данный путь, то такие вагоны не вытягиваются и в расчет времени на сборку не включаются.

Данная методика была описана в [88], а также вошла в разработанную имитационную модель для определения $t_{сб\ j}$.

2.5.3.2. Время сортировки $t_{с\ j}$ вагонов на j -м этапе формирования на вытяжном пути определяется исходя из суммарного времени связанных с сортировкой $n_{отц\ j}$ отцепов маневровых полурейсов

$$t_{с\ j} = \sum_i^{n_{отц\ j}} (t_{ос\ i} + t_{выг\ i})$$

где $t_{ос\ i}, t_{выг\ i}$ – соответственно, время осаживания и вытягивания i -го отцепа на j -м этапе формирования.

Значения величин $t_{ос\ i}$ и $t_{выг\ i}$ при выполнении сортировки i -го отцепа определяются с помощью (2.6) и (2.7). Расчет длин полурейсов осаживания $L_{ос}$ и вытягивания $L_{выг}$ при этом выполняется с учетом использования геометрической модели сортировочного парка [74].

Данная методика также вошла в разработанную автором имитационную модель для определения $t_{с\ j}$ на вытяжном пути.

2.5.3.3. Время сортировки $t_{с\ j}$ вагонов на j -м этапе формирования на сортировочной горке определяется следующим образом

$$t_{с} = \frac{0,06l_{ваг} \sum_{i=1}^{n_{отц\ j}} c_i}{V_p},$$

где $l_{\text{ваг}}$ – средняя длина вагона;

c_i – среднее число вагонов в i -м отцепе, при $i \in [1, n_{\text{отц}}]$;

V_p – средняя скорость роспуска, которая устанавливается в зависимости от мощности горки и средней длины отцепа.

Для реализации расчета t_{c_j} на сортировочной горке в имитационную модель включена данная методика.

Для определения рациональной технологии формирования необходимо рассмотреть множество схем формирования Z для каждого из рассматриваемых методов M , после чего выбрать схему $\hat{\sigma}_M$, обеспечивающую формирование за минимальное время $T_{\text{фmin}}$.

2.6. Идентификация и оценка адекватности разработанной модели

С целью получения возможности оценить адекватность полученных выражений для определения продолжительности полурейсов в процессе выполнения формирования многогруппного состава разработанную модель необходимо проверить на соответствие полученных с ее помощью результатов параметрам реальных процессов на конкретном объекте.

Как было указано ранее, продолжительность формирования многогруппных составов как правило представляет собой совокупность маневровых полурейсов формирования, реализующихся по той или иной методике с целью достижения конечной цели рассматриваемого процесса – получения сформированного многогруппного состава.

Таким образом, оценка адекватности полученных выражений для определения продолжительности формирования многогруппных составов сводится к оценке адекватности используемых выражений по определению маневровых полурейсов.

В общем случае проверка гипотезы однородности связанных выборок сводится к проверке симметрии функции распределения разности $Y - X$ относительно ну-

ля. При этом, выборка $X = \{X_1, X_2, \dots, X_{n_x}\}$ является совокупность значений в количестве n_x , полученных в результате проведенных натуральных экспериментов на реальном объекте; выборка $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_y}\}$ объемом n_y представляет собой данные, полученные в результате моделирования маневровых передвижений в процессе формирования многогруппных составов. Как правило $n_x = n_y = n$.

При этом примем следующие допущения:

1. Обозначим как Δ_i разность $Y_i - X_i$, таким образом $\Delta_i = Y_i - X_i$.

Примем следующую модель

$$\Delta_i = \zeta + e_i, i = 1, \dots, n,$$

где ζ – искомый параметр «эффекта обработки»;

e_i – ненаблюдаемые случайные величины.

2. Все e_i независимы.

3. Все e_i принадлежат непрерывной совокупности, симметричной относительно нуля.

Как следует из [84, 85, 89, 90] с целью проверки гипотезы однородности выборок X и Y ($H_0: \zeta = 0$) может быть использован критерий знаковых рангов Уилкоксона.

Методика его применения указана ниже.

Для двух указанных ранее выборок $X = \{X_1, X_2, \dots, X_{n_x}\}$ и $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_y}\}$ вычислим абсолютные разности $|\Delta_i| = |Y_i - X_i|$, так что $|\Delta| = \{|y_1 - x_1|, |y_2 - x_2|, \dots, |y_n - x_n|\}$.

Предположим, что $R(\Delta_i)$ является рангом $|\Delta_i|$ в вариационном ряде абсолютных значений разностей $|\Delta_1|, |\Delta_2|, \dots, |\Delta_n|$, при $i = 1, 2, \dots, n$.

Определим переменную-счетчик $Q(\Delta_i)$ как

$$Q(\Delta_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } \Delta_i > 0, \\ 0, & \text{при } \Delta_i < 0. \end{cases}$$

Наблюдения, дающие $\Delta_i = 0$ игнорируются и объем выборки сокращается на их количество.

Статистика критерия знаковых рангов W^+ равна

$$W^+ = \sum_{j=1}^n R(\Delta_j) Q(\Delta_j).$$

Таким образом, нужно просуммировать ранги положительных разностей в вариационном ряду, построенном стандартным образом по абсолютным величинам всех разностей.

Для практического использования статистики критерия знаковых рангов Уилкоксона либо обращаются к соответствующим таблицам и программному обеспечению, либо применяют асимптотические соотношения.

При выполнении гипотезы H_0 статистика

$$W^{++} = \frac{W^+ - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}$$

имеет асимптотическое (при $n \rightarrow \infty$) стандартное нормальное распределение с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 $N(0,1)$. Следовательно, правило принятия решений на уровне значимости 5% имеет обычный вид: если $|W^{++}| \leq 1,96$, то гипотезу однородности связанных выборок по критерию знаковых рангов Уилкоксона принимают, в противном случае отклоняют.

Рассмотрим выборки натуральных данных X и полученных с помощью модели результатов Y объемом по 62 значения каждая. Получим разность значений выборок Δ_i и построим вариационный ряд величин $|\Delta_i|$ (см. таблицу 2.1).

Как следует из таблицы 2.1 сумма положительных рангов составила 744,5. Считая что $n \rightarrow \infty$ определим значение статистики W^{++}

$$W^{++} = \frac{1179 - \frac{62(62+1)}{4}}{\sqrt{\frac{62(62+1)(2 \cdot 62+1)}{24}}} = -1,42$$

Расчет суммы положительных рангов W^+

№	Δ_i	$ \Delta_i $	$R(\Delta_i)$	$Q(\Delta_i)$	$R(\Delta_i)Q(\Delta_i)$	№	Δ_i	$ \Delta_i $	$R(\Delta_i)$	$Q(\Delta_i)$	$R(\Delta_i)Q(\Delta_i)$
1	0,01	0,01	1,5	1	1,5	32	0,44	0,44	33,5	1	33,5
2	0,01	0,01	1,5	1	1,5	33	0,44	0,44	33,5	1	33,5
3	-0,02	0,02	3	0	0	34	0,44	0,44	33,5	1	33,5
4	-0,05	0,05	4,5	0	0	35	0,44	0,44	33,5	1	33,5
5	-0,05	0,05	4,5	0	0	36	0,45	0,45	36	1	36
6	-0,07	0,07	7	0	0	37	-0,46	0,46	37	0	0
7	0,07	0,07	7	1	7	38	-0,5	0,5	38	0	0
8	-0,07	0,07	7	0	0	39	-0,52	0,52	39	0	0
9	-0,09	0,09	9	0	0	40	-0,54	0,54	40,5	0	0
10	-0,1	0,1	10	0	0	41	-0,54	0,54	40,5	0	0
11	0,11	0,11	11	1	11	42	0,55	0,55	42	1	42
12	0,13	0,13	12	1	12	43	0,56	0,56	43	1	43
13	-0,16	0,16	13,5	0	0	44	0,58	0,58	44,5	1	44,5
14	-0,16	0,16	13,5	0	0	45	-0,58	0,58	44,5	0	0
15	-0,2	0,2	15	0	0	46	-0,6	0,6	46	0	0
16	-0,23	0,23	16	0	0	47	0,65	0,65	47	1	47
17	0,24	0,24	17	1	17	48	0,66	0,66	48	1	48
18	-0,25	0,25	18	0	0	49	-0,71	0,71	49	0	0
19	-0,26	0,26	19	0	0	50	0,73	0,73	50	1	50
20	0,27	0,27	20	1	20	51	0,75	0,75	51	1	51
21	0,28	0,28	21,5	1	21,5	52	-0,78	0,78	52	0	0
22	-0,28	0,28	21,5	0	0	53	0,8	0,8	53,5	1	53,5
23	0,29	0,29	23,5	1	23,5	54	0,8	0,8	53,5	1	53,5
24	-0,29	0,29	23,5	0	0	55	0,95	0,95	55,5	1	55,5
25	0,32	0,32	25	1	25	56	-0,95	0,95	55,5	0	0
26	-0,35	0,35	27,5	0	0	57	1	1	57	1	57
27	0,35	0,35	27,5	1	27,5	58	1,05	1,05	58,5	1	58,5
28	0,35	0,35	27,5	1	27,5	59	1,05	1,05	58,5	1	58,5
29	-0,35	0,35	27,5	0	0	60	1,17	1,17	60	1	60
30	0,38	0,38	30	1	30	61	-1,44	1,44	61	0	0
31	-0,4	0,4	31	0	0	62	1,49	1,49	62	1	62
Итого											1179

Сравним абсолютное значение полученной статистики с критическим

$$W^{++} = |-1,42| \leq 1,96$$

Условие выполняется, значит гипотеза об однородности связанных выборок и их принадлежности одной генеральной совокупности не противоречит опытным данным и может быть принята.

Описание структуры функциональной модели, задачи, для решения которых она была создана, а также методика расчета показателей приведены в [81, 88].

2.7. Выводы к разделу

Для получения результатов моделирования, адекватных реальному процессу формирования многогруппных составов, необходимо максимально полно воспроизвести структуру реальных составов, для чего кроме моделирования назначений их вагонов предложено моделировать также их весовую категорию и тип каждого вагона.

Перед моделированием процесса формирования многогруппных составов целесообразно выполнить замену действительных номеров групп на логические (условные), что позволит учесть некоторую упорядоченность начального состава, и, тем самым, уменьшить до 35–50% объем маневровой работы, связанной с формированием указанных составов.

Рассматриваемые методы широко используются на зарубежных железных дорогах, но практически ни один, кроме комбинаторного, не нашли применения на отечественном железнодорожном транспорте. В то же время сравнительный анализ методов показывает, что комбинаторный метод далеко не всегда является лучшим для формирования всех составов, особенно при формировании составов с большим числом вагонов и групп.

Анализ методов формирования показал возможность их оптимизации, которая появляется в связи с наличием в каждом из них множества схем формирования. В этой связи появляется возможность поиска схемы с лучшими временными параметрами процесса формирования.

Использование полученного выражения (2.9) позволяет получать значения скорости перемещения маневрового состава в процессе выполнения маневровой работы в зависимости от расстояния, что, в свою очередь, даст возможность с достаточной точностью оценить продолжительность маневровых полурейсов во время формирования многогруппного состава.

Разработанная модель и методика могут быть использованы для оперативного

управления процессом формирования многогруппных составов на станциях. Она позволяет найти для каждого состава рациональные метод и схему формирования с учетом наличного числа путей и получить, таким образом, план маневровой работы с этим составом. Для реализации данной методики необходимо включить разработанное программное обеспечение в состав АРМ маневрового диспетчера станции.

Разработанная методика может быть использована также для технико-экономической оценки и выбора рационального варианта технических средств для формирования многогруппных составов на станциях.

РАЗДЕЛ 3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

Используя разработанную имитационную модель, выполним исследования процесса формирования многогруппных составов. Данные исследования необходимы для определения эффективности оптимизации методов формирования, а также целесообразности поиска рациональной технологии формирования. Кроме этого, данные исследования и анализ процесса формирования позволят выработать рекомендации касательно технологии, путевого развития и типа сортировочного устройства, применение которых позволит интенсифицировать указанный процесс.

Также планируется получить статистическую модель для возможности оперативного нахождения временных оценок процесса формирования в зависимости от различных факторов без помощи ПЭВМ. Использование такой модели может понадобиться диспетчерскому аппарату станции при планировании работы с многогруппными поездами на смену.

3.1. Совершенствование методики сокращения начальной неупорядоченности исходного многогруппного состава

В рассмотренных ранее публикациях замена ДНН на ЛНГ выполняется либо вообще без обоснования ее необходимости, либо с указанием его эффективности, но только лишь для единственного варианта. Тем не менее, в результате анализа методики сокращения начальной неупорядоченности исходного многогруппного состава была обнаружена возможность их совершенствования за счет выбора лучшей методики из нескольких.

Таким образом, представляется целесообразным исследование эффективности вариантов замены ДНН на соответствующие ЛНГ, а также выполнить поиск рационального из этих вариантов. В этой связи ниже рассмотрены указанные варианты

выполнения такой замены, дано их алгоритмическое описание и сравнительная оценка эффективности.

3.1.1. Вариант перенумерации групп вагонов, обеспечивающий неизменный порядок вагонов в группе. По этому варианту (вариант 1) при определении ЛНГ порядок вагонов внутри групп остается неизменным и соответствует таковому в начальном составе. Так, для получения ЛНГ $\gamma=0$ по данному варианту необходимо выполнять 1-й просмотр перестановки S до тех пор, пока не будут включены все вагоны с ДНГ $g=1$, а потом все вагоны с ДНГ $g=2$, если в просмотренной ранее части перестановки S не было таких вагонов. В противном случае 1-й просмотр заканчивается и следует выполнять 2-й просмотр для определения вагонов с ЛНГ $\gamma=1$.

Иллюстрация методики замены ДНГ g_i на ЛНГ γ_i по данному варианту приведена в табл. 3.1. В таблице цветом выделены возрастающие отрезки в ключе g'_i перестановки S' , а также соответствующие им номера γ'_i .

Таблица 3.1

Принцип получения ЛНГ по первому варианту

Перестановка и номера		Значения номеров групп и их ключей													
S	ДНГ начального состава g_i	6	1	2	5	8	3	4	1	9	2	10	5	6	7
	Ключ g'_i в исходящем порядке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S'	ДНГ g_i (после сортировки по g_i)	1	1	2	2	3	4	5	5	6	6	7	8	9	10
	Ключ g'_i (после сортировки по g_i)	2	8	3	10	6	7	4	12	1	13	14	5	9	11
	ЛНГ γ'_i в неубывающем порядке	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5
S^*	Ключ g'_i в исходящем порядке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	ЛНГ γ_i начального состава	4	0	1	3	5	2	2	0	5	1	5	3	4	4

Таким образом, из табл. 3.1 следует, что для состава из $n=14$ вагонов и числом ДНГ $k=10$ групп было получено ЛНГ $\theta=6$, при этом степень сокращения числа групп составила $\delta' = 6/10 \cdot 100\% = 60\%$.

3.1.2. Вариант перенумерации групп вагонов, обеспечивающий минимальное их число. Данный вариант (вариант 2) учета начальной упорядоченности состава применялся во всех упомянутых в этом подразделе работах и позволяет получить минимальное число логических групп.

При использовании этого варианта для определения ЛНГ порядок вагонов внутри групп не имеет значения. Так, для получения ЛНГ $\gamma = 0$ данным способом необходимо выполнять 1-й просмотр перестановки S до тех пор, пока не будут включены все вагоны с ДНГ $g = 1$, а потом вагоны с ДНГ $g = 2$, не смотря на то, что в просмотренной ранее части перестановки S уже встречались такие вагоны. Если все вагоны с ДНГ $g = 2$ из перестановки S включены, то следует в эту же ЛНГ включать вагоны с ДНГ $g = 3$ и т. д., иначе 1-й просмотр заканчивается и следует выполнять 2-й просмотр для определения вагонов с ЛНГ $\gamma = 1$. Таким образом, при использовании данного варианта возможны случаи, когда вагоны с одинаковыми ДНГ g_i будут иметь разные ЛНГ γ_i

$$\gamma_v \neq \gamma_u \text{ при } g_v = g_u, v = 1, 2, \dots, n, u = 1, 2, \dots, n, v \neq u$$

Иллюстрация методики замены ДНГ g_i на ЛНГ γ_i по данному варианту приведена в табл. 3.2. В данной таблице используется такое же цветовое выделение, как и в табл. 3.1.

Таблица 3.2

Принцип получения ЛНГ по второму варианту

Перестановка и номера		Значения номеров групп и их ключей													
S	ДНГ начального состава g_i	6	1	2	5	8	3	4	1	9	2	10	5	6	7
	Ключ g'_i в исходящем порядке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S'	ДНГ g_i (после сортировки по g_i)	1	1	2	2	3	4	5	5	6	6	7	8	9	10
	Ключ g'_i (после сортировки по g_i)	2	8	10	3	6	7	12	4	13	1	14	5	9	11
	ЛНГ γ'_i в неубывающем порядке	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4
S^*	Ключ g'_i в исходящем порядке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	ЛНГ γ_i начального состава	3	0	1	2	4	1	1	0	4	0	4	1	2	3

Из табл. 3.2 следует, что для рассматриваемого состава из $n=14$ вагонов и числом ДНГ $k=10$ групп по этому варианту было получено ЛНГ $\theta=5$ групп, при этом степень сокращения числа групп составила $\delta'' = 5/10 \cdot 100\% = 50\%$.

3.1.3. Сравнительная оценка эффективности разных вариантов сокращения начальной неупорядоченности многогруппного состава

Представленные в разделе 2 варианты замены ДНН исходного состава имеют определенные отличия, чем обуславливаются их положительные и отрицательные стороны.

Так, преимуществом первого варианта, по сравнению со вторым, является меньшее среднее число вагонов в группе ввиду их более равномерного распределения, а также не измененный порядок вагонов внутри группы. К недостаткам данного варианта можно отнести не максимальную степень сокращения δ' исходного числа групп.

В то же время, второй вариант позволяет получить состав с минимумом ЛНГ (при $\delta'' = \min\{\delta', \delta''\}$), но это приводит к большему числу вагонов внутри логической группы, что способствует появлению максимальных групп, требующих специальной технологии формирования, практически исключающей их перемещение.

В то же время вероятны случаи, когда $\delta' = \delta''$ и при этом ЛНГ полученные по обоим вариантам идентичны, таким образом, эти варианты равноэффективны. Однако, не редки случаи, когда $\delta' = \delta''$, но при этом ЛНГ некоторых вагонов отличаются по вариантам. Это приводит к разному порядку их распределения на пути в процессе формирования, а значит и разному объему маневровой работы, что позволяет говорить о различном времени формирования. В этом случае, не смотря на равную степень сокращения $\delta' = \delta''$ числа групп, эффективность вариантов замены ДНН на ЛНГ различна и зависит от ряда технологических и технических факторов. Какой же из этих вариантов окажется лучше по одним лишь показателям δ', δ''

узнать не возможно и требуется сравнение их по более обобщающему показателю, например по времени формирования многогруппного состава T_{ϕ}^i .

С учетом выполненного анализа вариантов замены ДНГ на ЛНГ представляется невозможным корректное их сравнение без выполнения моделирования процесса формирования многогруппных составов с разными параметрами и разными характеристиками. С этой целью выполнены исследования эффективности предложенных вариантов при формировании потока из 200 составов с числом вагонов $n = 10, \dots, 40$ ваг с шагом $\Delta n = 5$ ваг и произвольным числом групп k . В качестве критерия оптимальности выбрано время формирования состава комбинаторным методом на вытяжном пути с помощью 3-х сортировочных путей. Результаты исследований представлены в таблице 3.3. В указанной таблице определяются оценки эффективности замены ДНН на ЛНГ при формировании всего потока с выполнением замены по первому варианту (Вариант 1), по второму варианту (Вариант 2) и с выполнением выбора лучшего варианта замены для каждого состава (Рациональный).

Таблица 3.3

Сравнительная эффективность вариантов замены ДНН на ЛНГ

Число вагонов n		10	15	20	25	30	35	40
Частота выбора лучшего варианта, %	Вариант 1	3,4	7,2	14,1	14	16	21,5	22
	Вариант 2	18,4	26,3	35,9	45	53,5	59	65
	Рациональный	78,2	66,5	50	41	30,5	19,5	13
Удельная эффективность, мин	Вариант 1	1,41	1,43	2,02	2,43	2,38	3,32	6,18
	Вариант 2	1,71	1,76	3,62	4,79	5,39	6,83	9,31
Среднее время формирования, мин	Вариант 1	11,25	17,51	24,9	34,81	45,62	57	74,22
	Вариант 2	10,98	17,15	23,89	33	43,12	53,69	69,52
	Рациональный	10,93	17,04	23,60	32,66	42,74	52,97	68,16
% от Варианта 2	Вариант 1	102,5	102,1	104,2	105,5	105,8	106,2	106,8
	Рациональный	99,5	99,4	98,8	99,0	99,1	98,7	98,0

Так, при других условиях формирования эффективность вариантов замены может быть несколько иной, но можно с большой степенью вероятности утверждать, что принципиально взаимное отношение между ними останется прежним. Для наглядности некоторые результаты из табл. 3.3 представим на рис. 3.1; зависимость времени формирования от числа вагонов и разных вариантов замены указана на рис. 3.2.

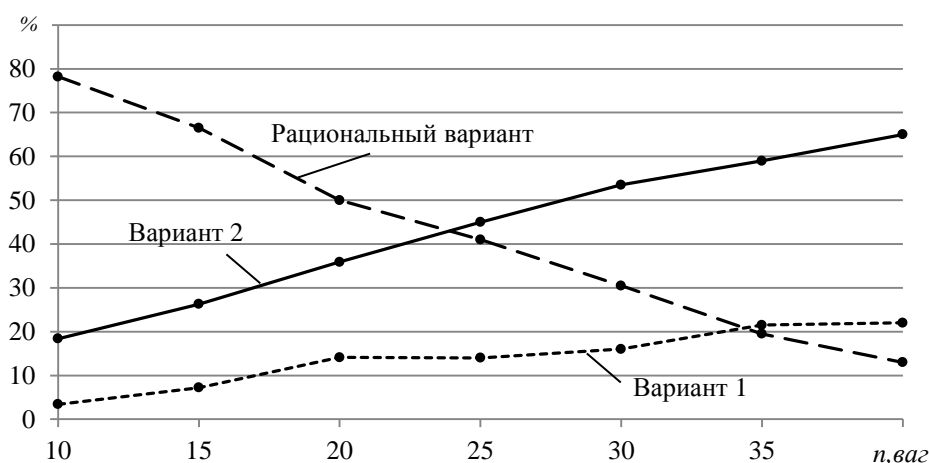


Рис. 3.1 – Частота использования вариантов перенумерации групп вагонов

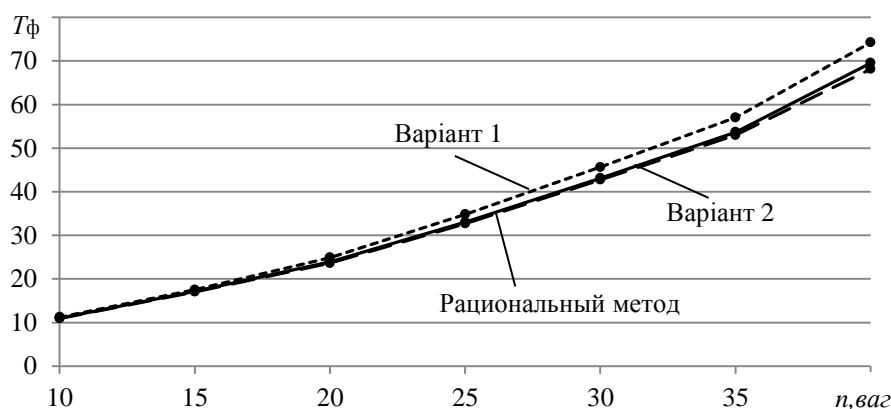


Рис. 3.2 – Зависимость $T_{\phi} = f(n)$ для разных вариантов замены ДНН на ЛНГ

Таким образом, учитывая полученные результаты исследования, для повышения эффективности имитационной модели следует выполнять замену ДНН исходного состава на ЛНГ по обоим вариантам, и, в случае если полученные результаты не идентичны – выполнять поиск времени формирования по каждому из них, после чего выбрать минимальное значение $T_{\phi} = f(N)$. Это не приведет к значительному увеличению времени на расчет, но позволит получить дополнительный эффект.

3.2. Определение зависимостей продолжительности формирования много- группных составов от параметров состава и технического оснащения

3.2.1. Постановка задачи исследования. С целью поиска существенных зависимостей времени формирования от параметров многогруппного состава и технического оснащения, будет выполнено исследование процесса формирования при варьировании указанных факторов. Так, в качестве сортировочного устройства есть возможность принять вытяжной путь или сортировочную горку. Путьевое развитие сортировочного (группировочного) парка $m_{СП}$ может составлять 8 или 16 путей, при этом есть возможность выбирать произвольное их число m , начиная с минимально необходимого для формирования значения $m = m_{\min} = 2$ и до наличного в парке $m = m_{СП}$. В качестве метода формирования состава рассматривался каждый из пяти методов, формализация которых была выполнена ранее в разделе 2. При этом для каждого метода выполнялся поиск рациональной схемы с помощью статистического подхода, принцип которого был раскрыт также в разделе 2 работы [74].

Для проведения имитационных экспериментов было смоделировано несколько потоков по 1000 составов с числом вагонов n от 10 ваг до 40 ваг с шагом 5 ваг, при этом число ЛНГ θ таких составов было случайным.

3.2.2. Определение аналитических зависимостей продолжительности формирования от их параметров. Вначале определим зависимости некоторых параметров самих потоков составов. Значения среднего числа отцепов $\bar{n}_{отц}$ в составе, среднего числа логических групп $\bar{\theta}$, а также параметры числа вагонов в логической группе n_γ для потоков составов с разным числом вагонов n приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Параметры потоков составов

Параметры	Число вагонов n						
	10	15	20	25	30	35	40
$\bar{n}_{отц}$	4,1	5,8	7,3	9,1	10,7	12,4	14,1
$\bar{\theta}$	2,5	3,2	3,7	4,2	4,7	5,1	5,5
$M[n_\gamma]$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,8	7,3	7,7
$\sigma[n_\gamma]$	1,7	2,6	3,1	3,6	3,9	4,3	4,5

Для большей наглядности представим указанные параметры в графическом виде (рис. 3.3).

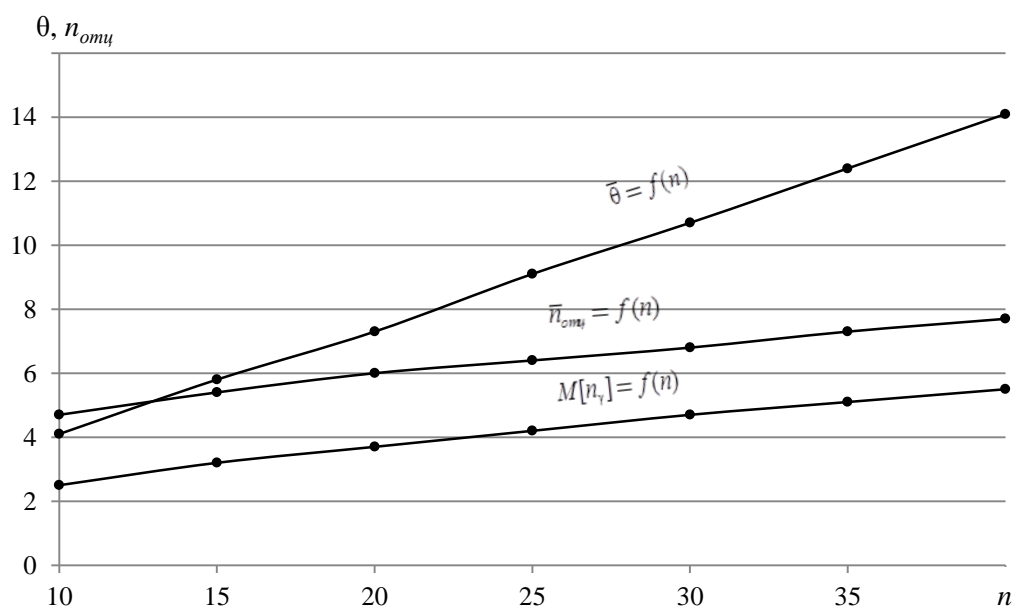


Рис. 3.3 – Зависимость параметров потоков составов от числа вагонов n

Как видно из рис. 3.3 все параметры потоков составов имеют прямопропорциональную зависимость от числа вагонов n , близкую к линейной, однако, наибольший рост при увеличении числа вагонов происходит с числом логических групп в составе.

Процесс формирования многогруппных составов на вытяжном пути отличается значительными объемами маневровой работы, что непосредственно влияет на его продолжительность. Такая проблема особенно заметна при наличии для формирования ограниченного числа путей и/или в случае большого числа логических групп в исходном составе.

В таких условиях формирование многогруппного состава различными методами может существенно отличаться по его продолжительности.

Процесс формирования многогруппных составов с помощью сортировочной горки характеризуется более высокой скоростью сортировки вагонов, что положительным образом влияет на его продолжительность.

В то же время, даже при наличии рационального плана маневровой работы, при скатывании вагонов с горки оператору горочного поста сложно обеспечить

остановку вагонов таким образом, чтобы при вытягивании их с конкретного пути первый из них находился бы строго у предельного столбика. Точность остановки вагонов зависит от наличия хорошо заметной из распорядительного или исполнительного поста разметки на пути, от опыта оператора горочного поста в прицельном торможении вагона и величины уклонов путей. В этой связи возможны случаи появления недокатывания вагонов до необходимой точки, или же, напротив, проследование ими указанной точки. Это приведет, соответственно, к необходимости проталкивания вагонов на пути, или к необходимости заезда при сборке за предельный столбик на некоторое расстояние, что, в конечном счете, увеличит продолжительность этих операций. В разработанной имитационной модели возникновение таких ситуаций не учитывается из соображения, что подобная проблема может возникать при использовании любого метода, а значит, погрешность результатов моделирования этими методами будет сравнимой.

3.2.1. Определение аналитических зависимостей продолжительности формирования многогруппных составов от различных факторов.

При планировании маневровой работы с многогруппными составами на станции на оперативные периоды для маневрового или станционного диспетчера может оказаться важной возможность ее временной оценки, при этом высокая точность такой оценки, как правило, несущественна. В этом случае использование какой-либо системы принятия решений или иных средств АРМа диспетчера представляется избыточным и нецелесообразным.

Вычислительные эксперименты с разработанной имитационной моделью позволили установить зависимости продолжительности формирования T_{ϕ} от параметров состава для всех рассматриваемых методов при использовании различных типов сортировочных устройств (вытяжной путь, горка). По результатам исследований получены семейства зависимостей продолжительности формирования от числа используемых путей и числа вагонов в составе $T_{\phi} = f(m, n)$ для разных методов. Указанные зависимости приведены на рис. 3.2, а (формирование составов на вытяжном пути) и на рис. 3.2, б (формирование на горке).

Как показал анализ полученных результатов, некоторые методы нельзя сравнивать между собой при всех возможных значениях числа групп в составе. Так, методами ОСМ и ДСМ можно формировать составы только с ограниченной величиной θ , и поэтому не для всех составов потока были получены значения T_Φ . Исключение же таких составов может повлиять на средние значения времени формирования потока составов, и поэтому для указанных методов при построении зависимостей $T_\Phi = f(m, n)$ рассматривалось лишь то число путей, которое позволяет формировать все составы потока.

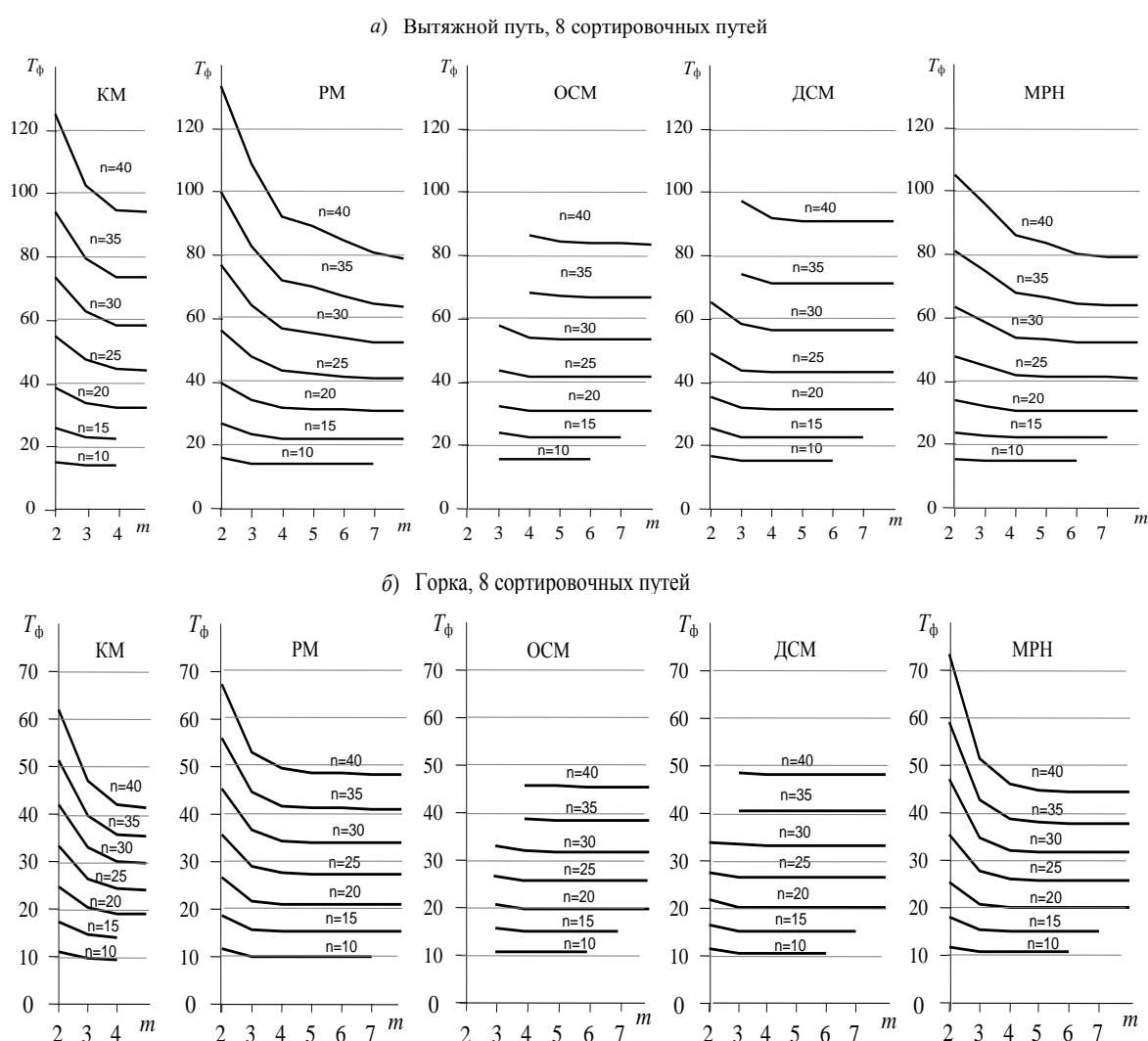


Рис. 3.2 – Семейство зависимостей $T_\Phi = f(m, n)$: а) – вытяжной путь, б) – горка

На основе полученных в результате моделирования данных для каждого из методов были определены статистическими методами зависимости $T_\Phi = f(m, n)$.

Установлено, что минимальную остаточную дисперсию обеспечивают зависимости вида:

$$T_{\phi} = e^{(b_0 + b_1 \cdot \ln n + b_2 \cdot \ln m + b_{12} \cdot \ln n \cdot \ln m + b_{11} \cdot (\ln n)^2 + b_{22} \cdot (\ln m)^2)}, \quad (3.1)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – эмпирические коэффициенты уравнения; значения указанных коэффициентов для рассматриваемых методов приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Коэффициенты зависимости времени T_{ϕ} от числа вагонов n и путей m

Метод	СУ	Эмпирический коэффициент						Остаточная дисперсия D
		b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}	
КОМ	В/П	0.46945	0.73972	-0.34260	-0.12189	0.17819	0.20447	0.3245
	ГММ	0.25243	0.99202	-0.61263	-0.14761	0.07297	0.30661	0.6452
РОМ	В/П	0.63778	0.47324	0.06066	-0.22667	0.24646	0.13912	0.8991
	ГММ	0.17161	0.97964	-0.57158	-0.10337	0.08189	0.25930	0.9587
ОСМ	В/П	2.06381	-0.34701	-0.08581	0.31174	-0.04225	0.05994	0.1491
	ГММ	0.44252	-0.12023	-0.42567	0.12456	-0.08965	0.09456	0.4567
ПСМ	В/П	1.74683	-0.23631	-0.05801	0.33548	-0.14293	0.15216	0.2729
	ГММ	0.28954	-0.45236	-0.09856	0.27578	-0.19555	0.21259	0.7412
МРН	В/П	1.05341	0.21774	0.23572	0.25172	-0.18921	0.07752	0.4276
	ГММ	0,30258	0.15578	0.19225	0.17558	-0.28356	0.10265	0.6895

Анализируя результаты исследований зависимостей $T_{\phi} = f(m, n)$ в различных условиях можно отметить следующее:

- зависимости времени формирования T_{ϕ} от числа вагонов в составе нелинейны;
- эффект от увеличения числа сортировочных путей m возрастает с ростом числа вагонов n в составе;
- время формирования составов резко уменьшается при увеличении числа путей с 2 до 4; при дальнейшем его увеличении указанный эффект уменьшается;
- использование горки особенно эффективно при формировании составов с большим числом вагонов n (25–40);

– полученные зависимости позволяют с достаточной точностью оценить планируемое время формирования T_{ϕ} конкретного состава в существующих условиях конкретной станции.

3.2.2. Определение частоты использования методов формирования. В процессе анализа и исследования различных методов формирования интересным представляется определение частоты, с которой их использование обеспечивает минимальное время формирования составов потока.

С этой целью выполним вычислительные эксперименты с разработанной моделью для потоков составов с $n=10..40$ ваг с шагом $\Delta n=5$ ваг; при этом в качестве сортировочного устройства рассмотрим вытяжной путь и горку малой мощности, а для формирования использовалось 4 сортировочные пути.

Результаты исследований приведены в Приложении Б; фрагмент результатов приведен в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Частота использования различных методов для формирования потока составов

Тип СУ	n	m	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
Вытяжной путь	15	2	14,9	9,6	-	19,3	56,3
		3	19,6	4,4	4,4	43,9	27,6
		4	23,9	13,7	14,9	26,3	21,1
	25	2	21,0	11,8	-	-	67,3
		3	7,4	9,0	5,5	61,9	16,2
		4	9,0	13,6	41,6	11,4	24,4
	35	2	15,8	4,0	-	-	80,3
		3	14,0	1,8	-	57,5	26,8
		4	3,8	5,8	46,0	8,5	35,9
Горка	15	2	27,4	4,2	-	42,6	25,7
		3	45,9	8,6	6,7	25,3	13,6
		4	71,2	7,0	7,8	8,3	5,7
	25	2	65,8	9,8	-	-	24,5
		3	38,2	8,3	5,1	32,8	15,6
		4	81,0	2,5	8,4	5,7	2,5
	35	2	77,5	8,0	-	-	14,5
		3	54,6	2,3	-	26,3	16,8
		4	87,7	0,1	7,9	1,1	3,1

С целью наглядности и компактности представим полученные результаты в графическом виде (рис. 3.3).

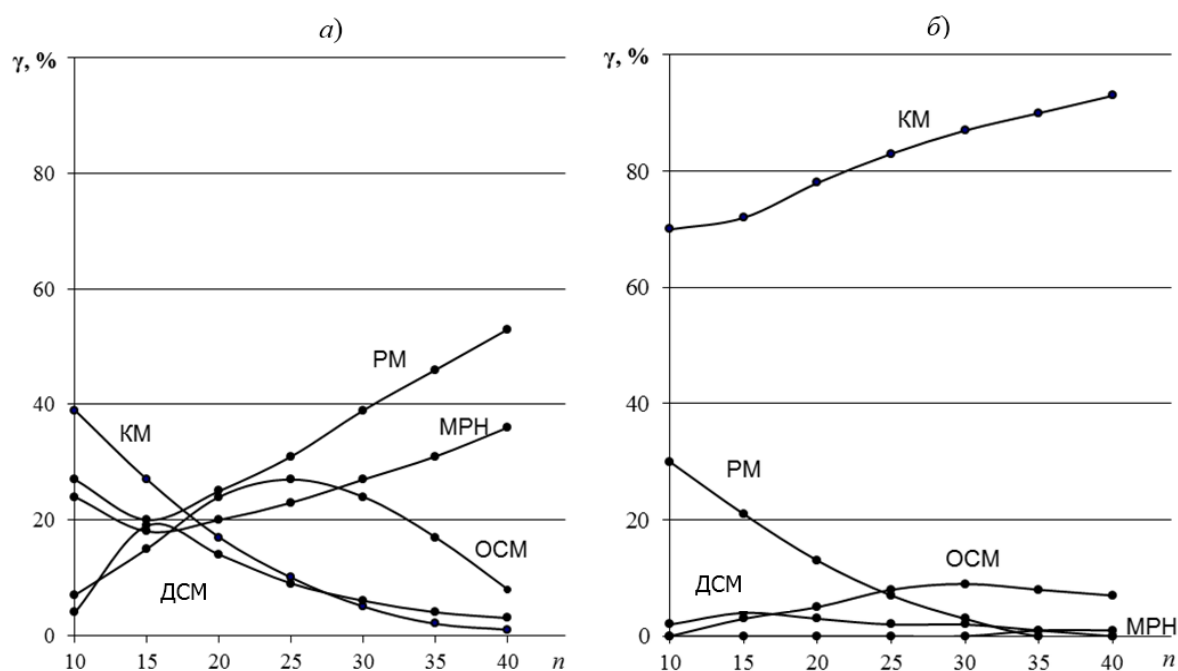


Рис. 3.3 – Распределение частоты использования методов с использованием 4-х путей: *а)* на вытяжном пути, *б)* на горке малой мощности

Как следует из рисунка 3.3, минимальное время формирования составов различных потоков на вытяжном пути обеспечивается разными методами практически в равных пропорциях в зависимости от параметров этих потоков. Таким образом, можно отметить, что не существует однозначно лучшего метода формирования на вытяжном пути, вследствие чего необходимо для каждого состава определять время формирования T_{ϕ} каждым из рассматриваемых M методов, после чего следует выбрать среди полученных значений минимальное $T_{\phi_{\min}}$.

В то же время на сортировочной горке наиболее чаще минимальное время формирования состава обеспечивается лишь при использовании комбинаторного метода (особенно для длинных составов) и распределительного метода (для коротких составов); доля прочих методов на данном сортировочном устройстве не значительна. Таким образом, при формировании многогруппных составов на горке, для обеспечения минимального его времени $T_{\phi_{\min}}$ достаточно сравнивать лишь времена

T_{ϕ} , полученные при формировании комбинаторным и распределительным методами, а затем выбрать из указанных значений минимальное.

3.2.3. Сравнительный анализ методов формирования. Рассматриваемые методы имеют как схожие, так и отличающие их черты. С целью сравнения методов были выполнены исследования и оценка эффективности выбора рациональной схемы для каждого из рассматриваемых составов при заданных условиях формирования. Оценить указанный эффект можно относительной величиной размаха выборки \tilde{n}_0 значений времени формирования δT_{ϕ} для каждого состава:

$$\delta T_{\phi} = \frac{t_{\phi\max} - t_{\phi\min}}{t_{\phi\min}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где $t_{\phi\max}, t_{\phi\min}$ – продолжительность формирования состава, соответственно, по лучшей и худшей из \tilde{n}_0 схем выборки.

Величина δT_{ϕ} для некоторого состава показывает, какое максимальное сокращение времени формирования t_{ϕ} данного состава возможно при выборе наилучшей схемы.

Для примера на рис. 3.4 приведено распределение случайной величины δT_{ϕ} для потока 200 составов из 35 вагонов при использовании метода КМ; для формирования использовались 4 сортировочные пути.

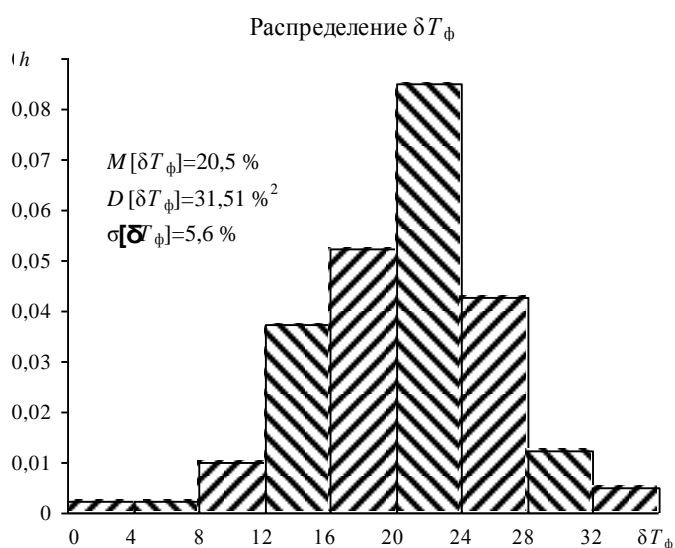


Рис. 3.4 – Распределение δT_{ϕ} при формировании комбинаторным методом составов из 35 вагонов на вытяжном пути с использованием 4-х путей.

При выборе для каждого состава рациональной схемы формирования затраты времени будут минимальны. При формировании состава с использованием случайно выбранной схемы продолжительность формирования можно оценить ее средним значением:

$$\bar{t}_{\phi} = \frac{1}{n_0} \sum^{n_0} t_{\phi},$$

Тогда относительный эффект от поиска рациональной схемы формирования можно определить как:

$$e = \frac{\bar{t}_{\phi} - t_{\phi\min}}{t_{\phi\max}} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

Как показали исследования, случайная величина δT_{ϕ} имеет близкое к нормальному распределение; следовательно, среднюю величину \bar{t}_{ϕ} можно приближенно найти как:

$$\bar{t}_{\phi} = \frac{t_{\phi\min} + t_{\phi\max}}{2}, \quad (3.4)$$

Тогда, очевидно, что эффект от оптимизации схемы формирования e (3.3) составляет половину от относительного размаха δT_{ϕ} (3.2).

Результаты оценки эффекта от поиска рациональной схемы для рассматриваемых методов при формировании составов с числом вагонов $n = 15, 25, 35$ и использовании $m = 2, 3, 4$ путей и разных типов сортировочных устройств приведены в табл. 3.7.

Как видно из табл. 3.7, оптимизация схемы формирования составов позволяет уменьшить его продолжительность на 5-20%. В этой связи в дальнейших исследованиях для каждого состава в качестве расчетного принималось минимальное время формирования, которое может быть достигнуто при заданных условиях и выборе рациональной схемы.

Эффект e от выбора рациональной схемы формирования составов

Тип СУ	n	m	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
Вытяжной путь	15	2	4,6	10,6	-	8,1	7,7
		3	6,8	13,2	8,2	15,9	8,8
		4	8,1	11,4	10,7	15,5	9,5
	25	2	8,6	12,1	-	-	6,8
		3	9,3	14,9	5,7	17,3	9,3
		4	10,4	14,9	11,4	15,4	11,2
	35	2	9,5	10,1	-	-	5,6
		3	10,7	10,7	-	17,2	9,1
		4	10,7	14,5	10,1	14,9	12,3
Горка	15	2	3,8	11,5	-	7,0	6,2
		3	5,4	13,5	10,9	13,9	11,8
		4	7,2	12,2	12,7	13,8	12,2
	25	2	6,2	11,0	-	-	6,5
		3	7,6	15,1	7,9	15,4	14,4
		4	9,0	14,2	13,1	15,5	16,1
	35	2	6,2	8,4	-	-	5,8
		3	7,3	9,5	-	15,2	17,1
		4	7,5	11,7	12,2	15,3	18,8

Далее была выполнена сравнительная оценка эффективности рассматриваемых методов формирования. Как показали исследования, при каждом сочетании параметров m и n существует метод $\hat{M}(m,n)$, частота f использования которого выше чем у остальных методов $f_{\max} = f(\hat{M})$. При этом на горках это, как правило, комбинаторный метод. На вытяжных путях наиболее часто использовались методы ДСМ, МРН и ОСМ; при этом выбор лучшего метода $\hat{M}(m,n)$ определяется сочетанием параметров m и n .

Как следует из табл. 3.6, максимальная частота f_{\max} (выделенные клетки) изменяется в достаточно широких пределах (от 26 до 88%), однако, она во всех случаях меньше 100%. Следовательно, не существует метода, который был бы лучшим для всех составов потока при любых заданных условиях формирования и параметрах составов. Отсюда, может быть сделан вывод о том, что для минимизации време-

ни формирования составов на станции необходимо для каждого из них выбирать наилучшие метод и схему формирования.

Для оценки эффективности такого подхода было рассмотрено два возможных варианта организации формирования на станции. В первом варианте для каждого из составов определялись метод и схема формирования, обеспечивающие его минимальную продолжительность. Во втором варианте формирование всех составов потока осуществлялось одним и тем же методом и без выбора наилучшей схемы; при этом время формирования принималось равным среднему из предельных для данного состава значений (3.4). По второму варианту расчеты были выполнены для всех пяти рассматриваемых методов.

Эффект от оптимизации процесса формирования составов оценивался относительной величиной τ_M сокращения его продолжительности для каждого из методов:

$$\tau_M = \frac{\bar{t}_{\phi, M} - \bar{t}_{\text{опт}}}{\bar{t}_{\phi, M}} \cdot 100\%,$$

где $\bar{t}_{\phi, M}$ – среднее время формирования состава заданного потока методом M без выбора наилучшей схемы для каждого из составов;

$\bar{t}_{\text{опт}}$ – то же, при условии выбора наилучшего метода и схемы формирования для каждого из составов.

Величины τ_M были определены для всех пяти рассматриваемых методов при разном техническом оснащении станций (тип сортировочного устройства, число путей m) и различном числе вагонов в составах n ; результаты расчетов приведены в табл. 3.7.

Как видно из полученных данных, оптимизация процесса формирования в зависимости от условий позволяет сократить затраты времени на его реализацию от 10 до 30%.

Таким образом, предложенная методика совершенствования процесса формирования многогруппных составов обеспечивает достаточно ощутимый эффект, не требуя при этом значительных капиталовложений на ее реализацию.

**Оценка эффективности выбора рациональных метода и схемы формирования
для каждого состава**

Тип СУ	n	m	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
Вытяжной путь	15	2	17,4	26,4	-	21,9	12,1
		3	14,2	22,4	17,4	20,4	14,5
		4	13,9	18,1	16,2	21,4	14,6
	25	2	22,3	28,1	-	-	9,2
		3	17,4	24,0	15,7	21,7	15,8
		4	19,1	22,8	15,2	23,2	15,7
	35	2	23,3	28,4	-	-	7,1
		3	20,4	23,7	-	23,3	14,0
		4	20,8	23,8	13,7	23,3	16,3
Горка	15	2	9,6	23,0	-	11,0	12,0
		3	8,4	14,5	20,7	22,0	19,8
		4	8,4	22,8	20,7	22,0	20,2
	25	2	8,7	20,5	-	-	15,1
		3	9,7	25,2	17,3	19,8	21,1
		4	10,4	27,0	21,2	26,1	26,1
	35	2	8,0	17,7	-	-	19,5
		3	9,0	21,4	-	20,9	27,6
		4	8,5	26,2	21,6	28,1	30,3

3.3. Выбор рациональной схемы формирования многогруппных составов

Число возможных схем формирования состава, среди которых осуществляется поиск рациональной схемы, зависит от принятого способа выбора ЛНГ для нумерации вагонов состава. Так, в [49] возможное число используемых ЛНГ θ в составе ограничивалось ближайшим максимальным значением числа групп $\theta \leq G_N^{(m)}$ (критическое значение), при котором данный состав может быть сформирован на m путях за N этапов. Такой подход позволяет минимизировать число этапов формирования рассматриваемого состава выбранным методом при использовании m путей сортировочного парка.

Указанное ограничение числа используемых ЛНГ, наряду с минимизацией числа этапов формирования, приводит и к сокращению числа возможных схем формирования состава, среди которых осуществляется поиск схемы с минимальным временем. Особенно часто указанный недостаток ограничения $\theta \leq G_N^{(m)}$ имеет место, когда величина θ приближается к $G_N^{(m)}$, в результате чего число возможных схем формирования Z резко сокращается, а при $\theta = G_N^{(m)}$ $Z = 1$. При этом, как показал анализ, увеличение числа этапов формирования N и, соответственно, снятие указанного ограничения позволяет существенно расширить число рассматриваемых схем и в результате найти схему с меньшим временем формирования, чем при начальном значении N .

В этой связи были выполнены исследования указанной проблемы с целью совершенствования существующей методики оптимизации выбора схемы формирования многогруппных составов и выработки обоснованных рекомендаций для ее практической реализации.

Целью исследований является решение двух основных задач: определение совокупности номеров ЛНГ, с использованием которых осуществляется построение множества схем формирования и выбор методики поиска лучшей схемы формирования в полученном множестве.

Для этого был выполнен анализ двух наиболее распространенных методов формирования, на базе которых определялось распределение вагонов по путям сортировочного парка на каждом этапе формирования.

Как было отмечено выше, в результате варьирования выбора ЛНГ вагонов состава образуется некоторое множество схем формирования $\Sigma = \{\sigma_i | i = 1..Z\}$, объем которого Z может быть определен как

$$Z = \frac{G_N^{(m)}!}{\theta! \cdot (G_N^{(m)} - \theta)!}, \quad (3.5)$$

Поиск рациональной схемы в данном множестве может осуществляться как путем полного перебора (когда число схем Z множества невелико), так и с помощью статистического подхода (поиск лучшей схемы в случайной выборке $\tilde{n}_0 = 299$

схем) [49, 76]. Таким образом, объем \tilde{n}_0 выборки схем, в которой производится поиск рациональной схемы, составляет:

$$\bar{n}_0 = \begin{cases} Z, & \text{при } Z \leq 299, \\ 299, & \text{при } Z > 299. \end{cases} \quad (3.6)$$

Необходимость использования статистического подхода для поиска рациональной схемы диктуется существенным временем τ расчетов для полного перебора схем при значительном объеме множества Z .

Пример множества схем Σ формирования многогруппного состава из трех групп ($\theta = 3$) на трех путях ($m = 3$) комбинаторным методом приведен в табл. 3.8.

В данном случае состав может быть сформирован за три этапа ($N = 3$); при этом критическое число групп $G_3^{(3)} = 4$ и в соответствии с (3.5) число возможных схем формирования $Z = 4$.

Таблица 3.8

Множество Σ схем формирования состава из 3-х групп

Множество схем	ЛНГ вагонов, используемые в схемах			
	0	1	2	3
1 схема	0	1	2	3
2 схема	0	1	2	3
3 схема	0	1	2	3
4 схема	0	1	2	3

Как видно из табл. 3.8, множество схем формирования образуется за счет пропуска одного номера группы (зачеркнут), поскольку $G_3^{(3)} - \theta = 4 - 3 = 1$. Возможный выбор схемы приводит к различному распределению вагонов на трех путях в процессе их сортировки. При этом в процессе формирования многогруппного состава в возрастающем порядке номеров, вагоны старших групп по прежнему будут находиться за вагонами младших групп что позволит по окончанию подборки получить корректно сформированный состав с необходимым расположением групп вагонов.

Следует отметить, что для большинства методов формирования при заданном числе путей m существует множество критических значений $\{G_i^{(m)} \mid i - 1 = N, i \in \mathbb{N}\}$;

каждое последующее из этих значений требует увеличения числа этапов формирования N на единицу. При этом, в случае совпадения числа ЛНГ θ с одним из критических значений $G_i^{(m)}$ возможна лишь единственная схема формирования, обеспечивающая формирование состава за соответствующее число этапов N . В то же время, когда $\theta < G_i^{(m)}$, число схем формирования Z (4.1) может оказаться весьма значительным; в этом случае появляется возможность выбора схемы формирования многогруппного состава с минимальным временем [49, 76]. Как показал анализ, эффективность поиска рациональной схемы формирования многогруппных составов для разных методов составляет от 10 до 30 %.

Дальнейшие исследования комбинаторного (КМ) и распределительного (РМ) методов позволили обнаружить возможность улучшения результатов оптимизации, связанную с расширением множества Σ схем формирования. Как оказалось, в большинстве случаев, особенно, когда $Z \rightarrow 1 | G_i \approx \theta$ целесообразно вести поиск рациональной схемы формирования не в начальном множестве схем $\Sigma = \{\sigma_i | i = 1..Z\}$, а в расширенном $\Sigma^{+1} = \{\sigma_i | i = 1..Z^{+1}\}$, число схем которого $Z^{+1} > Z$. Данное множество образуется, когда вместо числа $G_i^{(m)}$ используется следующее критическое число групп $G_{i+1}^{(m)}$, при котором число этапов формирования состава увеличивается на единицу.

Для иллюстрации эффекта от выбора рациональной схемы из множества Z^{+1} на рис. 3.5 построена зависимость минимального времени формирования T_{ϕ} от числа групп состава θ на трех путях с помощью методов КМ и РМ.

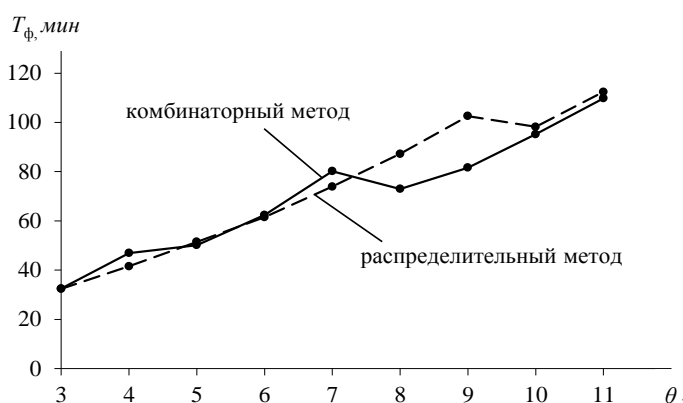


Рис. 3.5. Зависимость $T_{\phi} = f(\theta)$ для методов КМ и РМ

Как видно из рис. 3.5, в случае, когда число ЛНГ в составе $\theta = G_i^{(m)}$ (при $m = 3$ для КМ $G_i^{(3)} = 7$, а для РМ $G_i = 9$) время формирования T_ϕ больше, чем у состава из $\theta + 1$ групп, несмотря на меньшее на единицу число этапов N формирования. Это объясняется наличием большего числа схем в расширенном множестве Σ^{+1} , среди которых существует схема $\hat{\sigma}(\Sigma^{+1})$ с более рациональным порядком распределения вагонов по путям.

Для иллюстрации эффективности поиска рациональной схемы формирования в расширенном множестве рассмотрим пример формирования состава, действительные номера назначений (ДНН) вагонов которого имеют следующее начальное расположение:

5	3	3	4	4	4	1	1	0	6	6	6	6	2	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

В табл. 3.9 для вагонов каждого ДНН приведены ЛНГ γ_i многогруппного состава и соответствующие ему F -коды сортировки вагонов методом КМ, по которым определяется путь назначения каждого вагона состава на каждом этапе формирования. При этом для сравнения приведены данные для единственной схемы формирования начального множества Σ и лучшей схемы расширенного множества Σ^{+1} .

Таблица 3.9

 F -коды ЛНГ множеств Σ и Σ^{+1}

Единственная схема множества Σ			Лучшая схема множества Σ^{+1}		
ДНН	ЛНГ	F -коды	ДНН	ЛНГ	F -коды
0	0	011	0	0	0110
1, 2	1	010	-	1	0101
3, 4, 5	2	001	-	2	0100
5, 6	3	000	1, 2	3	0011
-	-	-	3, 4, 5	4	0010
-	-	-	-	5	0001
-	-	-	5, 6	6	0000

Для наглядности на рис. 3.6 приведен пример формирования рассматриваемого состава с использованием единственной схемы $\hat{\sigma}(\Sigma) = \sigma_1(\Sigma) | Z = 1$ начального множества (рис. 3.6, а) и лучшей схемы $\hat{\sigma}(\Sigma^{+1}) | Z^{+1} = 7$ расширенного множества Σ^{+1} (рис. 3.6, б). Принято, что перед началом формирования многогруппный состав находится на первом сортировочном пути. Вагоны, поступающие на пути на каждом этапе, выделены жирным шрифтом. Стрелками показаны пути, с которых вытягиваются вагоны на вытяжной путь для дальнейшей сортировки на каждом этапе формирования.

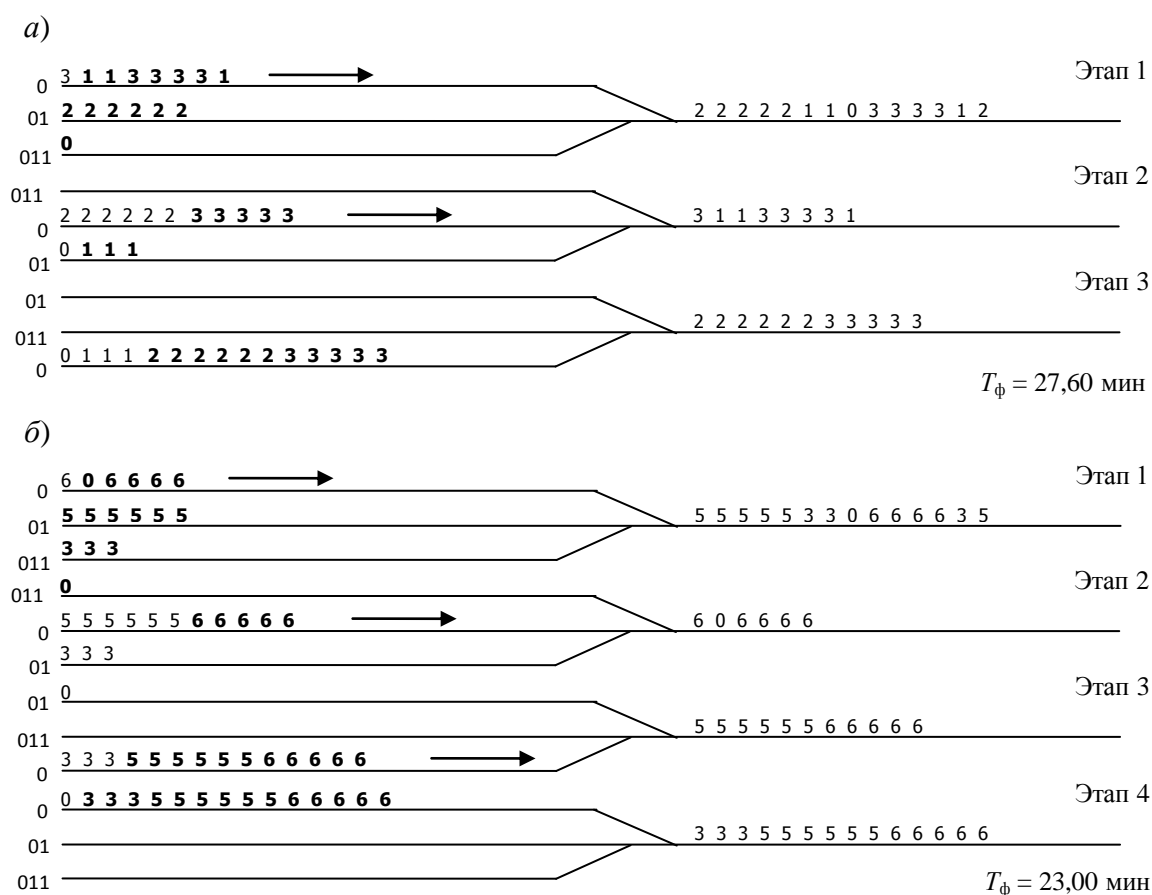


Рис. 3.6. Пример формирования многогруппного состава комбинаторным методом:

а) по единственной схеме множества Σ ; б) по лучшей схеме множества Σ^{+1}

Как показал анализ, переход от $G_i^{(3)}$ к следующему критическому значению $G_{i+1}^{(3)}$ позволил получить вместо одной схемы формирования (рис. 3.6, а) при которой время $T_\phi = 27,60$ мин, множество из 1287 схем, среди которых имеется наиболее рациональная схема (рис. 3.6, б) с $T_\phi = 23,00$ мин. Таким образом, несмотря на уве-

личение числа этапов формирования N , эффект от расширения множества схем в данном примере составил порядка 17 %, что объясняется уменьшением числа рейсов формирования R и суммарного числа перемещаемых вагонов.

В приведенном примере после перехода к $G_{i+1}^{(3)}$ число этапов N формирования увеличилось на единицу. Однако, существуют случаи, когда, несмотря на увеличение теоретического числа этапов N на единицу, их фактическое число N^* не возрастает вовсе, или же растет не существенно. Так, на рис. 3.7 показан пример формирования многогруппного состава методом КМ при поиске рациональной схемы на множестве Σ^{+3} ; при этом неэффективный 5-й этап формирования может быть исключен, так как при этом не производятся целесообразные перемещения (все вагоны, стоящие на одном пути, перемещаются на другой путь), хотя данный этап включается в схему формирования данным методом.

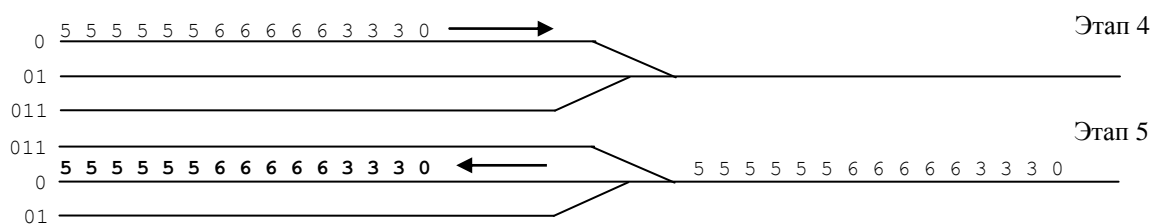


Рис. 3.7. Пример нецелесообразных перемещений многогруппного состава

Кроме того, довольно часто встречаются случаи, когда при формировании многогруппного состава по схемам расширенных множеств некоторые, из имеющихся для формирования сортировочных путей, не используются в отдельных схемах; за счет этого уменьшается общее число рейсов перемещения вагонов, что в результате сокращает время формирования T_{ϕ} многогруппного состава.

Для оценки эффективности расширения множества Σ схем формирования многогруппных составов с помощью разработанной имитационной модели [81] были выполнены необходимые вычислительные эксперименты. Для моделирования были подготовлены данные о потоках из 200 составов, различающихся числом ЛНГ θ ($\theta = 3..10$); при этом число вагонов в составах потока равно 35. Формирование составов осуществлялось методами КМ и РМ на трех путях ($m = 3$).

С помощью указанной модели были выполнены исследования и оценка эффективности выбора рациональной схемы из начального Σ и расширенного Σ^{+1} множеств для каждого состава из рассматриваемого потока. Оценить указанный эффект для каждого состава можно относительной величиной сокращения времени формирования ΔT_{ϕ} по лучшим схемам формирования $\hat{\sigma}(\Sigma)$ и $\hat{\sigma}(\Sigma^{+1})$ обоих множеств:

$$\Theta = \frac{T_{\phi}(\Sigma) - T_{\phi}(\Sigma^{+1})}{T_{\phi}(\Sigma)} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

где $T_{\phi}(\Sigma), T_{\phi}(\Sigma^{+1})$ – средняя продолжительность формирования составов по лучшим схемам, соответственно, начальных Σ и расширенных Σ^{+1} множеств.

Результаты исследований эффективности выбора рациональных схем из начального Σ и расширенного Σ^{+1} множеств при формировании составов на трех путях методами КМ и РМ приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Результаты оптимизации выбора схемы формирования состава на базе расширенных множеств Σ^{+1}

θ	Параметры начального множества Σ			Параметры расширенного множества Σ^{+1}			
	$G_i^{(3)} / N$	Z	$T_{\phi}^{\text{м}}$	$G_{i+1}^{(3)} / N$	Z^{+1}	$T_{\phi}^{\text{м}}$	$T_{\phi}^{\text{ст}}$
а. Комбинаторный метод							
3	4/4	4	32,46	7/5	35	30,12	-
4		1	46,95		35	41,03	-
5	7/5	21	50,16	13/6	1287	47,32	49
6		7	62,38		1716	56,52	58,94
7		1	80,19		1716	63,72	66,6
8	13/6	1287	72,96	24/7	735471	67,47	79,37
9		715	80,22		1307504	72,57	85,73
10		286	95,23		1961256	79,22	95,63

Продолжение таблицы 3.10

б. Распределительный метод							
3	3/2	1	32,42	9/3	84	31,2	-
4	9/3	126	41,57	27/4	17550	40,63	42,43
5		126	51,48		80730	48,8	54,16
6		84	63,23		296010	57,45	66,87
7		36	73,95		888030	64,77	77,04
8		9	87,23		2220075	73,63	87,05
9		1	120,57		4686825	80,64	93,93
10	27/4	8436285	86,2	81/5	$1,9 \cdot 10^{12}$	-	116,78

В данной таблице приведены для каждого рассмотренного значения числа групп в составе θ ($\theta = 3..10$) соответствующие критические значения числа групп для начальных $G_i^{(3)}$ и расширенных $G_{i+1}^{(3)}$ множеств схем; при этом в знаменателе показаны соответствующие значения числа этапов формирования (N для начальных и $N + 1$ – для расширенных множеств). Кроме того, для каждого θ приведены соответствующие значения числа схем Z и Z^{+1} (3.5) множеств Σ и Σ^{+1} , а также соответствующие минимальные значения времени формирования, полученные методами полного перебора T_{ϕ}^{mn} и статистическим T_{ϕ}^{ct} . При этом значение T_{ϕ}^{ct} в табл. 3.8 приводится только в случае, когда число схем расширенного множества превышает выборку $\tilde{n}_0 = 299$, то есть когда $Z^{+1} > \tilde{n}_0$; кроме того, в случае, когда время T_{ϕ}^{mn} в расширенном множестве не может быть получено из-за чрезмерного времени поиска ($\theta = 10$), в соответствующей строке табл. 3.8 проставлен символ «-».

Эффект (3.7) от расширения множества схем Σ для рассматриваемых методов, определенный по данным табл. 3.8, представлен зависимостями $\mathcal{E}_{\text{mn}} = f(\theta)$ и $\mathcal{E}_{\text{ct}} = f(\theta)$ (см. рис. 3.8); при этом для определения \mathcal{E}_{ct} использовались значения времени $T_{\phi}^{\text{mn}}(\Sigma)$ начального и $T_{\phi}^{\text{ct}}(\Sigma^{+1})$ расширенного множеств, а для расчета \mathcal{E}_{mn} – значения T_{ϕ}^{mn} этих множеств.

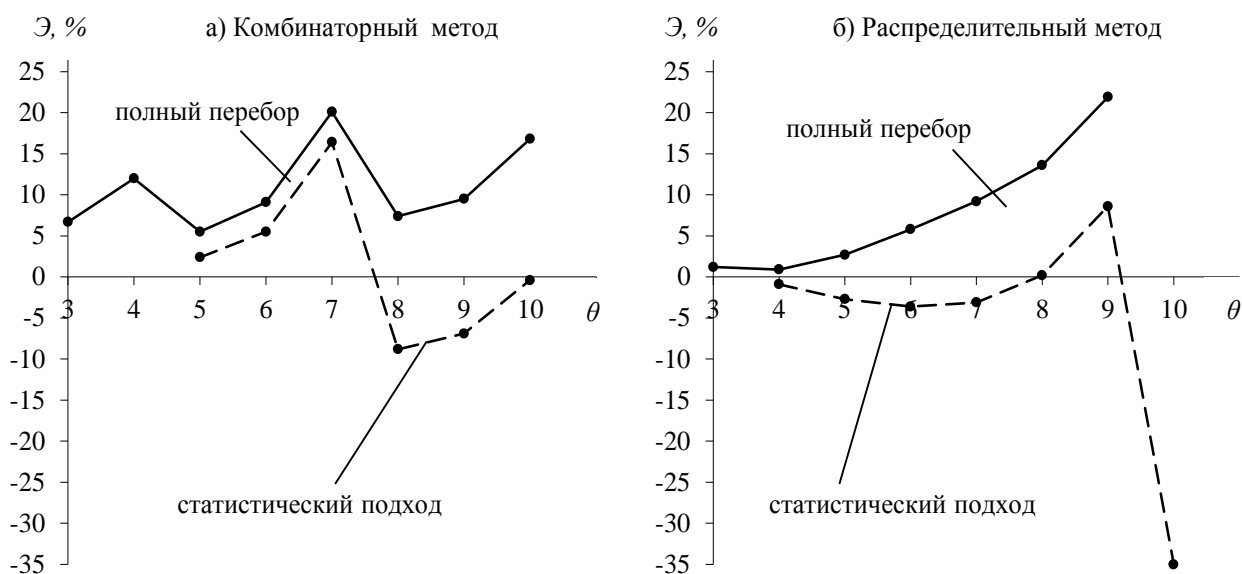


Рис. 3.8. Эффект от расширения множества схем:
а) комбинаторный метод; б) распределительный метод

Как видно из рис. 3.8, эффект от расширения числа схем в отдельных случаях достигает 20 %, что свидетельствует о целесообразности его использования.

Анализ зависимостей на рис. 3.8 показывает, что величина эффект Δ от расширения начального множества схем Σ зависит от соотношения значений Z и Z^{+1} ; при этом в случаях, когда $\theta = G_i^{(m)}$ и $Z = 1$ наблюдается локальный максимум эффекта Δ . При значительном числе Z множества (при $\theta < G_i^{(m)}$) – эффект Δ уменьшается.

В то же время следует заметить, что переход к следующему критическому значению $G_{i+1}^{(m)}$ и связанное с этим расширение начального множества Σ до Σ^{+1} может оказаться весьма значительным, в связи с чем поиск рациональной схемы полным перебором может оказаться практически невозможным из-за значительного времени расчетов. В таком случае выбор рациональной схемы возможен только с помощью статистического подхода на основе анализа выборки из $\tilde{n}_0 = 299$ схем. При этом, как видно из рис. 3.8, применение статистического подхода не всегда позволяет получить значительный эффект от расширения начального множества Σ схем, а при использовании распределительного метода этот эффект вообще может

оказаться отрицательным (рис. 3.8, б). Таким образом, расширение множества схем для примера, приведенного на рис. 3.8, когда поиск рациональной схемы производится с помощью статистического подхода, целесообразно, если в начальном множестве Σ была лишь одна схема; в прочих случаях выбор рациональной схемы выполняется из начального множества Σ .

Дальнейшие исследования показали наличие эффекта не только от первого расширения Σ^{+1} начального множества схем, но и от последующих расширений Σ^{+p} множества; величина $p = 0, 1, \dots$ была названа *степенью расширения*.

Эффект от расширения начального множества схем на величину p определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_p = \frac{T_\phi(\Sigma) - T_\phi(\Sigma^{+p})}{T_\phi(\Sigma)} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

С помощью имитационной модели были выполнены исследования потоков составов с различным числом групп θ и числом вагонов n ; при этом также варьировалось число путей m , используемых для формирования ($m = 2..5$).

Для иллюстрации эффекта от поиска рациональной схемы формирования на множествах $\Sigma^{+p} | p = 0..7$, в табл. 3.11 приведены их основные характеристики для состава из 15 вагонов, имеющего число ЛНГ $\theta = 4$, который формируется методом КМ на трех сортировочных путях ($m = 3$).

С целью определения эффективности применения статистического подхода для поиска рациональной схемы множеств $\Sigma^{+p} | p = 0..7$ в табл. 3.11 приведены указанные выше характеристики, полученные как при полном переборе всех Z^{+p} схем, так и при поиске лучшей схемы в случайной выборке $\tilde{n}_0 = 299$ схем.

**Результаты оптимизации выбора схемы формирования состава на базе
расширенных множеств $\Sigma^{+\rho}$**

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7
	полный перебор							
Z	1	35	715	10626	135751	$1,7 \cdot 10^6$	$19,7 \cdot 10^6$	$229,7 \cdot 10^6$
τ, c	0,1	0,4	0,9	2,2	33	528	4094	57436
$T_{\text{фmin}}$	21,88	18,83	16,85	15,75	15,75	14,86	14,86	14,86
N / N^*	3/3	4/4	5/4	6/4	7/4	8/4	9/4	10/4
R	11	10	10	9	9	8	8	8
$\mathcal{E}_\rho^{\text{пл}}, \%$	0	13,9	23	28	28	32,1	32,1	32,1
	выборка 299 схем							
Z	1	35	299	299	299	299	299	299
τ, c	0,1	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$T_{\text{фmin}}$	21,88	18,83	16,85	17,85	18,83	19,75	20,35	20,63
N / N^*	3/3	4/4	5/4	6/4	7/4	8/4	9/5	10/4
R	11	10	10	9	10	10	10	11
$\mathcal{E}_\rho^{\text{ст}}, \%$	0	13,9	23	18,4	13,9	9,7	7,0	5,7

Для наглядности на основе данных табл. 3.9 построены зависимости времени $T_{\text{ф}}(\Sigma^{+\rho}) = f(\rho)$ (рис. 3.9, а) и эффекта $\mathcal{E}_\rho = f(\rho)$ (рис. 3.9, б).

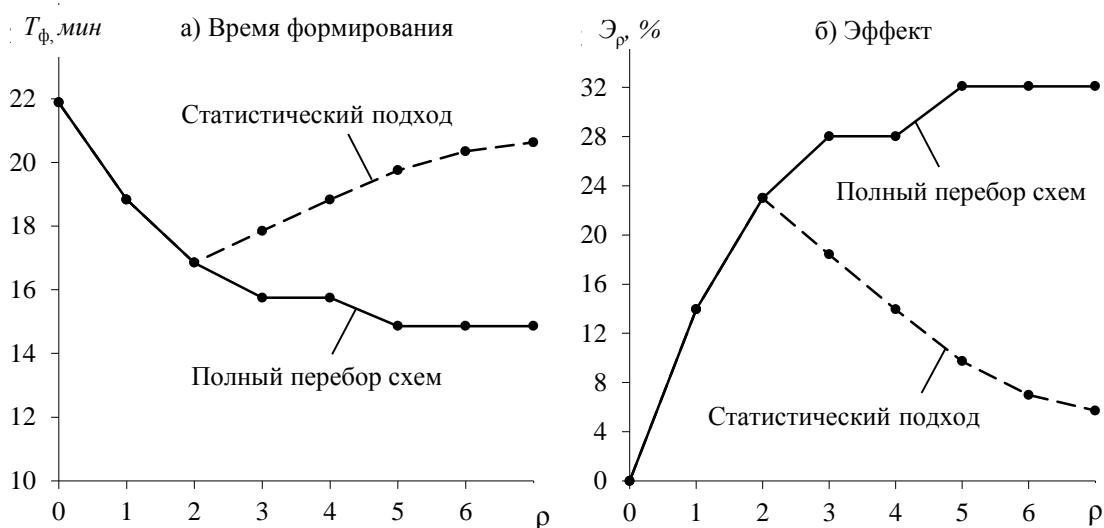


Рис. 3.9. Эффективность увеличения степени расширения ρ множества Σ для метода КМ: а) время формирования $T_{\text{ф}}(\Sigma^{+\rho}) = f(\rho)$; б) эффект $\mathcal{E}_\rho = f(\rho)$

Как видно из рис. 3.9, при поиске рациональной схемы полным перебором, эффект $\mathcal{E}_\rho^{\text{ин}}$ от расширения множества схем Σ^{+p} увеличивается по мере роста величины ρ ($\rho = 1..7$). При этом следует отметить интенсивный рост эффекта на начальном этапе расширения (увеличение ρ от 0 до 3); в дальнейшем ($\rho > 3$) приращение эффекта уменьшается, либо вообще прекращается. В то же время при использовании статистического подхода максимальный эффект $\mathcal{E}_\rho^{\text{ст}}$ достигается при $\rho=2$, после чего его величина существенно уменьшается.

Для детальной оценки эффективности увеличения степени расширения ρ начального множества Σ выполнены исследования процесса формирования для потоков составов с различным числом групп θ ($\theta = 3..8$) и числом вагонов n ($n = 15..45 \mid \Delta n = 5$) с использованием имитационной модели. Формирование указанных составов осуществлялось методами КМ и РМ на разном числе сортировочных путей m ($m = 2..5$).

Анализ полученных результатов при полном переборе схем множеств Σ^{+p} позволил установить следующие закономерности:

- с ростом степени расширения ρ множества Σ схем время формирования T_ϕ по рациональной схеме $\hat{\sigma}_\rho$ вначале интенсивно уменьшается, а потом остается прежним. При этом теоретическое число этапов N растет, а число фактических этапов формирования N^* практически не изменяется; при этом число рейсов R формирования экспоненциально приближается к своему минимуму;

- эффект \mathcal{E}_ρ от роста степени расширения ρ интенсивно растет при увеличении ρ от 0 до 3; дальнейшее увеличение ρ позволяет лишь незначительно уменьшить время T_ϕ , а соответственно, и полученный прирост эффекта будет довольно мал;

- с ростом степени расширения ρ наблюдается значительный рост числа схем Z полученного множества, среди которых осуществляется поиск рациональной схемы $\hat{\sigma}_\rho$. При этом увеличивается время τ поиска рациональной схемы $\hat{\sigma}_\rho$ множества Σ^{+p} .

Статистический метод для поиска рациональной схемы используется при степени расширения множества $\rho=2$ (при $Z > 299$); при этом можно отметить следующее:

- с ростом степени расширения ρ с 2 до 7 время T_ϕ увеличивается;
- эффект \mathcal{E}_ρ от расширения множества схем уменьшается с ростом значения ρ ;
- рост степени расширения не влияет на величину множества схем $\Sigma^{+\rho} | \rho > 2$, на котором осуществляется поиск лучшей схемы;
- время расчета τ параметров формирования состава незначительно и не увеличивается с ростом ρ .

Таким образом, увеличение степени расширения множества схем целесообразно в случае, когда их число допускает поиск рациональной схемы методом полного перебора. При этом максимальная степень расширения ограничивается задаваемыми параметрами: максимальной величиной времени поиска и минимальной величиной прироста эффекта от очередного расширения. При достижении одного из указанных параметров дальнейший поиск рациональной схемы прекращается ввиду его практической невозможности либо низкой эффективности, а в качестве рациональной принимается схема с наилучшими параметрами, удовлетворяющая заданным критериям.

Если же при очередном расширении множества $\Sigma^{+\rho}$ число схем увеличивается настолько, что использовать полный перебор невозможно, то в данном случае целесообразно применять статистический метод, если он обеспечивает увеличение эффекта; при этом обычно степень расширения $\rho \leq 2$.

3.4. Повышение эффективности получения ограниченной выборки схем

Выполненные исследования методов формирования позволили обнаружить возможность получения множества различных вариантов реализации каждого метода, которые были названы схемами формирования. В этой связи возникла задача выбора среди множества возможных схем рациональной схемы формирования с наилучшим значением критерия эффективности.

В случае, когда число возможных схем невелико, поиск осуществляется полным перебором всех схем множества, в результате чего отбирается схема с лучшим значением показателя эффективности (например, продолжительности формирования T_{ϕ}). При этом оценка T_{ϕ} для каждой схемы осуществляется на основе имитационного моделирования процесса формирования рассматриваемого состава с учетом используемых технических средств и путевого развития станции. В то же время при больших размерах выборки такой подход требует значительной продолжительности расчетов, а в некоторых случаях его выполнение за приемлемое время практически невозможно.

При этом следует заметить, что даже в тех случаях, когда начальное число схем невелико, как показали исследования [91], зачастую возникает необходимость искусственного расширения рассматриваемого множества схем, поскольку в их исходной группе могут отсутствовать схемы с достаточно малым временем T_{ϕ} . Поэтому указанная задача может быть отнесена к экстремальным комбинаторным задачам большой размерности, для решения которой был предложен статистический подход [81, 85]. В данной работе в результате исследований было установлено, что при достаточно большом числе возможных схем формирования Z продолжительность формирования состава T_{ϕ} можно рассматривать как случайную величину. Тогда рациональным решением можно считать непараметрический односторонний толерантный предел, в качестве которого принимается минимальное значение $T_{\phi_{\min}}$ в выборке объемом \tilde{n}_0 . Величина \tilde{n}_0 представляет собой тот минимальный объем выборки, при котором со статистической надежностью β можно утверждать, что, по крайней мере, доля α генеральной совокупности превышает наименьшее значение в выборке $T_{\phi_{\min}}$.

При этом нерешенной осталась задача выбора рациональных значений параметров α , β , от величины которых зависит объем выборки \tilde{n}_0 и, соответственно, выбор схемы формирования состава и его продолжительность T_{ϕ} .

Как следует из выполненного анализа рассматриваемой задачи, для повышения эффективности предложенного статистического метода необходимо установить рациональную величину объема выборки \tilde{n}_0 , при которой можно за приемлемое время найти схему, обеспечивающую близкое к минимальному время формирования состава. Поэтому в данной работе были выполнены исследования взаимосвязи между объемом выборки \tilde{n}_0 , продолжительностью анализа ее схем с использованием имитационного моделирования процесса формирования состава и полученным в результате временем формирования T_ϕ ; при этом для оценки эффективности результата текущие значения T_ϕ сравнивались с минимальным временем $T_{\phi min}$, полученным для всего множества возможных схем методом полного перебора. Результаты указанных исследований позволяют установить рациональный объем выборки \tilde{n}_0 , на основе анализа которой за допустимое время расчета может быть выбрана схема, обеспечивающая время формирования состава T_ϕ , близкое к минимальному.

Для оценки эффективности статистического метода была выполнена серия экспериментов с имитационной моделью процесса формирования многогруппных составов. Для обеспечения объективности результатов были подготовлены данные о 200 составах с различным числом вагонов (от 15-ти до 35-ти) и числом групп (от 3-х до 10-ти). Формирование указанных групп составов выполнялось при числе путей (от 2-х до 5-ти) разными методами с использованием различных сортировочных устройств (вытяжной путь, горка малой мощности).

По результатам имитационного моделирования процесса формирования составов были определены значения времени формирования по лучшим схемам, найденным как полным перебором всех Z схем множества $\Sigma (T_{\phi_{пп}}^{\hat{\sigma}})$, так и с помощью статистического метода ($T_{\phi_{см}}^{\hat{\sigma}}$). На основании этих данных определялось значение величины уменьшения эффекта $e_{пп}$ при использовании статистического метода по сравнению с полным перебором:

$$e_{пп} = \frac{T_{\phi_{см}} - T_{\phi_{пп}}}{T_{\phi_{см}}} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

Для иллюстрации зависимости степени уменьшения эффекта $e_{\text{пн}}$ от числа логических групп в составе θ в табл. 3.12 представлены результаты исследования формирования на 3-х сортировочных путях составов из 35 вагонов с числом групп от 3 до 10; формирование производилось с использованием вытяжного пути комбинаторным и распределительным методами.

Таблица 3.12

Результаты моделирования процесса формирования составов

θ	3	4	5	6	7	8	9	10
Комбинаторный метод								
Z	286	715	42504	134596	346104	$177 \cdot 10^6$	$71 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^9$
$T_{\text{фпп}}$	29.77	39.43	46.26	54.55	60.59	64.11	68.43	72.93
$T_{\text{фсм}}$	29.77	40.28	51.2	61.76	70.63	84.64	92.71	101.64
$e_{\text{пн}}$	0	2.1	9.6	11.7	14.2	24.3	26.2	28.2
Распределительный метод								
Z	2925	$1.7 \cdot 10^6$	$26 \cdot 10^6$	$0.3 \cdot 10^9$	$3.5 \cdot 10^9$	$32 \cdot 10^9$	$261 \cdot 10^9$	$164 \cdot 10^{15}$
$T_{\text{фпп}}$	31.05	40.53	48.15	56.78	63.91	71.03	76.12	-
$T_{\text{фсм}}$	32.21	44.65	58.89	74.16	86.5	98.7	109.33	136.79
$e_{\text{пн}}$	3.6	9.2	18.2	25.2	26.6	28.2	30.4	-

Для наглядности данные табл. 3.12 представлены на рис. 3.10 в графическом виде.

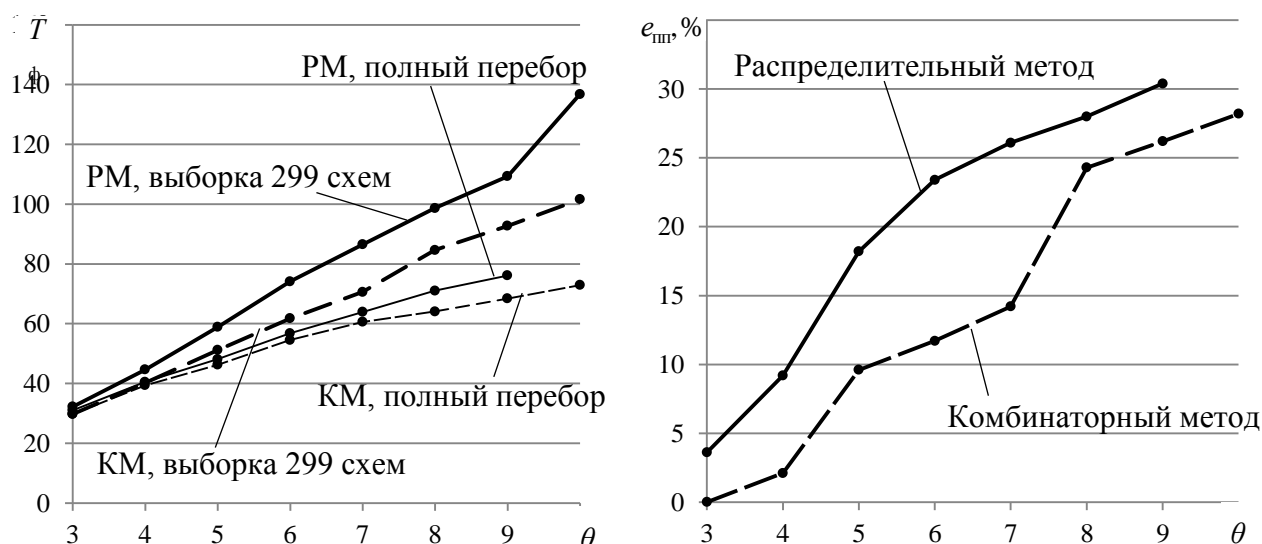


Рис. 3.10 – Влияние числа ЛНГ θ на показатели процесса формирования:

a – время формирования $T_{\text{ф}} = f(\theta)$; b – снижение эффекта от использования статистического метода $e_{\text{пн}} = f(\theta)$

Как видно из приведенных данных, снижение эффекта при использовании статистического метода возрастает с увеличением числа ЛНГ от 2.1 % до

28.2 % для комбинаторного метода, и от 3.6 % до 30.4 % для распределительного. При этом для составов из 10 логических групп оценка эффекта не была получена, так как полный перебор всех схем в данном случае не осуществим из-за их значительного числа. Таким образом, значительное снижение эффекта статистического метода наблюдается в тех случаях, когда число схем множества достаточно велико (10^6 и более).

С другой стороны, полный перебор всех Z схем множества, позволяющий установить наименьшее значение времени формирования состава $T_{\text{фп}}^{\hat{\sigma}}$, применим не во всех случаях в связи с существенным ростом числа схем Z , особенно при использовании распределительного метода. Это связано со значительным увеличением времени τ расчета схем для отдельного состава, и, соответственно, для всего потока составов.

Таким образом, для получения максимально возможного эффекта необходимо выработать определенные рекомендации относительно величины множества схем, при которой целесообразно применять статистический метод, а также выработать механизм повышения его эффективности. С этой целью рассмотрим показатели применяемого в [74, 81] статистического метода. Так, при использовании одностороннего непараметрического толерантного предела, для выборки $\tilde{n}_0 = 299$ схем в 95% случаев теряется не более 1% лучших схем по сравнению с полным их перебором.

Для проверки было выполнено сравнение распределений времени формирования для отдельных схем при их полном переборе ($Z=1961256$ схем) (рис. 3.11, а) и для выборки 299 схем (рис. 3.11, б).

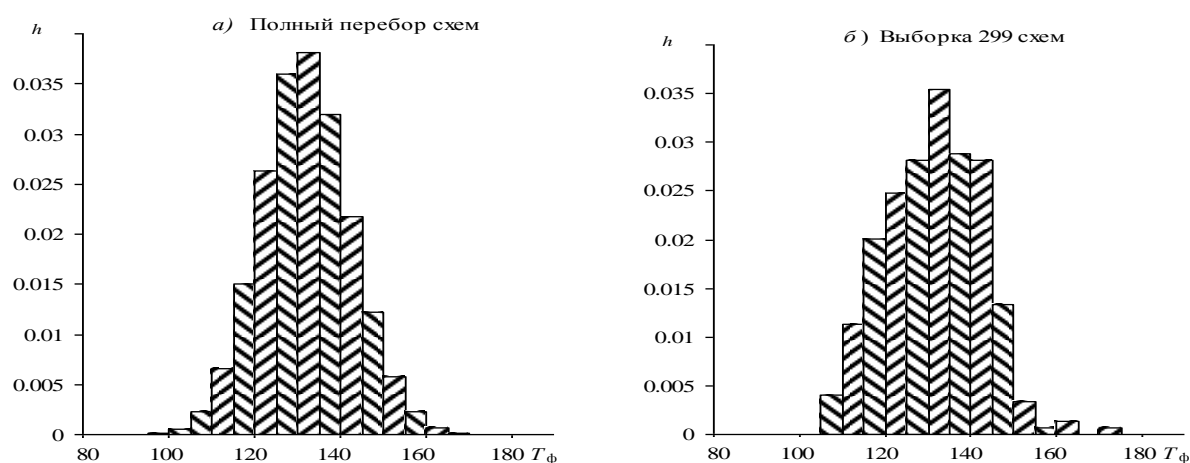


Рис. 3.11 – Распределение случайной величины времени $T_{\text{ф}}$:

а – при полном переборе схем; б – при использовании статистического метода

Диапазон изменения значений времени $T_{\text{фпп}}$ состава при полном переборе схем составляет от 80 до 190 мин, в то время как для выборки 299 схем время $T_{\text{фсм}}$ варьируется лишь в пределах от 105 до 175 мин. Доля схем со временем $T_{\text{фпп}}$, меньшим времени $T_{\text{фсм}}^{\hat{\sigma}}$, составляет лишь 0,67 % от объема их множества, но при этом время $T_{\text{фпп}}$ некоторых схем может оказаться значительно меньшим времени $T_{\text{фсм}}^{\hat{\sigma}}$. Однако, при этом следует учесть, что поиск рациональной схемы $\hat{\sigma}$ формирования состава полным перебором может потребовать значительного времени расчета τ_c , а при использовании статистического метода это время не превышает нескольких секунд.

В этой связи необходимо исследовать увеличения числа схем в выборке \tilde{n}_0 для более полного охвата лучших схем множества. Результаты выполненных вычислительных экспериментов с разработанной имитационной моделью представлены в табл. 3.13.

Поиск рациональной схемы выполнялся на множествах схем со степенью расширения $\rho = 4$ [91] с целью увеличения возможностей для оптимизации.

Таблица 3.13

Характеристика лучших схем разных выборок \tilde{n}_0 метода КМ

θ , групп	Число схем, Z	Параметры \tilde{n}_0 , схем	Значения параметров							
			1	10	100	299	1000	5000	10000	20000
4	135751	$T_{\text{фсм}}$, мин	62.99	50.43	43.44	41.59	40.22	38.94	38.69	38.52
		τ_c , с	0.003	0.005	0.01	0.03	0.08	1.08	1.22	3.34
6	$324.5 \cdot 10^6$	$T_{\text{фсм}}$, мин	96.18	80.96	72.32	69.17	66.07	62.15	61.05	59.83
		τ_c , с	0.003	0.005	0.035	0.11	0.36	1.75	3.65	7.21
8	$4.98 \cdot 10^{12}$	$T_{\text{фсм}}$, мин	129.59	112.86	101.77	97.88	93.9	88.94	87.27	85.72
		τ_c , с	0.003	0.005	0.03	0.095	0.66	3.625	7.55	15.02

В табл. 3.13 кроме времени формирования $T_{\text{фсм}}$ по лучшей схеме выборки \tilde{n}_0 указано также среднее время ее поиска для одного состава τ_c .

Как видно из табл. 3.13, увеличение числа схем в выборке способствует улучшению качественных параметров лучшей схемы такой выборки, однако при этом растет также и время ее поиска. Как выяснилось в процессе исследования, время

определения лучшей схемы выборки τ_c зависит не только от ее размера \tilde{n}_0 , но и от числа групп состава θ : при увеличении их числа в составах потока среднее время расчета одной схемы увеличивается.

Кроме того, по данным табл. 3.13 была построена зависимость $T_{\text{фсм}} = f(\tilde{n}_0)$ между временем формирования $T_{\text{фсм}}$ и объемом выборки \tilde{n}_0 (рис. 3.12, а), а также зависимость $T_{\text{фсм}} = f(\tau_c)$ между временем формирования $T_{\text{фсм}}$ и средним временем расчета лучшей схемы для одного состава τ_c (рис. 3.12, б).

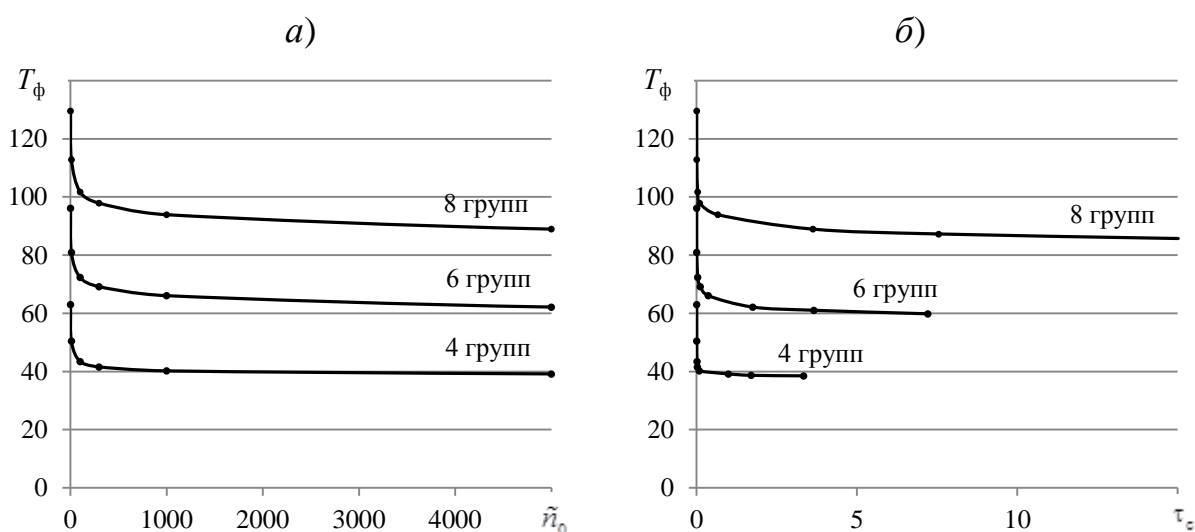


Рис. 3.12 – Зависимости времени формирования $T_{\text{фсм}}$ от:

а – объема выборки $T_{\text{фсм}} = f(\tilde{n}_0)$; б – времени расчета $T_{\text{фсм}} = f(\tau_c)$

Как видно из табл. 3.13 и рис. 3.12 при увеличении размеров выборки \tilde{n}_0 с 1 до 100 схем время формирования уменьшается весьма быстро, тогда как дальнейшее его уменьшение заметно менее интенсивно.

Результаты исследований, выполненных для всех прочих сочетаний исходных данных и параметров, позволяют сделать аналогичный вывод.

Таким образом, исходя из сказанного выше, можно сделать вывод, что увеличение размера выборки \tilde{n}_0 больше 5000 схем не имеет практического смысла; размер выборки $\tilde{n}_0 = 5000$ схем позволит дополнительно получить до 6–11 % эффекта относительно выборки $\tilde{n}_0 = 299$ схем. Для получения указанного эффекта не потребуются дополнительные расходы, но, при этом, появляется возможность за опера-

тивно приемлемое время найти рациональную схему формирования $\hat{\sigma}$ с лучшими характеристиками.

Кроме того, в случае практической реализации разработанной модели в качестве программного продукта, подключаемого в АРМ оперативно-диспетчерского персонала в качестве модуля системы поддержки принятия управленческих решений, можно предусмотреть возможность принятия решения о пороговом значении времени расчета непосредственно диспетчерскому персоналу. Такой подход позволит, за счет дополнительного времени расчета, еще больше повысить уровень качества реализуемой технологии формирования многогруппных составов на станции.

3.5. Анализ множества схем

Другим возможным направлением совершенствования некоторых методов (например, комбинаторного) является предварительный анализ совокупности кодов, присваиваемых вагонам состава для построения множества схем формирования. Указанный анализ должен производиться для отбора таких комбинаций кодов и, соответственно, схем формирования которые априори требуют меньшего объема перемещений вагонов и, следовательно, времени формирования состава T_{ϕ} . В этой связи был выполнен анализ кодов логических номеров групп в фибоначчиевой записи с целью установления их связи с числом перемещений вагона состава, которому присвоен данный код, в процессе формирования состава. Результаты указанного анализа позволят осуществлять предварительный отбор кодов для их присвоения вагонам состава, что в конечном итоге даст возможность сократить множество рассматриваемых схем формирования и за счет этого усовершенствовать методику поиска рациональной технологии формирования многогруппных составов.

Для формализации схемы формирования состава на m путях комбинаторным методом в [74, 76] предложена методика представления ЛНГ γ в фибоначчиевой системе счисления:

$$\Phi_m(\gamma) = \phi_{N-1}, \phi_{N-2}, \dots, \phi_1. \quad (3.10)$$

Составляющие $\Phi_m(\gamma)$ фибоначчиевы цифры ϕ_i числа γ принимают значения 0

или 1:

$$\gamma = F_{m+N-1}^{(m)} \Phi_N + F_{m+N-2}^{(m)} \Phi_{N-1} + \dots + F_m^{(m)} \Phi_1,$$

где $F_m^{(m)}, \dots, F_{m+N-1}^{(m)}$ – последовательность обобщенных чисел Фибоначчи порядка m .

Указанные числа определяются определенными правилами:

$$F_q^{(m)} = 0 \quad \text{при } 0 \leq q \leq m-2;$$

$$F_q^{(m)} = 1 \quad \text{при } q = m-1;$$

$$F_q^{(m)} = \sum_{i=1}^m F_{q-i}^{(m)} \quad \text{при } q \geq m.$$

При этом число цифр в $\Phi_m(\gamma)$ (3.10) равно числу этапов формирования N , если добавить в $\Phi_m(\gamma)$ старшую цифру $\varphi_N=0$.

Для определения логических номеров путей при сортировке номерам групп $\{\gamma = 0, 1, \dots, \theta-1\}$ ставятся в соответствие числа в фибоначчевой записи, взятые в обратном порядке: $\Phi_m(\theta-1), \Phi_m(\theta-2), \dots, \Phi_m(0)$; обратная последовательность указанных чисел используется для того, чтобы в сформированном составе группы были расположены в прямом порядке $(0, 1, \dots, \theta-1)$.

Числа $\Phi_m(\gamma)$ используются для определения ЛНП μ_i , на который нужно направить i -й отцеп с ЛНГ γ_i при сортировке на каждом этапе формирования. Для определения ЛНП μ_i на j -м этапе выполняется последовательный анализ $(m-1)$ цифр в записи $\Phi_m(\gamma)$; при этом $\mu_i = k$, если $\varphi_{k+j}=0, \varphi_{k+j-1} = \dots = \varphi_{j+1} = \varphi_j = 1$; $(0 \leq \mu_i \leq m-1)$.

Очевидно, что, начиная с этапа $j=N-m+1$, при определении μ_i используется самая старшая нулевая цифра φ_{N-1} числа $\Phi_m(\gamma)$; на последующих этапах число цифр φ , по которым определяется ЛНП, будет сокращаться. Это означает, что число путей, на которые направляются вагоны, на каждом последующем этапе будет уменьшаться на 1. На предпоследнем $(N-1)$ -м этапе ЛНП будет определяться только по одной старшей цифре φ_{N-1} , вследствие чего вагоны будут направляться только на два пути с ЛНП $\mu=0$ и $\mu=1$ и после сортировки на этом этапе упорядоченные вагоны состава будут находиться только на этих двух путях. На последнем N -м этапе должно

быть выполнено соединение указанных групп на одном из путей. Поэтому в целях общности алгоритма определения ЛНП на всех этапах целесообразно перестановку вагонов на последнем этапе рассматривать тоже как сортировку, при которой ЛНП определяется по следующей цифре (φ_N), всегда равной нулю; тогда на N -м этапе все вагоны будут направляться на один путь с ЛНП $\mu=0$.

Как было сказано ранее, в случае поиска рациональной схемы посредством статистического метода (то есть при $Z > \tilde{n}_0 / Z \gg \tilde{n}_0$), отбор схем множества Σ в выборку \tilde{n}_0 происходит случайным образом. Однако, как показали исследования, существует возможность предварительной обработки множества схем, позволяющая обоснованно исключить его существенную часть на основании несоответствия определенному значению критерия эффективности.

С целью иллюстрации подобной возможности эффективной предварительной обработки множества схем рассмотрим пример формирования комбинаторным методом так называемого эталонного состава из 8-ми групп; при этом в каждой группе имеется лишь один вагон (рис. 3.13).

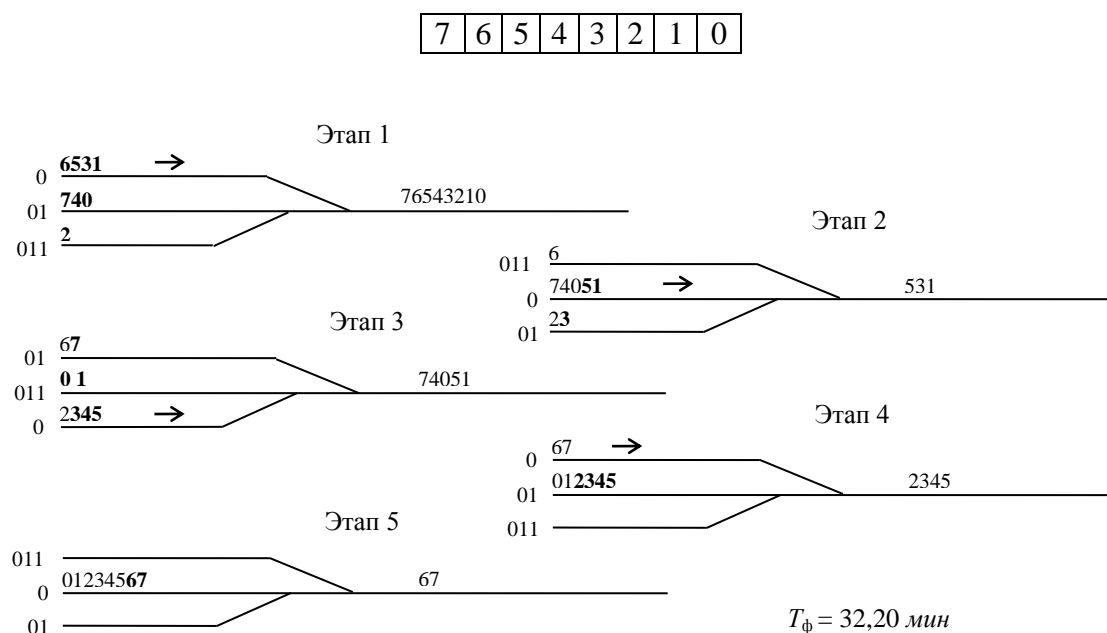


Рис. 3.13. Пример формирования эталонного состава из 8-ми групп

На рис. 3.13 жирным шрифтом выделены вагоны, которые были направлены на пути на каждом этапе формирования; стрелочкой обозначены пути, с которых

вытягиваются вагоны на каждом из указанных этапов.

В табл. 3.14 указано число перемещений каждой группы вагонов рассматриваемого эталонного многогруппного состава из 8-ми равноценных групп. При этом критическое число схем для метода КМ при трех путях равно $G_i^3 = 12$.

Таблица 3.14

Число перемещений групп вагонов многогруппного состава

№ группы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К-во перестановок	1	2	1	2	2	3	2	2	3	2	3	3	4
<i>F</i> -коды	1101	1100	1011	1010	1001	1000	0110	0101	0100	0011	0010	0001	0000
Число нулей, $c(\gamma)$	1	2	1	2	2	3	2	2	3	2	3	3	4

Жирным шрифтом в табл. 3.14 выделены номера ЛНГ γ , используемые для получения первой схемы множества Σ , иллюстрация формирования с помощью которой приведена на рис. 3.13.

Анализ данных табл. 3.14 позволил заметить, что число нулей $c(\gamma)$ в кодах ЛНГ γ полностью соответствует числу перестановок k (без учета нуля в старшем разряде) и может быть найдено как

$$c(\gamma) = N - 1 - \varphi_{N-1} + \varphi_{N-2} + \dots + \varphi_1 = N - 1 - \sum_{i=1}^{N-1} \varphi_i$$

Кроме того, как видно из рис. 3.13, для метода КМ характерно отсутствие сборки вагонов, вместо чего выполняется вытягивание вагона с пути, логический номер μ которого на каждом этапе формирования равен 0. Обобщая все отмеченное можно прийти к выводу, что число нулей $c(\gamma)$ в *F*-кодах можно интерпретировать как число перестановок вагонов. Следовательно, есть основание полагать, что выбирая схемы с ЛНГ γ , *F*-коды которых имеют меньше всего нулей, в большинстве случаев, получим некое множество схем $Z^* < Z$ с заведомо меньшим средним временем формирования состава \bar{T}_ϕ^* , чем у множества Z ; при этом соотношение последнего к множеству Z^* может быть весьма значительным $Z / Z^* \gg 1$.

Анализ данных из табл. 3.14 позволяет сделать следующие два вывода относительно предполагаемой предварительной обработки множества:

– следует минимизировать суммарное число нулей $C = \sum_{i=0}^{\theta} c(\gamma_i)$ в составе (реализуется за счет выбора схемы из множества – нормального или расширенного с необходимой степенью);

– целесообразно обеспечить выбор кодов с минимумом нулей $c(\gamma_{\max n})$ для наиболее длинных отцепов состава, что позволит минимизировать их перемещение; реализовать подобный выбор кодов можно за счет поиска схем с заданными параметрами, что возможно в связи с предложенной методикой практически неограниченного расширения множества схем в поисках нужного сочетания нулей и единиц в F -кодах их ЛНГ [92, 93].

Таким образом, появляется возможность целенаправленного отбора схем формирования в выборку путем анализа их F -кодов.

Для иллюстрации сказанного в табл. 3.15 приведены параметры двух схем формирования комбинаторным методом на 3-х путях указанного ранее эталонного состава из 8 вагонов с числом ЛНГ $\theta = 8$; при этом объем множества Σ составляет 1287 схем.

Таблица 3.15

**Параметры экстремальных схем для многогруппных составов
с равным числом вагонов**

Схема	Группы вагонов, их ЛНГ и коды								С	T_{ϕ} , мин
	0	1	2	3	4	5	6	7		
Лучшая	0	1	2	3	4	6	7	9	14	30,16
	1101	1100	1011	1010	1001	0110	0101	0011		
Худшая	3	4	5	7	8	10	11	12	22	41,50
	1010	1001	1000	0101	0100	0010	0001	0000		

Так, анализ F -кодов ЛНГ схем для каждого состава потока для комбинаторного метода позволил установить определенную связь между количеством перестановок k вагонов во время формирования и продолжительностью T_{ϕ} этого процесса; при этом коэффициент корреляции составляет порядка 0,18.

Для иллюстрации на рис. 3.14 приведено поле точек (T_{ϕ}, C) , а также линия линейного тренда, наилучшим образом описывающая данное поле точек.

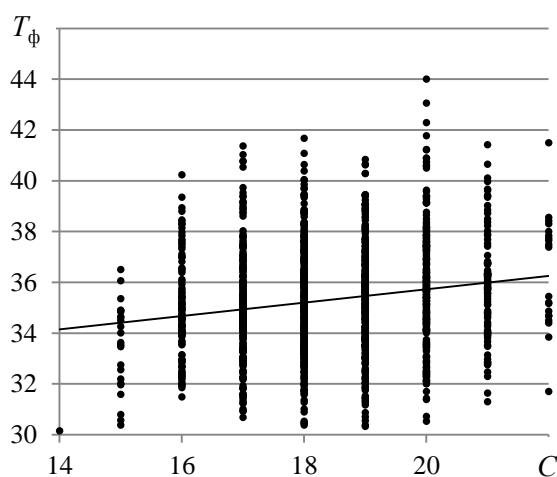


Рис. 3.14. Поле точек (T_ϕ, C)

Как следует из результатов исследования, с увеличением числа нулей в F -кодах ЛНГ схемы растет и время формирования T_ϕ состава. Данный эффект объясняется тем, что число нулей c непосредственно влияет на число перемещаемых вагонов n^\pm , что напрямую воздействует на продолжительность формирования многогруппного состава T_ϕ .

Приведенные схемы с минимальным C_{\min} и максимальным C_{\max} суммарным числом нулей в F -кодах являются, соответственно, лучшей и худшей схемой рассматриваемого множества Z схем по данному критерию. Однако стоит отметить, что наличие минимального числа нулей C_{\min} в схеме не гарантирует минимального времени T_ϕ формирования с ее помощью, так как на него оказывают влияние много прочих факторов.

Кроме того интересным представляется исследование эффективности поиска схем с минимальным значением суммарного числа нулей C для состава с явно выделенной максимальной группой. В этой связи рассмотрим пример с одновагонными группами от 0 до 6 и десятивагонной 7-ой группой:

7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Пример его формирования приведен на рис. 3.15.

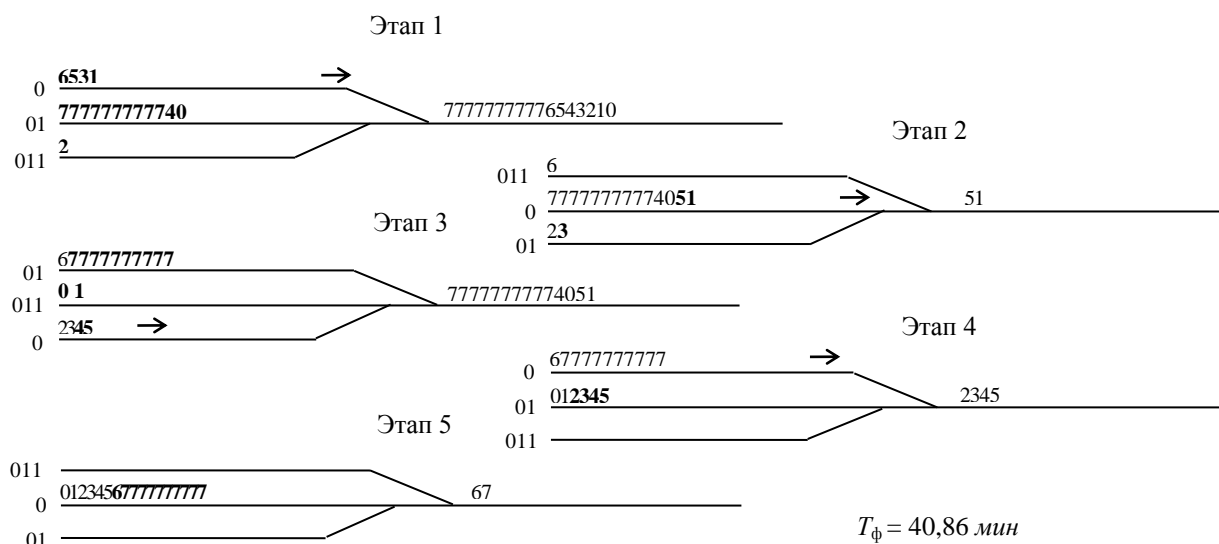


Рис. 3.15. Пример формирования эталонного состава с одной длинной группой

Параметры экстремальных схем для многогруппных составов с явно выделенной длинной группой указаны в табл. 3.16.

Таблица 3.16

**Параметры экстремальных схем для многогруппных составов
с явно выделенной длинной группой**

Схема	Группы вагонов, их ЛНГ и коды								С	T_{ϕ} , мин
	0	1	2	3	4	5	6	7		
Лучшая	0	1	2	3	4	6	7	9	14	38,33
	1101	1100	1011	1010	1001	0110	0101	0011		
Худшая	3	4	5	7	8	10	11	12	22	57,24
	1010	1001	1000	1001	0100	0010	0001	0000		

Как видно из рис. 3.15 и табл. 3.16, количество перемещений относительно примера, рассмотренного на рис. 3.13, не изменилось. Однако в данном случае первостепенным является не только поиск схемы с минимальным суммарным числом нулей, но при этом в данной схеме перемещение именно максимальной группы должно быть сведено к минимуму (рис. 3.16). Это подтверждается и коэффициентом корреляции между суммарным числом нулей C и временем T_{ϕ} формирования (всего 0,34). В то же время, значение коэффициента корреляции между числом нулей в коде ЛНГ $c(7)$ именно длинного отцепа и временем T_{ϕ} формирования состава составляет 0,39.

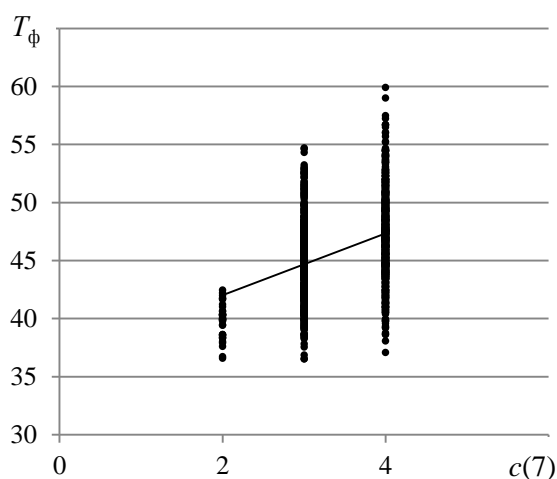


Рис. 3.16. Поле точек $(T_{\phi}, c(7))$

Таким образом, для обеспечения наилучших результатов от формирования многогруппных составов с помощью схемы с минимальным суммарным перемещением вагонов или минимальным перемещением длинной группы необходимо разработать определенный механизм выполнения предварительного анализа и выбора ЛНГ, участвующих в генерации схемы, что позволит существенно снизить просматриваемый объем множества схем и повысить качественные показатели наилучшей схемы.

3.6. Рекомендации к практическому применению разработанной модели

Внедрение разработанной функциональной модели возможно в виде программного продукта, интегрированного в систему поддержки принятия решений диспетчерским персоналом станции. Обобщая все полученные в этом разделе результаты выделим следующие рекомендации для получения наиболее рациональной технологии формирования конкретного многогруппного состава с использованием существующих технических средств:

1. Отбор \tilde{n}_0 схем формирования случайным образом для выборки стандартного множества (с глубиной расширения $\rho = 0$) для пяти методов. При этом \tilde{n}_0 будет иметь размер

$$\tilde{n}_0 = \begin{cases} Z, & \text{при } Z < 5000, \\ 5000, & \text{при } Z \geq 5000. \end{cases}$$

2. Отбор схем для расширенных множеств для методов КМ и РМ (с глубиной расширения $\rho = 0, 1, 2$).

3. Предварительный анализ множеств схем с глубинами расширения $\rho = 0,1,2$ для КМ; исключение заведомо неконкурентоспособных схем и их замена на другие, заведомо лучшие схемы.

4. Поиск с помощью статистического подхода рациональных схем σ_ρ из выборки \tilde{n}_0 схем для подобранных для каждого метода множеств и выбор рациональной технологии формирования, состоящей из совокупности схемы $\hat{\sigma}_\rho$ с временем формирования $T_{\hat{\sigma}_\rho} = \min(T_{\text{фmin}}^{\rho=0}, T_{\text{фmin}}^{\rho=1}, T_{\text{фmin}}^{\rho=2})$ и метода формирования $M_{\hat{\sigma}_\rho}$.

5. Получение детального плана маневровой работы по лучшей технологии $\hat{\sigma}_\rho$ и оценки продолжительности формирования; ознакомление с планом привлеченных к формированию конкретного многогруппного состава исполнителей.

Определим эффект от применения указанных выше рекомендаций при формировании многогруппных составов на вытяжном пути в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Определение сокращения продолжительности формирования составов на вытяжном пути после применения предложенных рекомендаций

n	m	$T_{\text{ф}}, \text{ мин}$			$e_{\text{ф}}$
		Исходная методика $T_{\text{фср}}^{\rho=0}$	Усовершенствованная методика $T_{\text{ф}\hat{\sigma}_\rho}$	ΔT	
15	2	24,1	15,50	8,6	35,7
	3	22,56	15,45	7,11	31,5
	4	22,34	15,75	6,59	29,5
25	2	48,11	30,82	17,29	35,9
	3	43,84	29,53	14,31	32,6
	4	41,79	29,18	12,61	30,2
35	2	81,69	51,28	30,41	37,2
	3	74,28	47,82	26,46	35,6
	4	68,18	45,95	22,23	32,6

Определим эффект от применения указанных выше рекомендаций при формировании многогруппных составов на сортировочной горке в таблице 3.18.

Определение сокращения продолжительности формирования составов на сортировочной горке после применения предложенных рекомендаций

n	m	$T_{\text{ф}}$, мин			$e_{\text{ф}}$
		Исходная методика $T_{\text{фср}}^{\rho=0}$	Усовершенствованная методика $T_{\text{фср}}^{\hat{\sigma}_p}$	ΔT	
15	2	16,68	12,38	4,3	25,8
	3	14,67	11,9	2,77	18,9
	4	14,02	11,99	2,03	14,5
25	2	27,68	23,97	3,71	13,4
	3	26,46	21,04	5,42	20,5
	4	24,19	20,71	3,48	14,4
35	2	51,48	38,19	13,29	25,8
	3	39,79	31,67	8,12	20,4
	4	35,66	29,86	5,8	16,3

Как следует из таблиц 3.17 и 3.18 в результате реализации всех рекомендаций в разработанную функциональную модель при формировании многогруппных составов можно будет получить совокупный эффект от 13 % до 25 % при формировании на сортировочной горке и от 29 % до 37 % при использовании для этого вытяжного пути.

Результаты исследований с разработанной функциональной моделью указаны в [81, 88, 91–102].

3.7. Выводы к разделу

Сравнительная оценка эффективности различных методов формирования показала, что не существует однозначно лучшего метода, который бы обеспечивал минимальное время формирования для всех составов при любом техническом оснащении станций. Для минимизации затрат времени на формирование составов на станции необходимо для каждого из них установить наилучшие метод и схему формирования.

Зависимости продолжительности формирования многогруппных составов от

их параметров и технического оснащения станции, полученные предварительно с помощью имитационного моделирования, могут быть использованы для оперативного планирования работы этой станции.

Разработанная методика может быть использована также для технико-экономической оценки и выбора рационального варианта технических средств для формирования многогруппных составов на станциях.

В результате выполненных исследований установлено, что расширение множества схем, на базе которого осуществляется поиск рациональной схемы, позволяет сократить время формирования на 10-20 % для подавляющего большинства составов (от 85 % до 97 %). Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой эффективности предложенной методики оптимизации выбора схемы формирования многогруппных составов.

Анализ статистического метода поиска рациональной схемы позволил отметить, что увеличение размера выборки \tilde{n}_0 больше 5000 схем не имеет практического смысла; размер выборки $\tilde{n}_0 = 5000$ схем позволит дополнительно получить до 6–11 % эффекта относительно выборки $\tilde{n}_0 = 299$ схем.

Обнаруженные зависимости между F -кодами ЛНГ схем составов и временем T_ϕ формирования позволят осуществлять целенаправленный отбор схем в выборку \tilde{n}_0 , что повысит вероятность нахождения схемы с минимальным временем $T_{\phi\min}$ формирования многогруппного состава. Кроме того, можно предусмотреть возможность принятия решения о пороговом значении времени расчета непосредственно диспетчерским персоналом. Такой подход позволит, за счет дополнительного времени расчета, еще больше повысить уровень качества реализуемой технологии формирования многогруппных составов на станции.

Разработанные модель и методика могут быть использованы для оперативного управления процессом формирования многогруппных составов на станциях. Она позволяет найти для каждого состава рациональные метод и схему формирования с учетом наличного числа путей и получить, таким образом, план маневровой работы с этим составом. Для реализации данной методики необходимо включить разрабо-

танное программное обеспечение в состав АРМ маневрового диспетчера станции. Это позволит сократить общую продолжительность формирования состава на 13-37%.

Реализация предложенной методики в АРМ оперативно-диспетчерского персонала не требует существенных капитальных вложений, однако, позволяет получить план маневровой работы, реализация которого будет способствовать значительному сокращению расходов на маневровую работу как с многогруппными составами, так и в целом по станции.

РАЗДЕЛ 4

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ НА ДВУСТОРОННЕМ СОРТИРОВОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

Совершенствование технологии формирования многогруппных составов может существенно повысить качественные показатели данного процесса, однако, в определенных ситуациях, полученного эффекта может оказаться недостаточно. В этом случае следует совершенствовать не только собственно технологию, но и технические средства формирования многогруппных составов, то есть, осуществляя комплексный подход к решению рассматриваемой проблемы.

Совершенствование технических средств формирования может выражаться в поиске рационального количества и длины путей для формирования конкретного многогруппного состава, определении целесообразного сортировочного устройства, оптимизации схемы горловины группировочного парка и т.д.

4.1. Конструкция и технология работы двусторонней горки

Решение проблемы формирования многогруппных составов возможно несколькими путями, но обеспечить его высокую эффективность обеспечит лишь комплексный системный подход, который позволит разработать рекомендации, дающие возможность оптимизировать отдельные технологические звенья рассматриваемого процесса.

Анализ существующих сортировочных устройств позволяет сделать вывод о том, что с точки зрения эффективности оперативной работы с многогруппными составами наиболее целесообразным из них представляется вспомогательная сортировочная горка, работающая в комплексе с группировочным парком (как правило, с небольшим путевым развитием). Однако специфика формирования многогруппных составов позволяет констатировать необходимость многократной (многоэтапной) сортировки, и даже применение наиболее рациональных методов формирования не позволит избежать этого.

Следует заметить, что каждый этап формирования многогруппного состава состоит из последовательно выполняемых сборки вагонов и их сортировки. Таким

образом, на сборку вагонов в процессе их подборки уходит значительное время. Кроме того, для некоторых методов характерна сборка вагонов со всех путей на каждом этапе и вытягивание всей группы вагонов на путь надвига, что существенно увеличивает число перемещаемых вагонов маневрового состава, и, как следствие, время на их перемещение остается значительным.

Таким образом, необходимо исследовать конструкцию предложенного вспомогательного сортировочного устройства и технологию его работы с целью уменьшения времени на непроизводительные перемещения, что позволит снизить общие затраты времени и ресурсов на формирование многогруппных составов.

4.1.1. Конструкция двустороннего сортировочного устройства. С целью обеспечения эффективного формирования многогруппных составов на станциях со значительным объемом местной работы на рис. 4.1 предложено двустороннее вспомогательное сортировочное устройство (ДВСУ) [103].

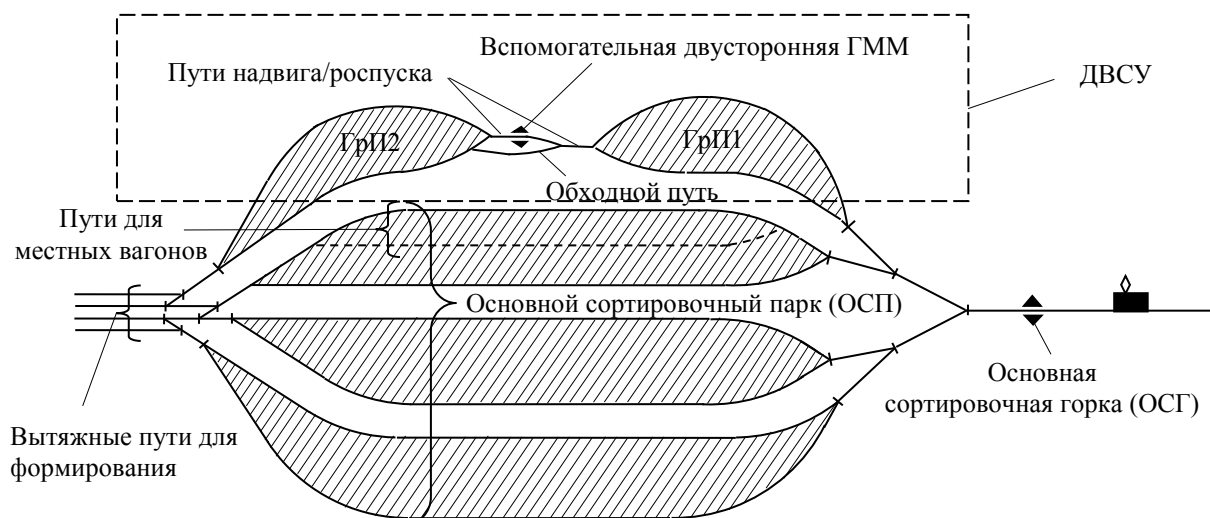


Рис. 4.1 – Схема сортировочного комплекса с ДВСУ

Данное ДВСУ состоит из вспомогательной двусторонней горки малой мощности (ГММ) расположенной между двумя группировочными парками (ГрП1 и ГрП2), и позволяющей выполнять двустороннюю сортировку групп вагонов. Для этого указанная горка оборудована двумя спускными частями, профиль каждой из которых позволяет выполнять как надвиг вагонов из парка ГрП1 с последующим роспуском

на пути парка ГрП2, так и обратный надвиг из парка ГрП2 на ГММ с последующим скатыванием на пути парка ГрП1.

Для возможности обхода двусторонней горки малой мощности при выполнении разного рода маневровых передвижений предложен специальный план горочного комплекса ДВСУ (рис. 4.2); при этом все указанные на плане стрелочные переводы марки 1/6.

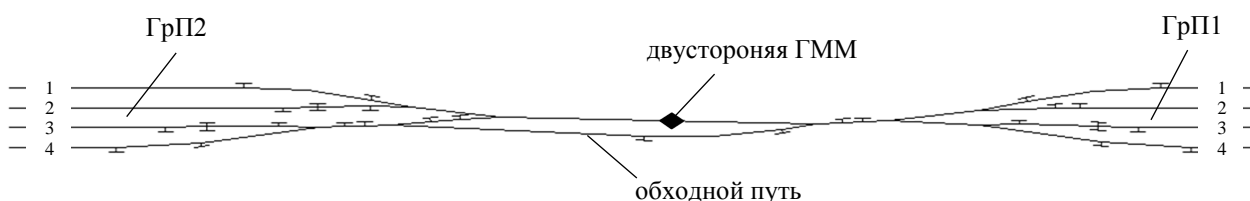


Рис. 4.2 – План горочного комплекса ДВСУ с обходным путем

Продольный профиль предлагаемого двустороннего сортировочного устройства показан на рис. 4.3; указанные рекомендуемые значения уклонов элементов профиля данного устройства в некоторых случаях могут быть изменены.

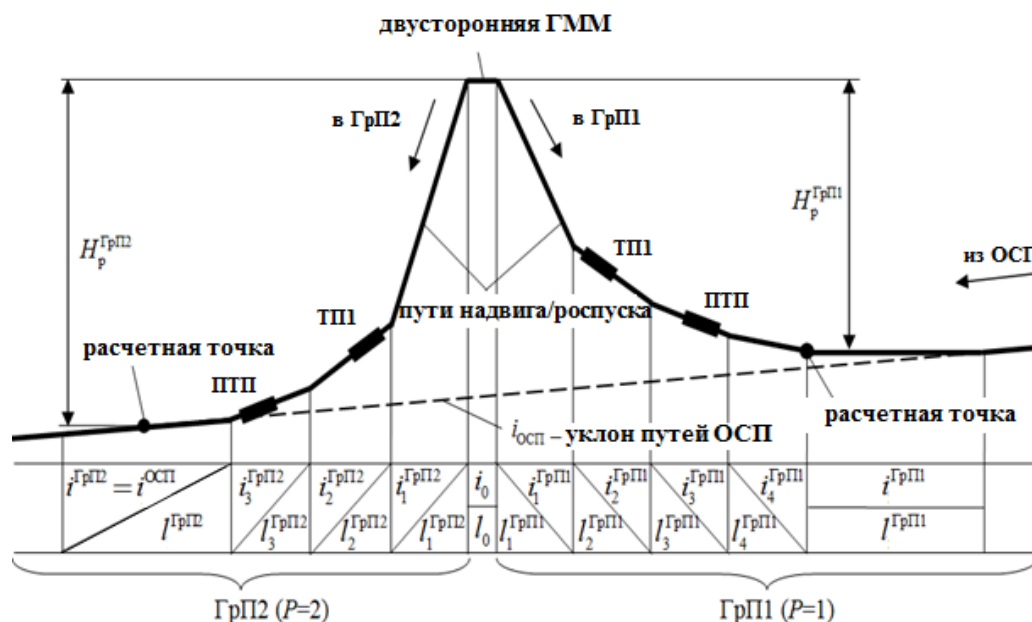


Рис. 4.3 – Вариант продольного профиля предложенного ДВСУ

4.1.2. Характеристика процесса формирования многогруппных составов на двустороннем сортировочном устройстве. Работа предложенного сортировочного устройства организовывается следующим образом. Вагоны многогруппных со-

ставов, требующих формирования, вытягиваются локомотивом со специализированных путей сортировочного парка, где они предварительно накапливались во время роспуска составов основного вагонопотока, и сортируются на пути парка ГрП1 [104]. В большинстве случаев количество групп вагонов в многогруппном составе превышает количество доступных для его формирования путей, что не позволяет сформировать такой состав за одну сортировку. Для достижения конечной цели в таком случае необходимо вагоны с путей парка ГрП1 поочередно подавать в специальном порядке на горку для сортировки на пути парка ГрП2. Повторное выполнение сортировки вагонов согласно со специальным планом маневровой работы с помощью двусторонней горки позволяет уменьшить затраты времени на формирование многогруппных составов. Для возможности соединения и вытягивания сформированного состава в обход горки, в случае когда последняя сортировка осуществляется на пути парка ГрП1 используется обходной путь.

Таким образом, формирование многогруппного состава на данном сортировочном устройстве позволяет сократить его продолжительность и снизить потери энергоресурсов за счет исключения процесса вытягивания. Также использование данного устройства позволяет освободить основное сортировочное устройство от работы с местными вагонами с целью увеличения возможного объема переработки основного вагонопотока, что, в свою очередь, обеспечит повышение перерабатывающей способности станции [105–112].

Для реализации на станции указанного комплекса, необходимо включить разработанную технологию в специализированный АРМ ДСЦ. Это позволит диспетчерскому персоналу получить рациональный план маневровой работы на предложенном сортировочном устройстве с отдельным составом.

С целью выбора рациональной конструкции предложенной горки были выполнены исследования влияния различных характеристик элементов профиля на качественные показатели процесса скатывания.

4.2. Имитационная модель процесса расформирования составов на горке малой мощности

С целью исследования процесса формирования многогруппных составов на двусторонней горке малой мощности с использованием методики, рекомендаций и выводов, изложенных в [113–116], была разработана имитационная модель процесса расформирования составов. В модели основным элементом является скатывание отцепов состава, расформируемого с горки. Одним из основных элементов управляемого скатывания отцепов из горки является их торможения замедлителями. В разработанной имитационной модели регулирования скорости скатывания отцепов осуществляется путем выбора необходимой энергетической высоты, которая погашается, а их торможение осуществляется равномерно по всей зоне действия замедлителей тормозной позиции.

Целью торможения является регулирование скорости скатывающихся отцепов. Различают два вида регулирования:

- интервальное регулирование, которое необходимо для обеспечения интервалов между отцепами на отдельных элементах (стрелках, замедлителях);
- прицельное регулирование, которое осуществляется для обеспечения докатывания отцепов к вагонам на сортировочных путях с допустимой скоростью.

Интервальное регулирование осуществляется верхней тормозной позицией (ВТП); прицельное регулирование осуществляется парковой тормозной позицией (ПТП).

4.2.1. Моделирование скатывания отцепов. Основным элементом имитационной модели сортировочного процесса является модель скатывания отдельных отцепов с горки, которая позволяет определить скорость и время их скатывания на основе решения дифференциального уравнения их движения [115].

По результатам исследований данного раздела построена имитационная модель процесса скатывания одиночного отцепа с горки и выполнена ее программная реализация. С этой целью была усовершенствована базовая модель, реализующая равномерное торможение, для возможности более адекватной имитации работы тормозных позиций.

4.2.2. Общая структура модели. Модель скатывания содержит описание маршрута скатывания и осевую модель отцепа [115, 116]. При этом, маршрут скатывания разбит на элементы, границами которых являются характерные точки плана путевого развития: вершина горки, границы стрелочных переводов, кривых, тормозных замедлителей и изолированных участков. Продольный профиль маршрута представлен с помощью кубического сплайна.

Процесс скатывания отцепа описывается дифференциальным уравнением $v' = f(s, v)$, для решения которого используется метод Рунге-Кутты IV порядка с постоянным шагом Δs . При этом на каждом шаге Δs моделирование перемещения отцепа выполняется с помощью дифференциального уравнения первого порядка, в котором независимой переменной является путь:

$$v' = \frac{dv}{ds} = \frac{g'(i - w_o - w_{св} - w_{ск} - w_{т}) \cdot 10^{-3}}{v}, \quad v > 0,$$

где w_o – основное удельное сопротивление движению отцепа, кгс/тс;

$w_{св}$ – дополнительное удельное сопротивление движению от воздушной среды, кгс/тс;

$w_{ск}$ – дополнительное удельное сопротивление движению, возникающее при прохождении стрелок и кривых;

v – скорость отцепа, м/с;

g' – ускорение свободного падения с учетом инерции вращающихся частей вагона, м/с².

На отдельных шагах величина интегрирования Δs может корректироваться таким образом, чтобы обеспечить непрерывность всех сил, действующих на отцеп в пределах шага.

Мгновенное значение уклона, по которому движется центр тяжести отцепа, когда его первая ось находится в точке s , определяется как

$$i(s) = \frac{1}{Q_{\text{отц}}} \sum_{j=1}^{m_{\text{отц}}} \frac{Q_{\text{В}j}}{n_{\text{В}j}} \sum_{r=1}^{n_{\text{В}j}} i(s_{rj}),$$

где $m_{\text{отц}}$ – число вагонов в отцепе;

$Q_{\text{В}j}, n_{\text{В}j}$ – соответственно, вес и число осей вагона;

$Q_{\text{отц}}$ – вес отцепа;

s_{rj} – координата точки, в которой находится r -я ось j -го вагона;

$i(s_{rj})$ – значение уклона, на котором находится r -я ось j -го вагона.

Уклон $i(s_{rj})$ представляет собой первую производную отметки профиля горки $h(s_{rj})$, описанную кубическим сплайном

$$i(s_{rj}) = C_{2k} + 2C_{3k}(s_{rj} - s_k) + 3C_{4k}(s_{rj} - s_k)^2,$$

где C_{2k}, C_{3k}, C_{4k} – коэффициенты сплайна;

s_k – узел сплайна ($s_k < s_r < s_{k+1}$).

Расчет удельных сил сопротивления от стрелок и кривых $w_{\text{СК}}$ выполняется по формуле:

$$w_{\text{СК}}(v) = C_{\text{св.СК}} v^2,$$

где $C_{\text{св.СК}}$ – средневзвешенный коэффициент сопротивления стрелок и кривых.

Значение величины $C_{\text{св.СК}}$ определяется на каждом шаге моделирования

$$C_{\text{св.СК}} = \sum_{j=1}^{m_{\text{отц}}} q_{\text{В}j} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} C_{\text{СК}i}.$$

Значение $C_{\text{СК}i}$ для отдельной оси отцепа зависит от ее положения s_{rj} на пути скатывания и определяется как

$$C_{\text{СК}i} = \frac{0,56\theta + 0,23\phi_n}{l_{\text{СК}i}}, \quad \text{если } s_{rj} \in [s_{\text{СК}n}, s_{\text{СК}n} + l_{\text{СК}n}], \quad \text{иначе } C_{\text{СК}i} = 0.$$

Здесь θ_n – тип n -го элемента ($\theta_n = 0$ – кривая; $\theta_n = 1$ – стрелка);

ϕ_n – угол поворота кривой n -го элемента, град;

$s_{\text{СК}n}, l_{\text{СК}n}$ – соответственно, координата начала и длина n -го элемента, м.

Для расчета $C_{\text{СК}}$ в модели горки содержится информация о размещении и па-

раметрах стрелок и кривых на путях скатывания.

Для расчета w_{CB} в модели отцепа содержатся данные о весе и типе каждого вагона, а в таблицах нормативно-справочной информации хранятся данные для определения значения коэффициентов воздушного сопротивления C_x , C_{xx} на каждом шаге Δs . Полученные выражения используются для имитационного моделирования скатывания отцепов из горки. При этом весь путь отцепа разбивается на довольно маленькие интервалы ΔS . Как начальная, рассматривается точка отрыва S_0 отцепа от состава ($S_j=S_0$); при этом скорость отцепа в этот момент равняется скорости движению состава ($V_j=V_0$), а время $T_j=0$ (рис. 4.4).

4.2.3. Режимы торможения области допустимых режимов.

4.2.3.1. Область допустимых режимов торможения отцепов

На двухпозиционной горке режим торможения скатывающегося отцепа, может быть представлен значениями энергетических высот (h' , h''), которые погашаются на верхней тормозной позиции (ВТП) и парковой тормозной позиции (ПТП). При этом с двух указанных величин только одна (h') есть независимой; величина h'' может быть определена при условии обеспечения заданной скорости отцепа в точке прицеливания.

Режим торможения отцепа имеет ограничения, которые определяются тремя группами факторов:

- тормозной мощностью замедлителей тормозных позиций;
- режимом скатывания отцепов на спускной части горки;
- требованиями прицельного регулирования скорости отцепов.

Множество допустимых режимов торможения отцепа, что скатывается может быть представлена многоугольником на плоскости h' , h'' (область допустимых режимов торможения ОДР). При этом любая точка ОДР $\mathbf{h} = \{h', h''\}$ определяет режим торможения, которое обеспечивает движение отцепа с допустимой скоростью на спускной части горки, а также его докатывание к точке прицеливания с безопасной скоростью. На рис. 4.4 указаны ограничения режимов торможения для очень хоро-

шего бегуна (ДХ), скатывающегося в зимних условиях на двух ГМП с двумя тормозными позициями (ВТП оснащена 1хКНП-5, а ПТП – 2хРНЗ-2м).

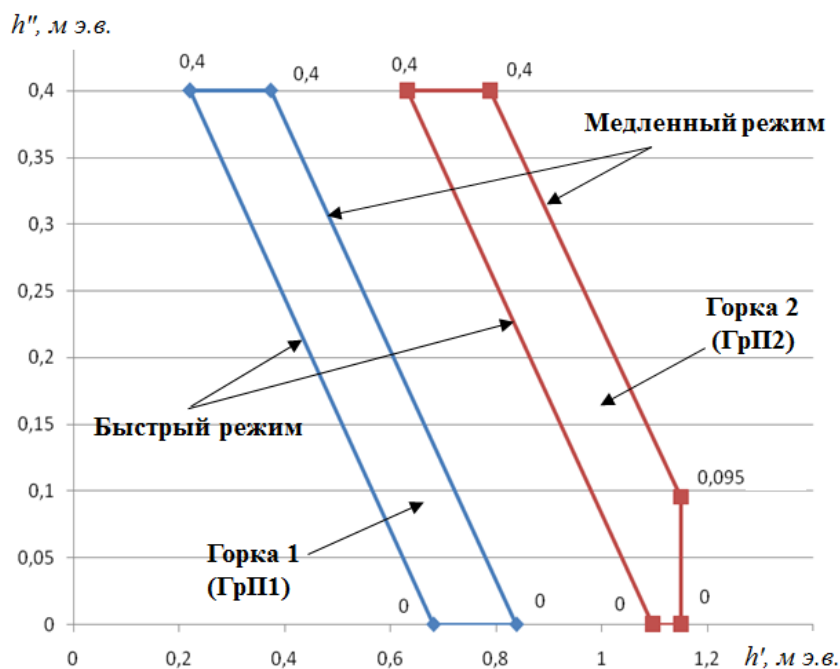


Рисунок 4.4 ОДР торможения отцепов для горок ДВСУ

Ограничения ОДР определяются минимальной u'_{\min} и максимальной u'_{\max} скоростями выхода отцепа с ВТП, при которых выполняются условия прицельного регулирования. При этом минимальная скорость должна обеспечивать его докочувания к точке прицеливания с скоростью $V_{\pi} = 0$ без торможения на ПТП ($h'' = 0$). При максимальной скорости полностью используется мощность ПТП ($h'' = H''$), а скорость отцепа в точке прицеливания равняется допустимой ($V_{\pi} = V_{\text{пд}}$).

Ограничения по тормозной мощности тормозных позиций можно представить как:

$$\begin{cases} 0 \leq h' \leq H', \\ 0 \leq h'' \leq H'', \end{cases}$$

где H' , H'' – суммарная номинальная тормозная мощность ВТП и ПТП.

Максимальная скорость выхода отцепа с ВТП u'_{\max} и, соответственно, минимальная погашаемая высота h'_{\min} определяется из условия обеспечения допустимой скорости $v_{\text{д}}$ входа этого отцепа на ПТП:

$$h'_{\min} = \min \{ h' \mid v''(h') \leq v_{\text{д}}'' \}.$$

Минимальная скорость выхода с ВТП $u'_{\min}=0$, однако, для того, чтобы торможения не привело к остановке отцепа на позиции, принят $u'_{\min}=0,05$ м/с; при этом максимальная погашаема высота h'_{\max} определяется как:

$$h'_{\max} = \max \{ h' \mid u' (h') > u'_{\min} \}.$$

Режимы торможения отцепов на ВТП и ПТП определяется требованиями прицельного регулирования скорости. Для их выполнения необходимо, чтобы все режимы, которые налегают ОДР ($h \in \Omega$), обеспечивал докочувания отцепа к точке прицеливания s_{Π} с допустимой скоростью $v_{\text{д}}$ ($0 \leq v_{\text{д}} \leq v_{\text{пд}}$); при этом торможения на ПТП должно выполняться в рамках ее номинальной мощности ($0 \leq h'' \leq H''$). Указанные ограничения определяются минимальной $u''_{\text{пр.мин}}$ и максимальной $u''_{\text{пр.макс}}$ скоростями выхода отцепа с ПТП, которые выполняют условия прицельного регулирования. При этом минимальная скорость $u''_{\text{пр.мин}}$ должна обеспечивать его докочувания к расчетной точке с скоростью $v_{\text{д}}=0$. Максимальная скорость $u''_{\text{пр.макс}}$ отвечает такому режиму скатывания, при котором скорость отцепа в расчетной точке равняется допустимой ($v_{\text{д}}=v_{\text{пд}}$). Допустимые режимы торможения, которые обеспечивают соответственно, максимальную $u''_{\text{пр.макс}}$ и минимальную $u''_{\text{пр.мин}}$ скорости выхода отцепа с ПТП, приведенные как:

$$h''_{\text{пр.мин}} = \{ h'' \mid v_{\Pi} = v_{\text{пд}} \},$$

$$h''_{\text{пр.макс}} = \{ h'' \mid v_{\Pi} = 0 \}.$$

4.2.3.2. Влияние режимов торможения на скорость и время скатывания отцепов

Очевидно, что режим торможения отцепа существенным образом влияет на скорость и время его скатывания из горки. В ОДР существуют два предельных режима – быстрый и медленный; соответствующие графики скорости скатывания бегуна X при этих режимах приведены на рис. 4.5.

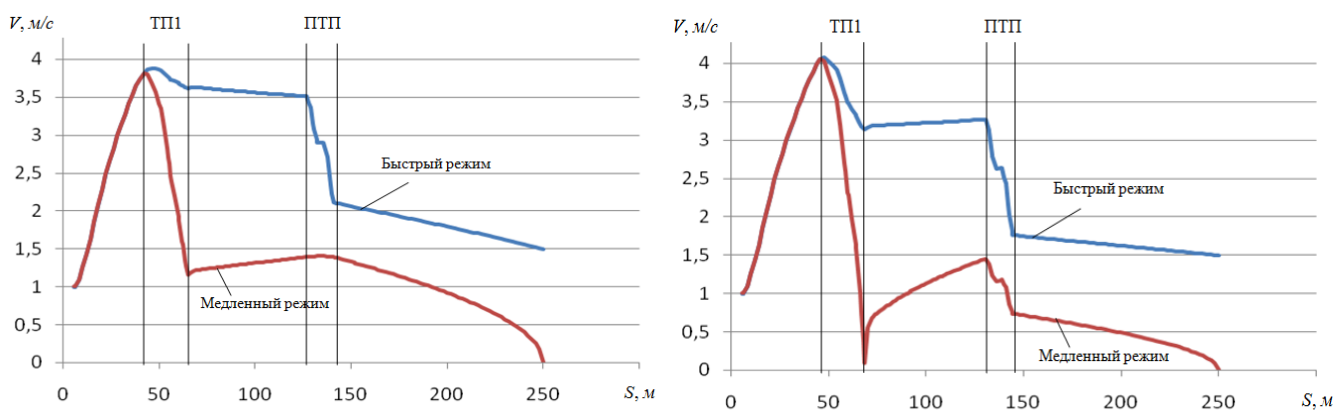


Рисунок 4.5. Графики скорости скатывания бегуна X: а) с горки ГрП1, б) с горки ГрП2

Как видим (рис. 4.5, 4.6), при быстром режиме (Б), скорость отцепа между тормозными позициями и время скатывания отцепа максимальная, а при медленном режиме (М) – минимальная.

Очевидно, что выбор режима торможения существенным образом влияет на скорость и продолжительность скатывания отцепа (рис. 4.5), исходя из этого, интервалы между отцепами также изменяются. Поэтому при расформировании состава необходимо для каждого отцепа выбрать в ОДР (рис. 4.4) такой режим торможения, при котором обеспечиваются наилучшие условия его деления на стрелках со смежными отцепами.

4.2.3.3. Исследования влияния режимов торможения отцепов на условия их деления на стрелках

Задачей интервального регулирования скорости отцепов является обеспечение их надежного разделения на стрелках. С этой целью необходимо выбирать такие режимы торможения отцепов, при которых обеспечиваются достаточные интервалы между ними для перевода разделительных стрелок. Для решения данной задачи необходимо предварительно исследовать влияние режимов торможения отцепов на условия их деления на стрелках.

Условия разделения отцепов можно характеризовать величиной интервала δt между ними на стрелке:

$$\delta t_1 = t_{01} + t_2^{\sigma_1} - \tau_1^{\sigma_1},$$

где t_0 - начальный интервал между отцепами на вершине горки, с;

τ_1^σ - время движения 1-го отцепа от момента отрыва от состава к моменту увольнения изолированного участка стрелки σ , с;

t_2^σ - время движения 2-го отцепа от момента отрыва от состава к моменту занятия изолированного участка стрелки σ , с.

Изменяя режим торможения 2-го отцепа, можно изменять время и условия его деления с 1-м отцепом.

Условия деления пары отцепов 1-2 тем лучше, чем больше интервал δt_1 между ними на стрелке. Действительно, чем больше интервал δt_1 , тем более гарантия успешного деления пара отцепов при случайных отклонениях реализованного режима торможения от рассчитанного. Поэтому в паре отцепов наилучшим для 2-го отцепа будет максимальное торможение, при котором интервал δt_1 максимальный.

4.2.3.4. Регулирования интервалов в группе с трех отцепов

При исследованиях влияния режимов торможения отцепов на условия их разделения на стрелках как правило рассматривают группу из 3-х отцепов. В группе интервал между 2-м и 3-м отцепами определяется аналогично интервала δt_1 .

Очевидно, что в группе с 3-х отцепов увеличения торможения 2-го отцепа приведет к улучшению условий деления отцепов 1-2. Однако при этом увеличится время, которое приведет к уменьшению δt_2 и, итак, ухудшит условия деления отцепов 2-3. Поэтому обычно режим торможения отцепа выбирают с учетом его деления с обеими сопредельными отцепами. При этом возникает задача выбора оптимального режима торможения среднего отцепа в группе с трех сопредельных отцепов.

Наилучшим при интервальном регулировании считается такой режим торможения среднего отцепа в группе, при которой интервалы с сопредельными отцепами на разделительных стрелках максимальные. Условие оптимальности режима торможения среднего отцепа можно записать как

$$\min \{ \delta t_1, \delta t_2 \} \rightarrow \max, \mathbf{h}_2 = \{ h', h'' \} \in \Omega \text{ (ОДР)}$$

4.2.3.5. Итерационный метод оптимизации режимов торможения отцепов состава

Отцепы состава существенным образом различаются параметрами - длине, весу, сопротивлению, дальности пробега в парк и др. Случайное размещение в составе

отцепов с разными параметрами приводит к образованию групп отцепов, которые отличаются условиями деления на стрелках. В благоприятных группах (как правило, это группы длинных отцепов) на вершине горки между отцепами получаются довольно большие интервалы, которые сохраняются к отдельным элементам и обеспечивают надежное разделение таких отцепов. В неблагоприятных группах (группы одиночных отцепов) интервалы между отцепами на вершине горки минимальные, что может в дальнейшем привести к их неразделению на стрелках в случае неправильного выбора режима торможения. Поэтому при оптимизации режимов торможения отцепов необходимо установить указанные группы в составе и определить такие режимы торможения, которые максимизируют интервалы между отцепами на стрелках в неблагоприятных группах за счет некоторого их уменьшения в соседних благоприятных группах. Решения задачи оптимизации режимов интервального регулирования скорости отцепов в такой постановке возможно при использовании предложенного итерационного метода. Метод разрешает найти в составе, который расформируется, группы последовательных отцепов, близких по условиям разделения, и установить для них такие режимы торможения, при которых интервалы на отдельных стрелках для всех пар отцепов группы одинаковые.

Итерационный метод основан на локальной оптимизации режима торможения среднего отцепа критической группы с трех сопредельных отцепов, которая определяется на каждом шаге итерации.

Критической считается группа отцепов, для которой абсолютная величина различия интервалов на разделительных стрелках во второй и в первой паре отцепов максимальная:

$$f_i(q_i) = \delta t_i(q_i, q_{i+1}) - \delta t_{i-1}(q_{i-1}, q_i), i \in [2, n-1],$$

Учитывая локальный характер оптимизации, интервалы δt_{i-1} , δt_i , соответственно, между отцепами первой и второй пар критической группы рассматриваются как функции режима торможения i -го отцепа q_i при фиксированных режимах $(i-1)$ -го и $(i+1)$ -го отцепов:

$$\left. \begin{aligned} \delta t_{i-1}(q_i) &= t_{0,i-1} + t_i(q_i, \sigma_{i-1}) - \tau_{i-1}(\sigma_{i-1}) \\ \delta t_i(q_i) &= t_{0,i} + t_{i+1}(\sigma_i) - \tau_i(q_i, \sigma_i) \end{aligned} \right\}$$

При этом для избранной критической группы должно выполняться одна из двух условий:

$$\text{если } f_i(q_i) > 0, \text{ то } q_i < q_{i,\max},$$

или

$$\text{если } f_i(q_i) < 0, \text{ то } q_i > q_{i,\min}.$$

Если же ни одно из этих условий не выполняется, то это значит, что для i -го отцепа установленный один из двух предельных режимов торможения, который не может быть изменен.

4.3. Исследование и выбор рациональных параметров конструкции двусторонней горки

Как известно, высота горки должна обеспечивать докатывание плохого бегуна до расчетной точки, при этом, как правило, должно выполняться условие

$$i_1 < i_2 < \dots < i_k$$

где k – количество элементов профиля.

Кроме того, должны быть учтены также нормативные ограничения параметров некоторых элементов профиля (скоростного участка, стрелочной зоны, сортировочного пути).

В результате выполненных расчетов была установлена потребная высота горки H_r , которая составила 1,216 м.

С целью определения рациональных параметров профиля горки разработаны несколько его вариантов, обеспечивающих высоту H_r (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Варианты продольного профиля

Элемент профиля	Уклон, ‰				Длина элемента, м
	Варианты профиля				
	1	2	3	4	
Скоростной участок	27	27	21	21	32,22
ТП1	6,155	9,721	15,372	18,937	20,975
Стрелочная зона	2,5	1,5	2,5	1,5	74,781
Сортировочные пути	0,6	0,6	0,6	0,6	50

При этом, уклоны i_1 и i_3 варьировались в определенном диапазоне, уклон i_4 является нормативным и принят равным 0,6, а уклон i_2 определялся из условия сохранения расчетной высоты горки H_r .

Установлено, что параметры продольного профиля существенно влияют на показатели скатывания отцепов.

С учетом этого выполнено исследование влияния продольного профиля сортировочной горки на процесс скатывания отцепов, а также разработан метод определения оптимальной конструкции профиля горки, который обеспечивает максимальные значения критических (минимальных) интервалов на разделительных элементах при выполнении всех нормативных требований.

С этой целью составлены выражения зависимости функции отклика y (минимальный интервал δt_{\min}) от факторов x_1 и x_2 (уклон скоростного участка i_1 и уклон стрелочной зоны i_3).

4.3.1. Полный факторный эксперимент. Метод полного факторного эксперимента (ПФЭ) дает возможность получить математическое описание исследуемого процесса в некоторой локальной области факторного пространства, лежащей в окрестности выбранной точки с координатами $(x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n})$. Перенесем начало координат факторного пространства в эту точку.

Метод полного факторного эксперимента (ПФЭ) служит для получения математического описания процесса в виде как правило линейной части отрезка ряда Тейлора. Таким образом, получается уравнение локального участка поверхности отклика с незначительным значением кривизны.

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (4.1)$$

Для выполнения дальнейших расчетов для каждой физической переменной x_i получают кодированные переменные с помощью выражения

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i}, i = 1, \dots, n, \quad (4.2)$$

где Δx_i – шаг варьирования или масштаб по оси x_i ;

x_{0i} – значение физической переменной x_i на основном уровне.

Основным, или нулевым, уровнем фактора x_i называют его значение, принятое за исходное в плане эксперимента. Сочетание основных уровней принимают за исходную точку для построения плана эксперимента, состоящего из экспериментальных точек, симметричных относительно центра плана.

Шагом варьирования i -го фактора называют число, прибавление которого к основному уровню дает верхний уровень фактора, а вычитание – нижний уровень.

В данном исследовании примем следующие значения основного уровня и шага варьирования для каждого фактора:

1 фактор – i_1 : основной уровень $x_{01} = 24$ ‰, шаг варьирования $\Delta x_1 = 3$ ‰;

2 фактор – i_3 : основной уровень $x_{02} = 2$ ‰, шаг варьирования $\Delta x_2 = 0,5$ ‰.

С учетом того, что ПФЭ является системой опытов, содержащей все возможные неповторяющиеся комбинации уровней варьирования n факторов, то число опытов ПФЭ определяется выражением:

$$N = 2^n$$

Расчет данных для определения коэффициентов регрессии выполняется в табличном виде (таблица 4.2).

Таблица 4.2

Расчет данных для определения коэффициентов регрессии

Опыт	δt_{\min}	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	$x_0 \delta t_{\min}$	$x_1 \delta t_{\min}$	$x_2 \delta t_{\min}$	$x_1 x_2 \delta t_{\min}$
1	2,67	+1	+1	+1	+1	+2,67	+2,67	+2,67	+2,67
2	2,99	+1	+1	-1	-1	+2,99	+2,99	-2,99	-2,99
3	2,115	+1	-1	+1	-1	+2,115	-2,115	+2,115	-2,115
4	2,44	+1	-1	-1	+1	+2,44	-2,44	-2,44	+2,44
Итого						10,215	1,105	-0,645	0,005

В результате расчетов полного факторного эксперимента вычисляют коэффициенты регрессии с помощью выражения:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_i \delta t_{\min j}}{N}$$

Таким образом, получим $b_0 = 10,215 / 4 = 2,554$, $b_1 = 1,105 / 4 = 0,276$, $b_2 = -0,645 / 4 = -0,161$, $b_{12} = 0,005 / 4 = 0,00125$.

Анализ значений полученных коэффициентов позволяет сделать вывод о значимости коэффициентов b_0, b_1, b_2 и незначимости коэффициента b_{12} . Таким образом итоговая модель будет иметь вид

$$y = 2,554 + 0,276X_1 - 0,161X_2 \quad (4.3)$$

4.3.2. Оптимизация функции отклика по методу Бокса-Уилсона. Решение разнообразных задач связано с оптимизацией, то есть нахождением наилучших в определенном смысле значений различных факторов с учетом ограничений, наложенных на все влияющие факторы и на функцию отклика.

Критерий оптимизации профиля можно записать как

$$\min \{ \delta t_1, \delta t_2 \} \rightarrow \max, \quad (4.4)$$

со следующими ограничениями

$$i_j^{\Gamma_{\text{рПР}}} > 0, \text{ при } P = 1, 2; j = 1, 2, \dots, k, i_1^{\Gamma_{\text{рП1}}} + i_1^{\Gamma_{\text{рП2}}} \leq 55\%, i_1^{\Gamma_{\text{рПР}}} > i_2^{\Gamma_{\text{рПР}}} > \dots > i_k^{\Gamma_{\text{рПР}}},$$

$$i_1^{\Gamma_{\text{рПР}}} \geq 25\%, i_2^{\Gamma_{\text{рПР}}} = i_{2\text{расч}}^{\Gamma_{\text{рПР}}}, i_4^{\Gamma_{\text{рПР}}} = i_{4\text{норм}}^{\Gamma_{\text{рПР}}}, \sum_{j=1}^k l_j^{\Gamma_{\text{рПР}}} i_j^{\Gamma_{\text{рПР}}} = H_p^{\Gamma_{\text{рПР}}},$$

$$\delta t_1(i_j) > \delta t_{\min}, \delta t_2(i_j) > \delta t_{\min}.$$

Д. Бокс и К. Уилсон предложили использовать для оптимизации результаты ПФЭ [117, 118].

Оптимизация по методу Бокса-Уилсона состоит из двух этапов:

1-й этап – крутое восхождение с целью скорейшего достижения области оптимума. При этом используется линейное планирование. Линейный план может использоваться один или несколько раз в зависимости от интенсивности продвижения. Первый этап заключается в постановке ряда опытов, в которых с помощью найденного градиента по определенным правилам одновременно изменяют значения всех факторов до тех пор, пока значения функции отклика y не начнет ухудшаться. Полученное наилучшее значение факторов является либо оптимумом, либо началом следующей ступени крутого восхождения, состоящей из тех же двух этапов. Такое "ступенчатое" движение по поверхности отклика продолжают до тех пор, пока не будет найдено оптимальное значение критерия оптимальности. В этом случае дальнейшее крутое восхождение становится невозможным;

2-й этап – описание области оптимума методами нелинейного планирования. При эффективном крутом восхождении весьма часто удается быстро приблизиться к области оптимума (совершить крутое восхождение один раз). Исследователь попадает в область оптимума, которая не может быть описана линейным приближением, и первый этап оптимизации завершается. Метод крутого восхождения не решает вопроса о самой лучшей точке поверхности отклика, об экстремуме. Чтобы изучить область оптимума, необходимо перейти ко второй стадии планирования – к исследованию почти стационарной области.

Предположим, целевая функция задана в виде уравнения регрессии первого порядка (3), полученного по результатам полного факторного эксперимента. Уравнение регрессии адекватно описывает функцию отклика в области значений факторов X_1, X_2 от -1 до $+1$.

Для нахождения экстремума уравнения (3) следует осуществлять движение по градиенту, т. к. оно обеспечивает наиболее короткий путь к экстремуму, то есть направление градиента – это направление самого крутого склона, ведущего от данной точки к экстремуму функции.

Движение по градиенту осуществляют с некоторым шагом, который можно определить для каждого фактора, как $h_i = b_i \Delta x_i$. Так, для первого фактора шаг составит $h_1 = b_1 \Delta x_1 = 0,276 \cdot 3 = 0,828$, или, после округления, $h_1 = 0,8$. Для второго фактора $h_2 = b_2 \Delta x_2 = -0,161 \cdot 0,5 = -0,081$; примем $h_2 = -0,1$.

Движение к оптимуму начинают из центра плана, который использовался для получения математического описания функции отклика, то есть при нулевом уровне факторов. Значения факторов на каждом шаге $j + 1$ находят путем прибавления h_i к соответствующим предыдущим значениям:

$$x_i^{j+1} = x_i^j + h_i$$

Далее, согласно методу крутого восхождения, на каждом шаге рассчитывают мысленные опыты (не производя непосредственного измерения функции отклика), соответствующие наиболее крутому направлению для движения в область оптимума.

Расчет функции отклика ведется для кодированных значений факторов с помощью выражения (2).

Движение к оптимуму прекращают в следующих случаях:

1. Значения одного или нескольких факторов или функции отклика вышли на границы допустимых значений.

2. Достигнут экстремум функции отклика y .

В первом случае оптимизация заканчивается, а во втором – в области экстремума функции ищут ее новое математическое описание, используя ПФЭ. Если удастся получить адекватное описание этой функции в виде (1), то продолжают оптимизацию методом крутого восхождения. При этом можно сделать вывод о том, что оптимум, найденный в результате первого крутого восхождения, был локальным.

Если же в области оптимума не удастся получить адекватного уравнения регрессии вида (1), то переходят к планированию эксперимента для получения математического описания функции y в виде многочлена второй степени.

Матрица планирования, уровни факторов и шаг варьирования, а также результаты эксперимента (коэффициенты регрессии) приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Параметры эксперимента

Параметры	Факторы		Критерий оптимизации для первой стадии
	i_1	i_3	
Уровни варьирования:			
+1	27	2,5	
0	24	2,0	
-1	21	1,5	
Шаг варьирования (Δx_i)	3,0	0,5	
Кодированные переменные	x_1	x_2	
Опыты (план 2^2)			
1	+	+	2,67
2	+	-	2,99
3	-	+	2,115
4	-	-	2,44
Коэффициенты регрессии (b_i)	+0,276	-0,161	
Произведение ($b_i \Delta x_i$)	+0,828	-0,081	
Округленный шаг	+0,8	-0,1	
Мысленные опыты:			
5	24	2,0	2,554
6	24,8	1,9	2,6598
7	25,6	1,8	2,766
8	26,4	1,7	2,8714
9	27,5	1,6	2,977
10	28,0	1,5	3,083

Как видим из таблицы 4.3, при достижении нижней границы значений второго фактора ($i_3 \geq 1,5$) значение функции отклика имеет восходящий тренд, таким образом, дальнейшее использование метода крутого восхождения невозможно. При этом максимальное значение функции отклика $\delta t_{\min} = 3,083$ с достигается при оптимальных значениях уклонов $i_1 = 28,0$ ‰, $i_2 = 8,18$ ‰, $i_3 = 1,5$ ‰ и $i_4 = 0,6$ ‰.

Параметры профиля путей группировочного парка влияют на скорость скатывания отцепов и дальность их пробега в парк и, соответственно, на объем маневровой работы по осаживанию вагонов для ликвидации окон между ними. В этой связи при выборе конструкции профиля необходимо учитывать особенности динамики скатывания отцепов с различными ходовыми качествами при разных параметрах профиля. Поэтому в диссертации выполнены исследования влияния конструкции профиля путей группировочного парка ГрП1, расположенного между ОСГ и вспомогательной двусторонней ГММ, на скорость и время скатывания отцепов.

С этой целью были рассмотрены три варианта профиля путей группировочного парка, отличающиеся длиной его элементов l_1 , l_2 и l_3 (см. табл. 4.4), для которых были определены различия в характере изменения скорости и времени скатывания отцепов.

Таблица 4.4

Варианты продольного профиля путей группировочного парка ГрП1

Варианты профиля путей ГрП1	Параметры профиля путей ГрП1		
	Элемент профиля от ПТП ГММ ГрП1 до начала горизонтального участка, l_1	Горизонтальный участок путей ГрП1, l_2	Элемент профиля от конца горизонтального участка до ПТП ОСГ, l_3
I	50	0	50
		247,5	
II	100	0	100
		147,5	
III	150	0	150
		47,5	

Для наглядности варианты продольного профиля путей группировочного парка ГрП1 из табл. 4.4 представлены на рис. 4.6.

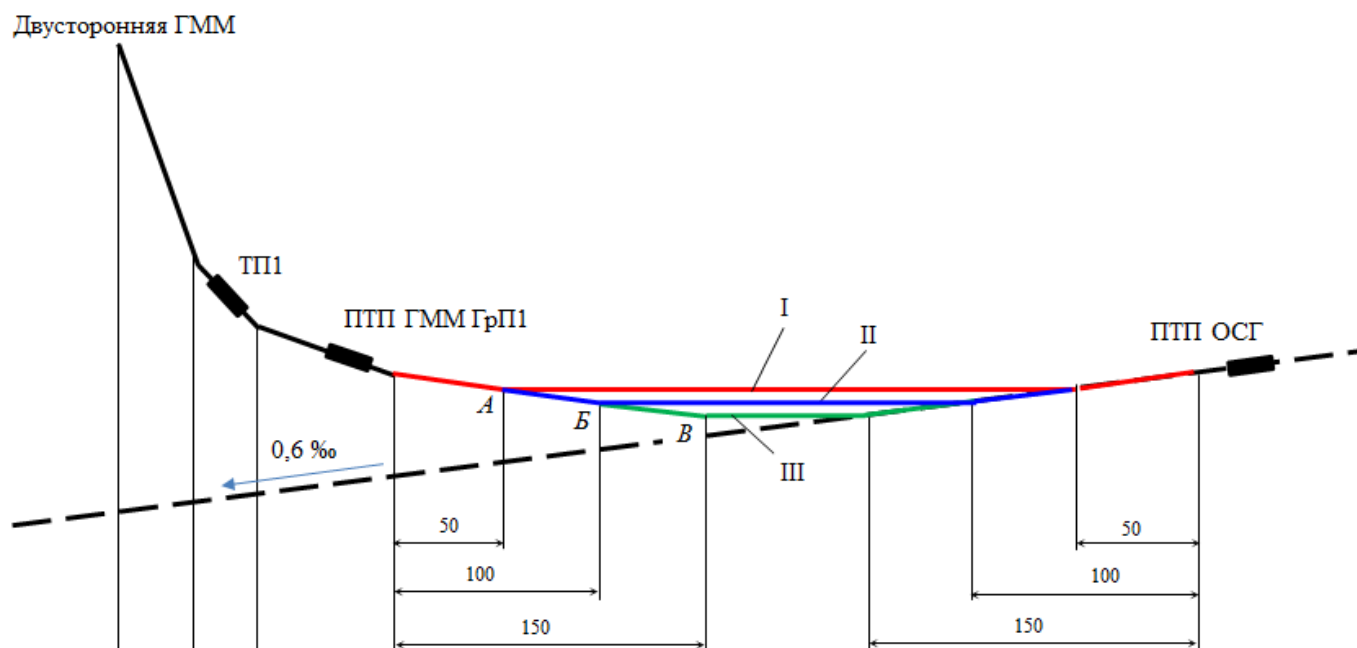


Рис. 4.6 – Варианты продольного профиля путей группировочного парка ГрП1

Исследования динамики скатывания отцепов с сортировочной горки производились для двух расчетных отцепов X и П, отличающихся ходовыми качествами; параметры отцепов приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Параметры расчетных отцепов

Параметр	Расчетные отцепы	
	X	П
Род вагона	ПВ	ПВ
Число осей	4	4
Тип подшипника	роликовые	роликовые
Вес Q_b , т	60	37
Основное удельное сопротивление w_0 , Н/кН	1,1	2,5

Для каждого варианта профиля путей группировочного парка ГрП1 было выполнено имитационное моделирование свободного скатывания (без торможения) указанных двух отцепов при неблагоприятных условиях (табл. 4.6).

Условия скатывания расчетных отцепов

Характеристики	Значения
Начальная скорость v_0 , м/с	1,2
Скорость ветра $v_{вет}$, м/с	5,0 (встречный)
Направление ветра β , град	20
Температура воздуха t , °С	-10

По результатам моделирования для каждого варианта профиля путей группировочного парка ГрП1 были построены графики скорости $V(S)$ скатывания отцепов Х и П (см. рис. 4.7).

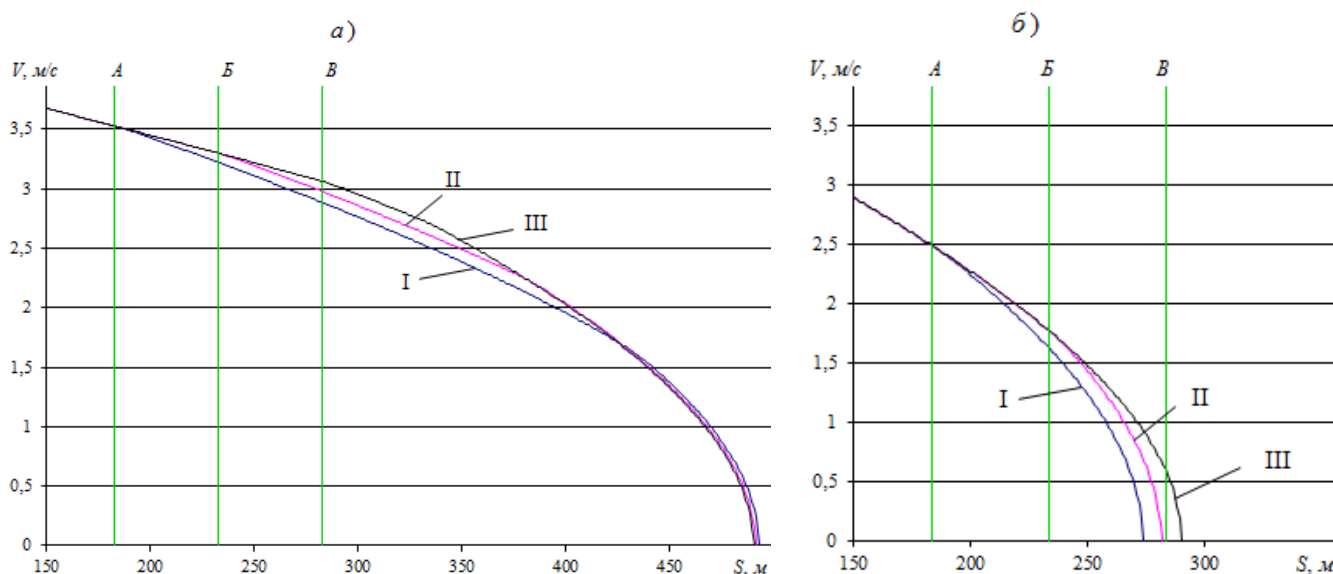


Рис. 4.7 – Графики скорости $V(S)$ скатывания отцепов по вариантам профиля путей ГрП1: а) для отцепа Х, б) для отцепа П.

Как видно из рис. 4.7, а, докатывание бегуна Х для всех вариантов продольного профиля путей ГрП1 имеет незначительное отличие, что можно объяснить компенсацией воздействия разгоняющих уклонов ГММ аналогичными замедляющими уклонами ОСГ. Что касается бегуна П, то, как следует из рис. 4.7, б, указанный бегун докатывается максимально далеко (и то лишь до горизонтального участка путей ГрП1) в варианте профиля III, который характеризуется минимальной длиной указанного горизонтального участка и, соответственно, максимальной длиной ускоряющего элемента профиля путей ГрП1 с $i = 0,6\%$.

Для получения усредненных параметров по каждому из вариантов профиля путей группировочного парка ГрП1 были выполнены эксперименты с имитационной моделью роспуска потока составов и получены следующие качественные показатели (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Качественные показатели по вариантам продольного профиля путей ГрП1

Варианты профиля путей ГрП1	$L_{\text{окн}}$	$V_{\text{пр}}$	δt	h_T
I	25,48	0,85	7,98	0,36
II	24,72	0,87	7,92	0,38
III	24,18	0,88	7,86	0,39

В качестве рационального варианта профиля путей ГрП1 примем вариант который обеспечивает минимальную длину «окон» на путях этого парка.

В итоге были установлены все необходимые параметры продольного профиля предложенного ДВСУ; его схематическое изображение приведено на рис. 4.8.

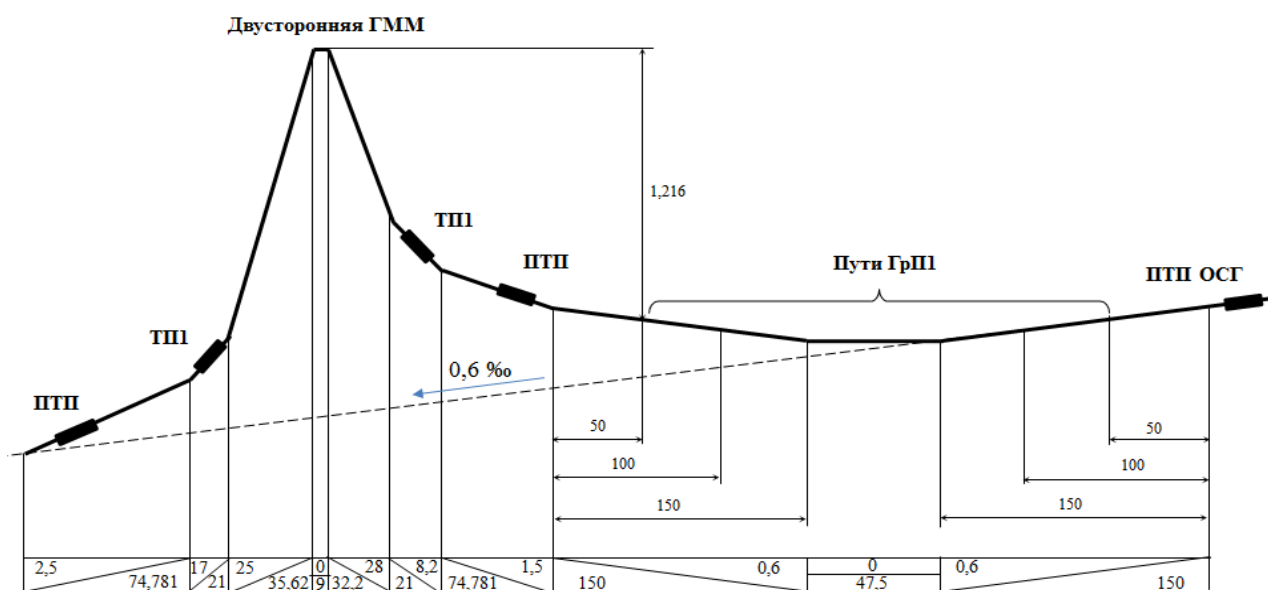


Рис. 4.8 – Результат оптимизации продольного профиля ДВСУ

4.4. Формализация технологии формирования многогруппных составов с использованием двусторонней горки

Для обеспечения максимальной эффективности предложенных ВСУ и группировочных парков необходима специальная технология, которая основана на адапти-

рованных методах формирования многогруппных составов [104, 112]. При этом для адаптации с целью применения на двустороннем сортировочном устройстве были выбраны все ранее упомянутые методы формирования многогруппных составов.

Прежде всего, следует обозначить основные общие понятия, связанные с формированием многогруппных составов на вспомогательной двусторонней горке. Принято, что группировочный парк ГрП1 состоит из m_1 путей, а парк ГрП2 – из m_2 путей; при этом в этих парках предусмотрено по одному ходовому пути, и, таким образом, для формирования используются, соответственно, $m_1^* = m_1 - 1$ путей в ГрП1 и $m_2^* = m_2 - 1$ путей в ГрП2.

Далее выполним адаптацию рассмотренных в разделе 2 методов для выполнения двустороннего формирования многогруппных составов на предложенном устройстве; при этом путевое развитие обоих группировочных парков принято равным $m_1 = m_2 = 4$ путям (рис. 4.2), а эффективное путевое развитие, используемое собственно для формирования, составляет $m_1^* = m_2^* = 4 - 1 = 3$ пути (без учета одного ходового пути в каждом парке).

С целью обеспечения возможности реализации известных методов формирования многогруппных составов в имитационной модели было выполнено их формализацию.

4.4.1. Комбинаторный адаптированный метод (КМА). Формирование многогруппных составов данным методом на двустороннем сортировочном устройстве предполагает, так же как и на одностороннем устройстве, применение фибоначчиевых кодов (с основанием m) групп вагонов и специальную сменную нумерацию путей обоих группировочных парков, используемых для формирования (0, 01, 011, ...).

С помощью кодов ЛНГ на каждом этапе формирования выбирается путь следования вагонов каждой группы при сортировке; при этом, после окончания текущего этапа цифра кода, находящаяся в младшем разряде (справа), вычеркивается, после чего образуется новый код с меньшей разрядностью, который анализируется на следующем этапе. При переходе к следующему этапу формирования нумерация путей обоих парков циклически меняется.

Особенностью формирования многогруппных составов при использовании

комбинаторного адаптированного метода (КМА) на предложенном ДСУ является выполнение формирования в двух группировочных парках (ГрП1 и ГрП2), имеющих отдельное путевое развитие (в ГрП1 m_1 путей, а в ГрП2 – их m_2); при этом, с учетом необходимости наличия свободного пути в каждом из группировочных парков для пропуска маневрового локомотива, доступное для формирования число путей в парке ГрП1 составит $m_1^* = m_1 - 1$, а в ГрП2 – $m_2^* = m_2 - 1$. При составлении кодов сортировки групп вагонов было принято одинаковое путевое развитие указанных парков (т. е. $m_1 = m_2$, и, соответственно, $m_1^* = m_2^*$).

В отличие от классического комбинаторного метода, в КМА операция вытягивания вагонов осуществляется лишь на этапе $j = 0$ (с пути ОСП, выделенного для накопления местных вагонов). В замен данной операции на этапах формирования $0 < j \leq N$ на ДСГ выполняется надвиг всех вагонов со всех путей группировочного парка; при этом на нечетных этапах ($j \bmod 2 \neq 0$) надвиг вагонов происходит из нечетного группировочного парка ГрП1 начиная с пути со старшим кодом ЛНП и заканчивая путем с ЛНП равным нулю, а на четных этапах (кроме этапа $j = 0$) – из четного группировочного парка ГрП2 начиная с пути с нулевым ЛНП и заканчивая путем со старшим ЛНП. При этом, вагоны, которые надвигаются из путей с ЛНП равным нулю сортируются на пути второго парка согласно кодов ЛНГ, вагоны из прочих путей направляются всей группой на путь противоположного парка с аналогичным ЛНП как и у пути, с которого происходил надвиг.

Формализация процесса формирования многогруппного состава классическим комбинаторным методом с помощью одностороннего сортировочного устройства рассмотрена в п. 2.3.2. Многие выражения, приведенные для КМ подходят и для КМА; далее представлены только выражения, показывающие особенности взаимосвязи параметров путевого развития предложенного ДСУ и многогруппного состава при формировании данным методом.

а) парк, с путей которого выполняется вытягивание/надвиг вагонов

$$P_{\text{вн}} = \begin{cases} \text{ОСП (вытягивание на ОСГ) при } j = 0 \\ \text{ГрП1 (надвиг на ДСГ) при } j \bmod 2 \neq 0 \\ \text{ГрП2 (надвиг на ДСГ) при } j \bmod 2 = 0, j > 0 \end{cases},$$

б) парк, на пути которого выполняется сортировка вагонов

$$P_c = \begin{cases} \text{ГрП1 при } j \bmod 2 = 0 \\ \text{ГрП2 при } j \bmod 2 \neq 0 \end{cases},$$

в) ЛНП μ_i вытягивания $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_j = \mu_{\text{нак}} \text{ при } j = 0,$$

отсутствует при $j > 0$.

г) ЛНП μ_i надвига $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе (в случае $m^* = m_1^* = m_2^*$)

$$\mu_{1j} = \mu_j + m^* - 1, \mu_j + m^* - 2, \dots, \mu_j + 1, \mu_j, \text{ при } \mu_j = 0, j \in 0, N-1, j \bmod 2 \neq 0,$$

$$\mu_{2j} = \mu_j, \mu_j + 1, \dots, \mu_j + m_2^* - 2, \mu_j + m_1^* - 1, \text{ при } \mu_j = 0, j \in 0, N-1, j \bmod 2 = 0, j > 0,$$

$$\text{при этом } \mu_{2j+1} = \mu_{1j+1} = \mu_{j+1} = (\mu_j + m^* - 1) \bmod m^*.$$

д) ЛНП μ_i сортировки P_c -го парка на j -м этапе

– для состава вытянутого из пути накопления ОСП или надвинутого с пути

$$\mu_j = 0 \text{ } P_{\text{вн}}\text{-го парка}$$

$$\mu \gamma_i \text{ если в } \gamma_i \varphi_{k+j} = 0, \varphi_{k+j-1} = \dots = \varphi_{j+1} = \varphi_j = 1, \lfloor \square \setminus j \in 0, N-1, .$$

– для состава, надвигаемого с пути $\mu_j \neq 0$ $P_{\text{вн}}$ -го парка

$$\mu_{2j} = \mu_{1j}, \text{ при } j \in 0, N-1, j \bmod 2 \neq 0,$$

$$\mu_{1j} = \mu_{2j}, \text{ при } j \in 0, N-1, j \bmod 2 = 0, j > 0,$$

Пример формирования многогруппного состава на предлагаемом двустороннем сортировочном устройстве методом КМА проиллюстрирован в Приложении Г на рис. Г.1.

4.4.2. Распределительный адаптированный метод (РМА). Формирование распределительным методом многогруппных составов на предложенном устройстве, как и при формировании классическим распределительным методом на одностороннем устройстве, предполагает использование позиционной системы кодообразования (с основанием m_1^* / m_2^*) групп вагонов и специальную неизменяемую нумерацию путей обоих парков, используемых для формирования (0, 1, 2, ...). Сборка вагонов отсутствует – вместо нее на нулевом этапе выполняется вытягивание вагонов из ОСП накопленных местных вагонов на ОСГ. Надвиг вагонов на каждом этапе фор-

мирования осуществляется в поочередно в определенном порядке со всех путей того или иного группировочного парка.

С помощью кодов ЛНГ на каждом этапе формирования выбирается путь следования вагонов каждой группы при сортировке; с этой целью выполняется анализ цифры кода, разряд которой совпадает с номером этапа (справа налево).

Формализация процесса формирования многогруппного состава классическим распределительным методом с помощью одностороннего сортировочного устройства рассмотрена в п. 2.3.3. Ниже приведены отличающие РМА от классического РМ выражения:

а) парк, с путей которого выполняется вытягивание/надвиг вагонов

$$P_{\text{вн}} = \begin{cases} \text{ОСП (вытягивание на ОСГ) при } j = 0 \\ \text{ГрП1 (надвиг на ДСГ) при } j \bmod 2 \neq 0 \\ \text{ГрП2 (надвиг на ДСГ) при } j \bmod 2 = 0, j > 0 \end{cases},$$

б) парк, на пути которого выполняется сортировка вагонов

$$P_c = \begin{cases} \text{ГрП1 при } j \bmod 2 = 0 \\ \text{ГрП2 при } j \bmod 2 \neq 0 \end{cases},$$

в) ЛНП μ_i сборки $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_j = \mu_{\text{нак}} \text{ при } j = 0, \\ \text{отсутствует при } j > 0.$$

г) ЛНП μ_i надвига $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_{1j} = m - 1, m - 2, \dots, 0 \text{ при } j \in 0, N - 1, j \bmod 2 \neq 0, \\ \mu_{2j} = 0, 1, \dots, m - 2, m - 1 \text{ при } j \in 0, N - 1, j \bmod 2 = 0, j > 0.$$

д) ЛНП μ_i сортировки P_c -го парка на j -м этапе:

$$\mu \gamma_i = k, \text{ если в } \gamma_i \varphi_{k+j} = 0, \varphi_{k+j-1} = \dots = \varphi_{j+1} = \varphi_j = 1, j \in 0, N - 1, ..$$

Существенным достоинством адаптированного распределительного метода по сравнению с классическим РМ является отсутствие необходимости сборки вагонов со всех путей (кроме нулевого этапа), что позволяет значительно сократить число перемещаемых вагонов в процессе маневровых передвижений.

Пример формирования многогруппного состава с использованием двустороннего ВСУ методом РМА приведен в Приложении Г на рис. Г.2.

4.4.3. Основной ступенчатый адаптированный метод (ОСМА). Как и при формировании классическим ОСМ, использование данного метода не требует предварительного специального кодирования ЛНГ вагонов состава; нумерация путей обоих парков, используемых для формирования, – десятичная (1, 2, 3, ...). Формирование данным методом выполняется по алгоритму, приведенному в п. 2.3.4. Особенности данного метода позволяют, с использованием ДСУ, сформировать состав при однократном прохождении прямого направления сортировочного потока, однако максимальное число групп такого состава имеет ограничение и тесно связано с числом используемых сортировочно-группировочных путей m_1^*, m_2^* группировочных парков.

Выражения, характеризующие общие для адаптированного и классического ОСМ зависимости между параметрами состава и путевого развития указаны в п. 2.3.4. Ниже указаны закономерности, присущие адаптированной к использованию на ДСУ версии ОСМ.

а) парк, с путей которого выполняется вытягивание/надвиг вагонов

$$P_{\text{вн}} = \begin{cases} \text{ОСП (вытягивание на ОСГ) при } j = 0 \\ \text{ГрП1 (надвиг на ДСГ) при } j = 1 \end{cases},$$

б) парк, на пути которого выполняется сортировка вагонов

$$P_{\text{с}} = \begin{cases} \text{ГрП1 при } j = 0 \\ \text{ГрП2 при } j = 1 \end{cases},$$

в) максимальное число групп G_m , которое может быть подобрано на m_1^* / m_2^* путях

$$G_m = 0,5m^*(m^* + 1), \text{ при } m^* = \min\{m_1^*; m_2^*\}, \text{ где } m_1^*, m_2^* \in \mathbb{N},$$

г) ЛНП μ_i сборки $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_j = \mu_{\text{нак}} \text{ при } j = 0,$$

отсутствует при $j > 0$.

д) ЛНП μ_i надвига $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_{1j} = m - 1, m - 2, \dots, 0 \text{ при } j = 1,$$

е) ЛНП μ_i сортировки P_c -го парка на j -м этапе:

$$\mu_i = \gamma_i - 0,5(2m - \eta_i - 1), \text{ где } \eta_i = m^* - 0,5(1 + \theta) \text{ при } j = 0,$$

$$\mu_i = \eta_i + 1 \text{ при } j = 1.$$

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ методом ОСМА приведен в Приложении Г на рис. Г.3.

4.4.4. Двойной ступенчатый адаптированный метод (ДСМА). При формировании данным методом нет необходимости специально кодировать ЛНГ вагонов состава; нумерация путей обоих парков, используемых для формирования, как и в ОСМА – десятичная (1, 2, 3, ...). Формализация классического ДСМ приведена в п. 2.3.5. Максимальное число групп вагонов, которое может быть сформировано на рассматриваемом устройстве, зависит от путевого развития группировочных парков ГрП1 и ГрП2.

Следует отметить, что в отличие от классического ДСМ, в ДСМА на нулевом этапе нечетные ЛНГ не распределяются по путям, а накапливаются на одном из них; их распределение происходит на первом этапе на пути парка ГрП2.

С помощью ЛНГ на каждом этапе формирования выбирается путь следования вагонов каждой группы при сортировке.

Для данной адаптации ДСМ были формализованы следующие существенные зависимости:

а) парк, с путей которого выполняется вытягивание/надвиг вагонов

$$P_{\text{вн}} = \begin{cases} \text{ОСП (вытягивание на ОСГ) при } j = 0 \\ \text{ГрП1 (надвиг на ДСГ) при } j = 1 \\ \text{ГрП2 (надвиг на ДСГ) при } j = 2 \end{cases},$$

б) парк, на пути которого выполняется сортировка вагонов

$$P_c = \begin{cases} \text{ГрП1 при } j \bmod 2 = 0 \\ \text{ГрП2 при } j \bmod 2 \neq 0 \end{cases},$$

в) максимальное число групп G_m , которое может быть подобрано на m_1^* / m_2^* путях

$$G_m = m^*(m^* + 1), \quad m^* \in \mathbb{N}, \text{ при } m^* = \min\{m_1^*; m_2^*\}, \text{ где } m_1^*, m_2^* \in \mathbb{N},$$

г) ЛНП μ_i сборки $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_j = \mu_{\text{нак}} \text{ при } j = 0,$$

отсутствует при $j > 0$.

д) ЛНП μ_i надвига $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_{1j} = 1,0 \text{ при } j = 1,$$

$$\mu_{2j} = m - 1, m - 2, \dots, 0 \text{ при } j = 2.$$

е) ЛНП μ_i сортировки P_c -го парка на j -м этапе:

$$\mu(\gamma_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } \gamma_i \bmod 2 = 0 \\ 1, & \text{при } \gamma_i \bmod 2 \neq 0 \end{cases}, \text{ при } j = 0,$$

$$\mu(\gamma_i) = \begin{cases} 0,5(\gamma_i - \eta_i^I(2m - \eta_i^I - 1) + 2), & \text{при } \gamma_i \bmod 2 = 1 \\ 0,5(\gamma_i - \eta_i^{II}(2m - \eta_i^{II} - 1) + 1), & \text{при } \gamma_i \bmod 2 = 0 \end{cases}, \text{ при } j = 1,$$

$$\mu(\gamma_i) = \eta_i^{II} + 1, \text{ при } j = 2,$$

$$\text{где } \eta_i^I = \left\lceil 0,5(2m - \sqrt{(2m+1)^2 - 4(\theta+2)} - 1) \right\rceil,$$

$$\eta_i^{II} = \left\lceil 0,5(2m - \sqrt{(2m+1)^2 - 4(\theta+1)} - 1) \right\rceil.$$

Данный метод за три этапа позволяет сформировать многогруппный состав с максимальным числом групп G_m , практически вдвое превышающим аналогичное у ОСМА. В то же время, требуемое путевое развитие зависит от параметров состава, что позволяет говорить о недостаточной универсальности двух последних методов.

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ методом ДСМА приведен в Приложении Г на рис. Г.4.

4.4.5. Адаптированный метод равномерного нарастания (МРНА). Для выполнения формирования многогруппного состава данным методом не требуется какое-либо кодирование ЛНГ или ЛНП. На каждом промежуточном этапе формирования вытягивание выполняется лишь с последнего, отсевного, пути. С помощью кодов ЛНГ на каждом этапе формирования выбирается путь следования вагонов каждой группы при сортировке.

Основные выражения, отображающие зависимости параметров путевого развития от параметров состава для данного метода приведены в п. 2.3.6.

Зависимости, свойственны МРНА, представлены ниже:

а) парк, с путей которого выполняется вытягивание/надвиг вагонов

$$P_{\text{вн}} = \begin{cases} \text{ОСП (вытягивание на ОСГ) при } j = 0 \\ \text{ГрП1 (надвиг на ДСГ) при } j \bmod 2 \neq 0 \\ \text{ГрП2 (надвиг на ДСГ) при } j \bmod 2 = 0, j > 0 \end{cases},$$

б) парк, на пути которого выполняется сортировка вагонов

$$P_c = \begin{cases} \text{ГрП1 при } j \bmod 2 = 0 \\ \text{ГрП2 при } j \bmod 2 \neq 0 \end{cases},$$

в) количество этапов N формирования

$$N = \left\lceil \frac{\theta - 1}{m^* - 1} \right\rceil \text{ при } m^* = m_1^* = m_2^*, m \in \mathbb{N},$$

г) ЛНП μ_i сборки $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_j = \mu_{\text{нак}} \text{ при } j = 0,$$

отсутствует при $j > 0$.

д) ЛНП $\mu_j(\gamma_i)$ надвига $P_{\text{вн}}$ -го парка на j -м этапе

$$\mu_j = \begin{cases} m_1^* - 1, \text{ при } j \bmod 2 \neq 0 \\ m_2^* - 1, \text{ при } j \bmod 2 = 0, j > 0 \end{cases},$$

е) ЛНП μ_i сортировки P_c -го парка на j -м этапе:

$$\mu_j(\gamma_i) = \begin{cases} \gamma_i \bmod m^*, \text{ при } \lfloor \gamma_i / m^* \rfloor = j \\ m^* - 1, \text{ при } \lfloor \gamma_i / m^* \rfloor \neq j \end{cases} \text{ при } j \in 0, N-1, j > 0,$$

$$\text{где } \gamma_i = \begin{cases} \theta, \theta - 1, \dots, \text{ для } P_c = \text{ГрП1} \\ 0, 1, 2, \dots, \text{ для } P_c = \text{ГрП2} \end{cases}$$

Данный метод имеет сходную с первыми двумя методами функциональность ибо число групп, которое может быть подобрано на выделенном числе путей, не зависит от последнего.

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ методом МРНА приведен в Приложении Г на рис. Г.5.

4.5. Функциональное моделирование процесса формирования многогруппных составов с использованием двусторонней горки

С помощью разработанной функциональной модели, описанной в разделе 2, были выполнены исследования процесса формирования многогруппных составов разными методами. С этой целью были сгенерированы составы, с количеством вагонов и логических групп от 10 до 35 с шагом 5.

Следует отметить, что несмотря на то, что все методы были успешно адаптированы для использования на ДВСУ, однако у ступенчатых методов (ОСМ и ДСМ) имеется непосредственная связь между количеством путей для формирования и числом групп состава, которые могут быть подобраны. Таким образом, для 3-х доступных для формирования путей с помощью ОСМ можно подобрать состав из 6-ти групп, а ДСМ подойдет для подборки многогруппного состава с максимальным числом групп равным 11. Тем не менее, ввиду недостаточной универсальности указанных методов, они были исключены из дальнейшего исследования.

Результаты исследований для КМ, РМ и МРН указаны в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Продолжительность формирования многогруппного состава разными методами на ДВСУ, T_{ϕ} , мин

СУ	Число логических групп состава, θ					
	10	15	20	25	30	35
КМ	48,35	57,26	69,23	81,89	94,12	107,93
РМ	31,37	36,8	42,6	49,73	57,26	64,5
МРН	36,15	43,56	52,1	61,04	70,23	81,22

По данным табл. 4.8 построим графические зависимости продолжительности формирования T_{ϕ} от числа логических групп вагонов θ для каждого рассмотренного метода (рис. 4.9).

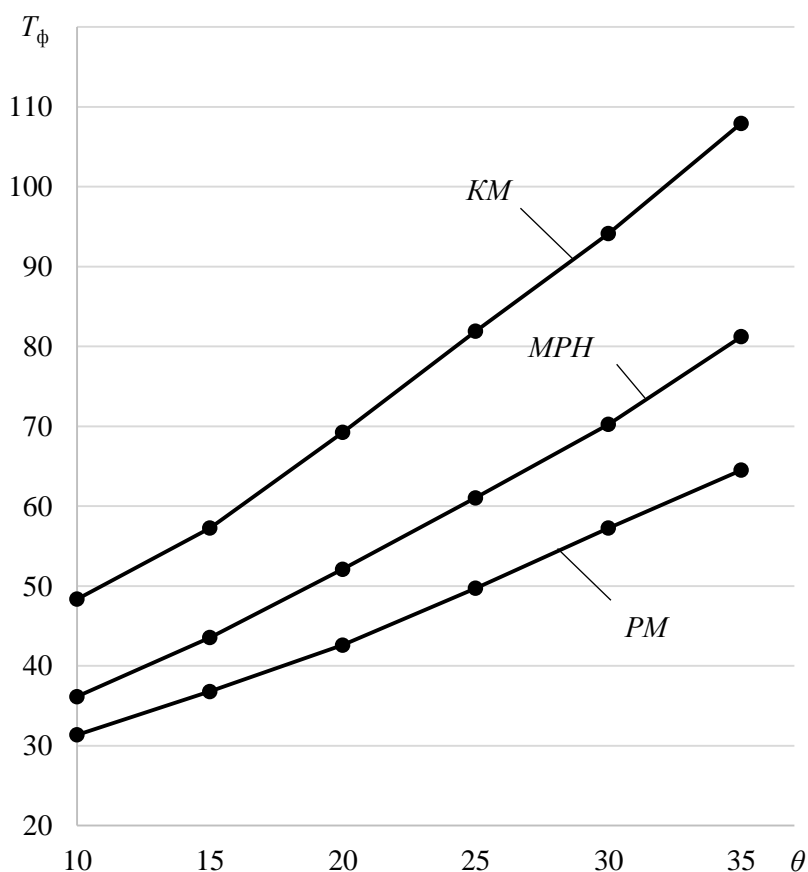


Рис. 4.9 – Зависимость средней продолжительности формирования многогруппных составов от числа логических групп при использовании разных методов

Как следует из табл. 4.8 и рис. 4.9 формирование многогруппного состава распределительным методом требует меньших затрат времени по сравнению с остальными методами; необходимо отметить, что указанное утверждение актуально для составов с разным числом вагонов и групп.

В этой связи можно утверждать, что распределительный метод на ДВСУ является безусловно рациональным методом.

Интересным представляется исследование эффективности работы распределительного метода на специализированном устройстве по сравнению с его применением на других сортировочных устройствах.

В результате исследований были установлены продолжительности формирования многогруппного состава при использовании различных сортировочных устройств (таблица 4.9).

Продолжительность формирования многогруппного состава РМ с использованием различных технических средств, T_{ϕ} , мин

СУ	Число логических групп состава, θ					
	10	15	20	25	30	35
ОСГ	25,63	38,6	55,1	71,2	87,2	104,6
Вытяжной путь	45,01	67,8	118,08	176,97	237,73	307,69
ДВСУ	31,37	36,8	42,6	49,73	57,26	64,5

Зависимость продолжительности формирования указанных составов T_{ϕ} от числа логических групп вагонов θ по данным табл. 4.9 представлена на рис. 4.10.

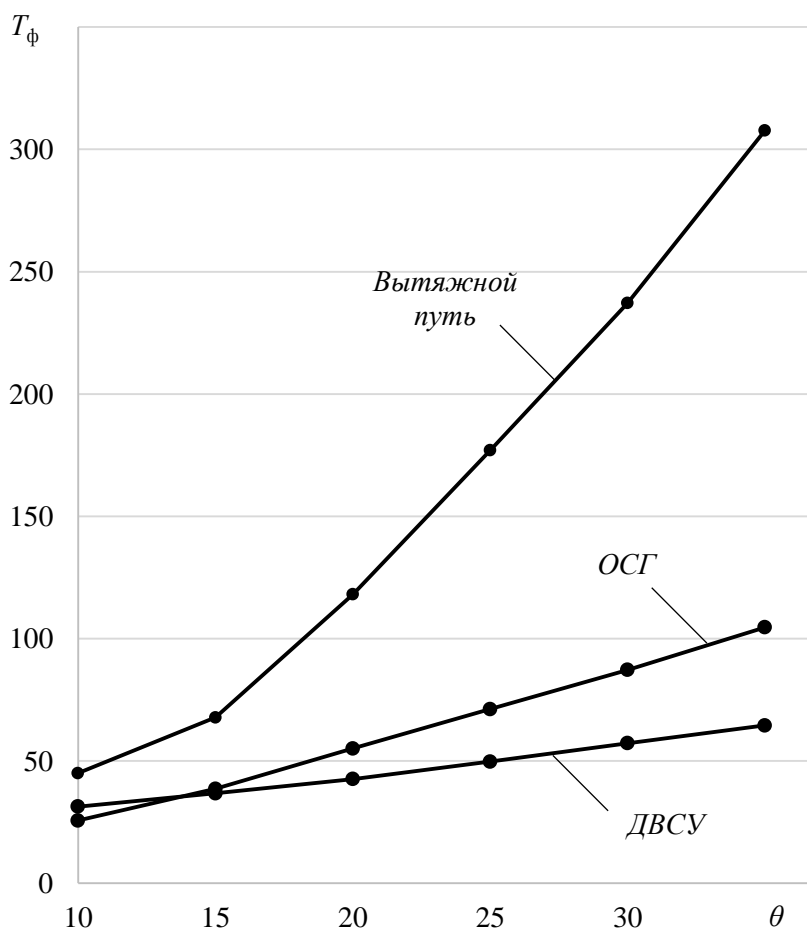


Рис. 4.10 – Зависимость средней продолжительности формирования многогруппных составов от числа логических групп для разных сортировочных устройств

Сокращение времени формирования составов на предложенном устройстве относительно прочих средств формирования приведено в табл. 4.10.

**Сокращение времени формирования составов на предложенном устройстве
относительно прочих средств формирования, ΔT_{ϕ} , мин**

СУ	Число логических групп состава, θ					
	10	15	20	25	30	35
ОСГ	-5,74	1,8	12,5	21,47	29,94	40,1
Вытяжной путь	13,64	31	75,48	127,24	179,89	243,19

Графически данные табл. 4.10 представлено на рис. 4.11.

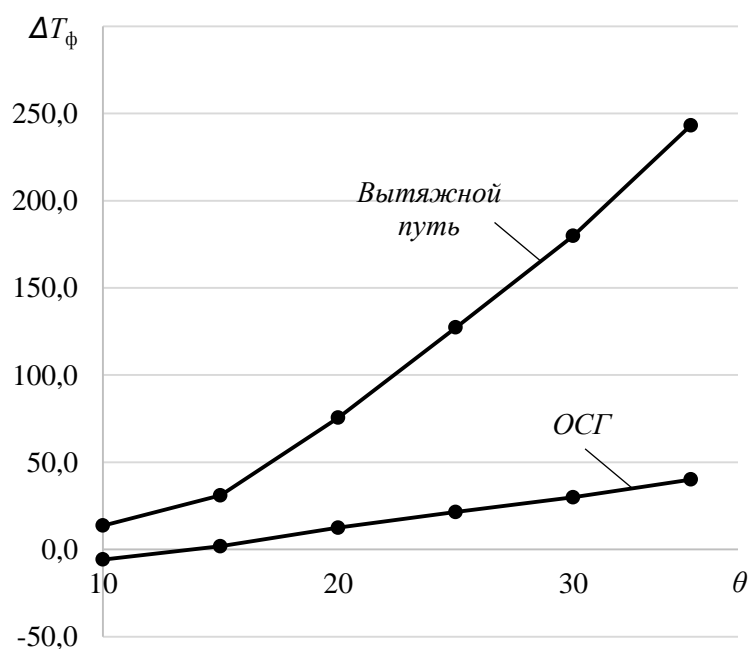


Рис. 4.10 – Зависимость сокращения продолжительности формирования многогруппных составов от числа логических групп

При этом, относительный эффект формирования многогруппных составов на предложенном устройстве определяется как

$$\delta = \frac{\bar{t}_{\phi,i} - \bar{t}_{\phi,ДВСУ}}{\bar{t}_{\phi,i}} \cdot 100\%,$$

где $\bar{t}_{\phi,i}$ – среднее время формирования состава заданного потока на i -м сортировочном устройстве;

$\bar{t}_{\phi,ДВСУ}$ – среднее время формирования состава заданного потока на предложенном вспомогательном сортировочном устройстве.

Результаты расчетов приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

**Относительный эффект формирования многогруппных составов
на предложенном устройстве, δ , %**

СУ	Число логических групп состава, θ					
	10	15	20	25	30	35
ОСГ	-18,30	4,66	22,69	30,15	34,33	38,34
Вытяжной путь	28,79	45,72	63,92	71,90	75,85	79,04

Данные табл. 4.11 представлены в графическом виде на рис. 4.12.

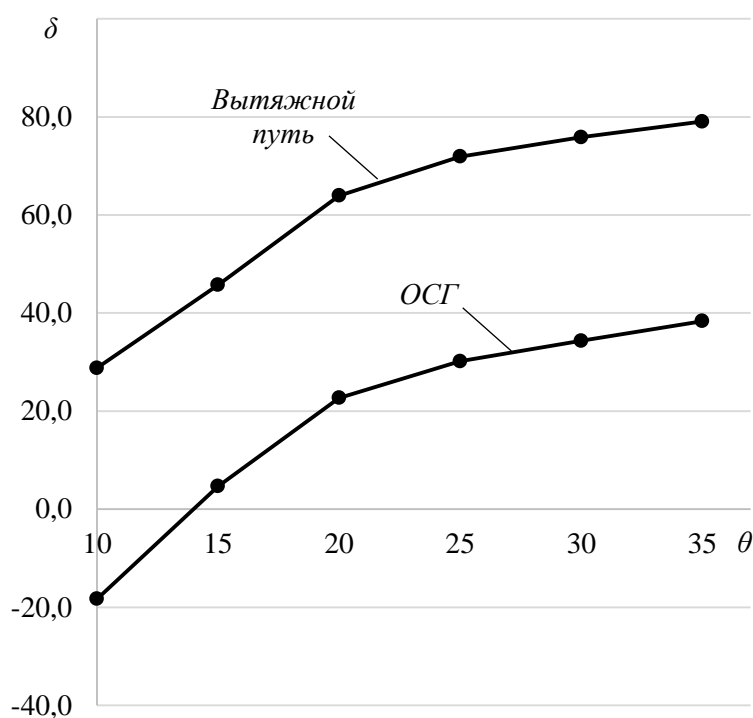


Рис. 4.12 – Зависимость относительного эффекта δ от числа логических групп θ и параметров сортировочного устройства

Таким образом получаем относительный эффект от использования предложенного устройства практически до 38 % по отношению к ОСГ и до 79 % по сравнению с вытяжным путем в зависимости от параметров многогруппных составов.

Разработанная конструкция и специальная технология формирования многогруппных составов с использованием двустороннего сортировочного устройства, а также устройство для укладывания на пути группировочных парков тормозных

башмаков были защищены соответствующими патентами на полезные модели [103, 104, 119], а результаты выполненных исследований были отражены в [105–112]

4.6. Выводы к разделу

Анализ результатов исследований показал, что системный подход к процессу формирования, объединяющий двустороннее сортировочное устройство и специальную технологию, может позволить для составов обеспечить сокращение времени формирования на 79 % по сравнению с формированием на вытяжном пути, а также на 38 % – по сравнению с формированием на основной сортировочной горке многогруппных составов с числом групп свыше 14.

Таким образом, предложенный комплекс технических средств, технологии и программного обеспечения позволяет обеспечить высокую эффективность процесса формирования многогруппных составов на сортировочных станциях. Реализация указанного комплекса позволит существенно снизить затраты времени и энергоресурсов на выполнение маневровой работы связанной с формированием многогруппных составов.

РАЗДЕЛ 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Качественную оценку вариантов совершенствования технологии и/или конструкции для формирования многогруппных составов можно выполнить путем определения соответствующей экономической эффективности [120].

5.1. Методика определения экономической эффективности

5.1.1. Общие сведения

В общем виде, эффективность определенного технического или технологического решения определяется путем сравнения полученных результатов и связанных с ними расходов. Для принятия решения о целесообразности осуществления инвестиций в тот или иной проект, необходимо оценить их экономическую эффективность. Как указано в [121, 122], оценка эффективности предложенных вариантов определяется двумя видами показателей: общей эффективностью и сравнительной эффективностью капитальных вложений.

При этом общая эффективность представляет собой соотношение эффекта и необходимых для его получения затрат и рассчитывается по отдельным объектам, предприятиям, отраслям и народному хозяйству в целом.

Экономическая эффективность путей совершенствования технологии формирования находится путем сравнения различных предложенных вариантов; при этом определяют сравнительную эффективность указанных вариантов.

Критерием оптимальности отдельного варианта считается минимум затрат на его реализацию при прочих равных условиях.

При определении показателей общей эффективности инвестиций необходимо учитывать все виды полученных доходов (Д) и расходы (Р), включая инвестиции, связанные с реализацией проекта.

При определении сравнительной эффективности могут учитываться. При этом для выбранного варианта обязательно определяется общая экономическая эффективность.

Для оценки эффективности проектных решений определяют величину доходов и расходов в течение года. В случае их изменения во времени - определяются ежегодные доходы (D_t) и расходы (P_t) на перспективу ($t > 0$).

В расчетах экономической эффективности принято ежегодные доходы и расходы будущих лет ($t > 0$) приводить к текущему моменту путем дисконтирования их величины. Эта процедура осуществляется путем умножения величины доходов и расходов определенного года (D_t, P_t) на коэффициент дисконтирования [122]:

$$D' = D_t \eta_t; \quad P' = P_t \eta_t,$$

где η_t – коэффициент дисконтирования.

Коэффициент η_t определяется по формуле:

$$\eta_t = \frac{1}{(1+d)^t}$$

где d – норма дисконта – величина доходности инвестиций, зависит от ряда факторов [123]; принято $d = 0,12$.

В составе расходов, связанных с реализацией некоторого отдельного варианта проекта, выделяют инвестиции и текущие расходы.

Под инвестициями здесь будем понимать капитальные вложения K , то есть единовременные затраты, необходимые для реализации проекта. Учитывая специфику структуры основных фондов железнодорожного транспорта, капитальные вложения делятся на две группы:

- вложения в постоянные устройства и сооружения;
- вложения в подвижной состав и другое оборудование, не входящее в сметную стоимость объектов.

Капитальные вложения могут быть как одноэтапными (K_0) так и многоэтапными с вложением в соответствующие годы эксплуатации (K_t).

В состав текущих расходов включаются:

- эксплуатационные (Ξ);
- амортизационные отчисления (A).

Величина амортизационных отчислений определяется по установленной в [122, 123] ставке амортизации (α) от стоимости основных фондов (прямых капи-

тальных вложений):

$$A = K \cdot \alpha.$$

Для постоянных сооружений железнодорожного транспорта ставка амортизации согласно [123] составляет 8% в год, то есть $\alpha = 0,08$.

Эксплуатационные расходы и амортизационные отчисления определяются за годовой период и могут быть как стабильными во времени так и переменными, с определенной величиной (\mathcal{E}_t, A_t) соответствующего года эксплуатации.

Разница между доходами и текущими расходами определенного года представляет собой расчетную прибыль:

$$\Pi_t = D_t - \mathcal{E}_t - A_t$$

по которому определяется соответствующий налог на прибыль:

$$H_t = (D_t - \mathcal{E}_t - A_t)\beta$$

где β – ставка налога на прибыль, согласно [123] с 1.1.2014 $\beta = 0,18$.

Как правило для оценки процесса функционирования различных предприятий используют показатели чистого годового дохода (ЧД), чистого годового дисконтированного дохода (ЧДД_t) и чистого дисконтированного дохода за расчетный период (ЧДД). При этом, инвестиции считаются эффективными при условии положительного значения показателя ЧДД, и не эффективными – в другом случае. Лучшим вариантом из ряда предложенных будет вариант с максимальной величиной ЧДД.

$$R_{\text{опт}} = \max(\text{ЧДД}_i), i = 1..n, \text{ЧДД}_i > 0.$$

5.1.2. Модифицированные капитальные затраты

В случаях, когда варианты проектов обеспечивают одинаковый доход их сравнение может осуществляться по показателю модифицированные (или дисконтированные) приведенные затраты:

$$\text{МПЗ} = K_0 + \sum_{t=1}^T (K_t + \mathcal{E}_t + H_t)\eta_t.$$

При этом лучшим вариантом будет считаться вариант с минимальным значением модифицированных приведенных затрат.

$$R_{\text{опт}} = \min(\text{МПЗ}_i), i = 1..n.$$

В случае одноэтапных инвестиций в размере K_0 и постоянных эксплуатационных расходов $\mathcal{E}_t = \mathcal{E}_1$ ($t > 0$) расчет МПЗ можно осуществить как

$$\text{МПЗ} = K_0 + (\mathcal{E}_1 + H_1) \sum_{t=1}^T \eta_t .$$

Следует отметить, что отдельный объект железнодорожного транспорта, в частности станция, сама не производит материальной продукции, так что не дает соответствующего дохода. Доходы железнодорожного транспорта – это выручка от реализации грузовых и пассажирских перевозок и поступления от прочих видов его деятельности. Первая часть доходов связана со структурой, объемом и дальностью перевозок грузов и пассажиров, что касается отрасли в целом и не связано с инвестициями в развитие отдельной станции.

Общую эффективность варианта совершенствования технологии или реконструкции существующей станции можно оценить только на макроуровне железной дороги. На уровне станции определить общую эффективность капитальных вложений невозможно, а значит невозможно и сравнения по показателям абсолютной эффективности вариантов развития станций.

Таким образом, основной задачей на этом уровне является определение общих расходов, которые используются для выполнения сравнительной эффективности различных вариантов технических решений.

Расчет величины МПЗ по ранее приведенным формулам имеет определенную сложность, связанная с определением налога на прибыль. При отсутствии на локальном уровне данных о доходах, невозможно определить абсолютную величину указанного налога.

В этом случае можно только лишь исходить из утверждения, что расходы железной дороги изменяются на величину разницы текущих расходов после инвестиций $(\mathcal{E}_t + A_t)$ и без них $(\mathcal{E}_B + A_B)$:

$$\Delta B_t = (\mathcal{E}_t + A_t - \mathcal{E}_B - A_B) = \Delta \mathcal{E}_t + \Delta A_t \text{ для } t > 0$$

В этом случае модифицированные приведенные затраты находят как

$$\text{МПВ} = K + (\mathcal{E} - (\Delta \mathcal{E} + \Delta A)\beta) \sum_{t=1}^T \eta_t , \quad (5.1)$$

5.1.3. Эксплуатационные расходы

В процессе работы железных дорог часто возникает необходимость определить расходы на перевозки грузов, осуществление технологических перемещений, выполнение маневровой работы и прочее. Учеными железнодорожного транспорта разработаны несколько методов расчета себестоимости выполнения тех или иных технологических операций в конкретных условиях: метод непосредственного расчета, метод единичных расходных ставок, метод удельных весов расходов, упрощенные методы расчета.

Наиболее распространенным методом из перечисленных выше является метод расходных ставок. Данный метод целесообразно применять на различных уровнях управления для оценки экономического эффекта от внедрения технических, технологических и организационных мероприятий, а также при анализе и оценке показателей эксплуатационной работы.

Суть метода расходных ставок заключается в том, что по конкретным технологической операции выделяются ее особенности, которые могут быть описаны типом подвижного состава, осуществляющим перевозки, качественными показателями использования вагонов и локомотивов, другими параметрами.

На основе этих параметров определяются затраты калькуляционных измерителей на выполнение заданного объема перевозок. Произведение величин измерителей на расходные ставки дает зависящие от объема перевозок расходы по группам. Сложением этих расходов получают зависящие от объема перевозок расходы. К ним добавляют условно постоянные и определяют полные затраты на перевозку.

Таким образом, эксплуатационные расходы, связанные непосредственно с формированием многогруппных составов, имеет смысл определять с помощью метода единичных расходных ставок.

Следует отметить, что метод расходных ставок является гибким инструментом, он позволяет трансформировать методику расчета расходов для решения конкретных задач, в частности, для оценки организации эксплуатационной работы на железных дорогах.

Расходные ставки представляют собой зависящие от объема перевозок расходы, приходящиеся на единицу измерителя.

Так для определения стоимости 1 часа маневровой работы расходные ставки рассчитываются на следующие измерители: вагоно-километры nS , вагоно-часы nT , маневровые локомотиво-километры MSm , маневровые локомотиво-часы MTm , бригадо-часы маневровых тепловозных бригад MHm , расход топлива e_T , расходы на использование 1 км станционной инфраструктуры $e_{ис}$, тонно-километры брутто вагонов и локомотивов $\sum PL$.

Расчет стоимости 1 часа маневровой работы с многогруппными составами с различными параметрами как для одностороннего так и двустороннего сортировочных устройств приведен в Приложении В; необходимые для расчета количественные оценки по измерителям были получены из файлов-протоколов работы с программной реализацией разработанной функциональной модели.

5.2. Определение сравнительной экономической эффективности совершенствования процесса формирования многогруппных составов

Для получения сравнительной экономической эффективности совершенствования процесса формирования многогруппных составов используем результаты вычислительных экспериментов с моделью формирования многогруппных составов на одностороннем сортировочном устройстве и значения расходов на формирование многогруппных составов из Приложения В, которые сведем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Расходы на 1 час маневровой работы с разными составами на одностороннем СУ

Состав, ваг	Расходы, грн
10	1844,48
15	1883,42
20	1927,83
25	1978,14
30	2037,19
35	2108,1

Определим экономию эксплуатационных расходов на формирование много-
группных составов на односторонних сортировочных устройствах в результате
применения разработанных рекомендаций. С этой целью воспользуемся значениями
из табл. 5.1, а также табл. 3.15 и табл. 3.16.

Таблица 5.2

**Определение экономии эксплуатационных расходов на формирование
многогруппных составов на односторонних СУ**

Тип СУ	n	m	Сокращение ΔT_{ϕ} , мин	Экономия, $\Delta \mathcal{E}_{\phi}$, грн
Вытяжной путь	15	2	8,6	269,96
		3	7,11	223,19
		4	6,59	206,86
	25	2	17,29	570,03
		3	14,31	471,79
		4	12,61	415,74
	35	2	30,41	1068,46
		3	26,46	929,67
		4	22,23	781,05
Сортировочная горка	15	2	4,3	134,98
		3	2,77	86,95
		4	2,03	63,72
	25	2	3,71	122,31
		3	5,42	178,69
		4	3,48	114,73
	35	2	13,29	466,94
		3	8,12	285,3
		4	5,8	203,78

Таким образом, применение разработанной функциональной модели в качестве системы поддержки принятия управленческих решений позволит сократить до 1068 грн на формирование одного многогруппного состава.

5.3. Определение сравнительной экономической эффективности двустороннего вспомогательного сортировочного устройства

Для получения сравнительной экономической эффективности совершенствования процесса формирования многогруппных составов используем результаты вычислительных экспериментов с моделью формирования многогруппных составов на одностороннем сортировочном устройстве и значения расходов на формирование многогруппных составов из Приложения В, которые сведем в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Расходы на 1 час маневровой работы с разными составами на двустороннем СУ

Состав, ваг	Расходы, грн
10	2141,01
15	2146,97
20	2157,35
25	2177,32
30	2198,72
35	2225,14

Используя результаты вычислительных экспериментов с моделью формирования многогруппных составов на двустороннем сортировочном устройстве и значения расходных ставок на формирование многогруппных составов (см. Приложение В), определим удельный экономический эффект Δe_{ϕ} формирования многогруппных составов на данном СУ (табл. 5.4).

**Удельный экономический эффект формирования многогруппного состава
на предложенном устройстве, Δe_{ϕ} , грн/сост**

СУ	Число логических групп состава, θ					
	10	15	20	25	30	35
ОСГ	-204,823	64,409	449,45	779,12	1097,2	1487,1
Вытяжной путь	486,723	1109,3	2713,9	4617,4	6592,1	9018,9

По данным табл. 5.4 строим зависимости удельного относительного эффекта Δe_{ϕ} от числа групп в составе θ для разных СУ (см. рис. 5.1).

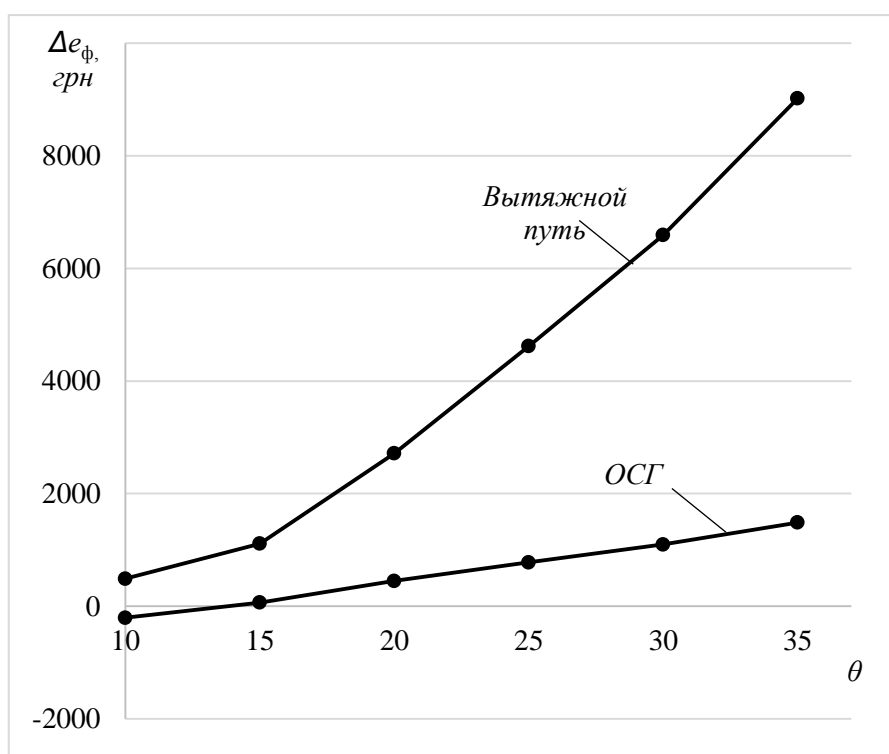


Рис. 5.1 – Зависимость удельного относительного эффекта от числа логических групп при формировании многогруппных составов на ДВСУ

Кроме того, найдем годовой экономический эффект ΔE_{ϕ} формирования многогруппных составов на ДВСУ (таблица 5.5) при разных суточных размерах многогруппных составов. В данной таблице шрифтом выделены значения с отрицательным эффектом предложенного сортировочного устройства.

**Годовой экономический эффект формирования многогруппного состава
на предложенном устройстве, ΔE_{ϕ} , тыс. грн**

СУ	N, n/добу	Число логических групп состава, θ					
		10	15	20	25	30	35
ОСГ	1	-74,8	23,5	164	284,4	400,5	542,8
	5	-373,8	117,5	820,2	1421,9	2002,3	2714
	10	-747,6	235,1	1640,5	2843,8	4004,6	5428
	15	-1121,4	352,6	2460,7	4265,7	6007	8142,1
	20	-1495,2	470,2	3281	5687,6	8009,3	10856,1
Вытяжной путь	1	177,7	404,9	990,6	1685,3	2406,1	3291,9
	5	888,3	2024,4	4953	8426,7	12030,6	16459,4
	10	1776,5	4048,8	9905,9	16853,4	24061,3	32918,9
	15	2664,8	6073,2	14858,9	25280,1	36091,9	49378,3
	20	3553,1	8097,7	19811,8	33706,8	48122,5	65837,7

По данным табл. 5.5 строим зависимости годового эффекта ΔE_{ϕ} от числа групп в составе θ для разных СУ (рис. 5.2).

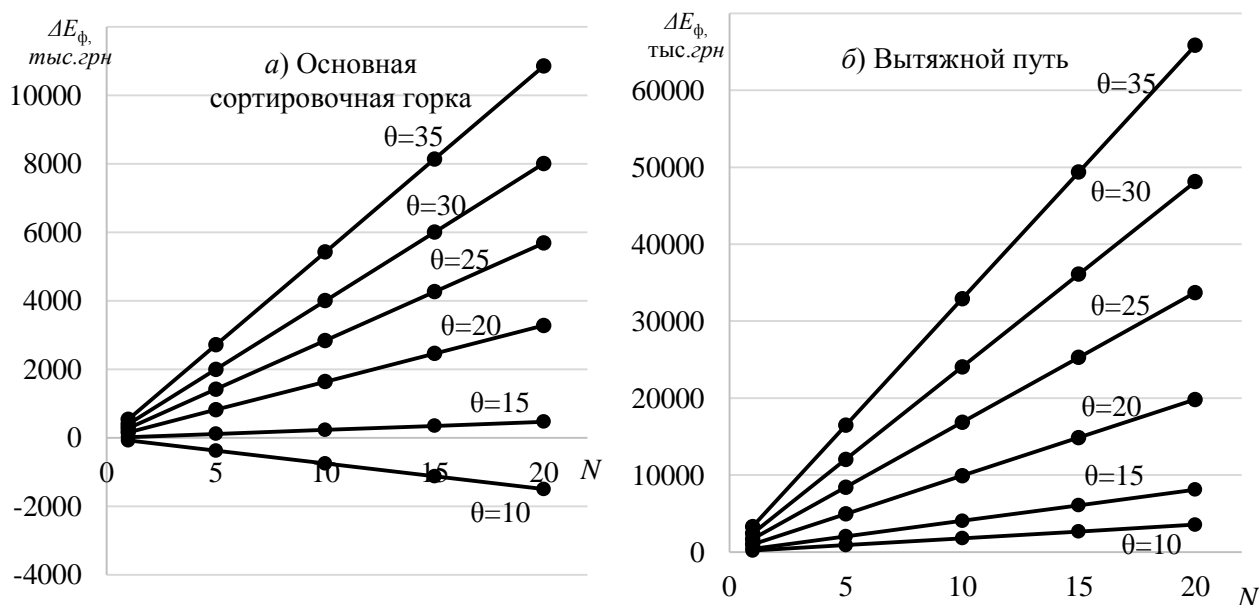


Рис. 5.2 – Зависимость годового эффекта от числа логических групп при формировании многогруппных составов на ДВСУ на:

а) основной сортировочной горке, б) вытяжном пути

Учитывая определенные сложности в расчете стоимости строительства двустороннего специализированного устройства, принято решение определить максимальные размеры капитальных вложений для разного суточного поездопотока, при которых строительство предложенного устройства будет оправданным.

Из формулы (5.1) после преобразования

$$K_{\max} = \Theta \cdot T$$

При сроке окупаемости предложенного сортировочного устройства в 20 лет получим обоснованные максимальные значения капитальных вложений (таблица 5.6).

Таблица 5.6

Граничные значения капитальных вложений K_{\max} , млн. грн

СУ	N, п/добу	Число логических групп состава, θ					
		10	15	20	25	30	35
ОСГ	1	–	0,47	3,28	5,688	8,01	10,86
	5	–	2,35	16,4	28,44	40,05	54,28
	10	–	4,702	32,81	56,88	80,09	108,6
	15	–	7,052	49,21	85,31	120,1	162,8
	20	–	9,404	65,62	113,8	160,2	217,1
Вытяжной путь	1	3,554	8,098	19,81	33,71	48,12	65,84
	5	17,766	40,49	99,06	168,5	240,6	329,2
	10	35,53	80,98	198,1	337,1	481,2	658,4
	15	53,296	121,5	297,2	505,6	721,8	987,6
	20	71,062	162	396,2	674,1	962,5	1317

Следовательно, если капитальные вложения $K_i(\theta, N)$ в специализированное двустороннее устройство для формирования многогруппных составов при определенных параметрах их потоков не превышают соответствующие максимальные значения для таких потоков K_{\max} то такие вложения следует признать целесообразными.

Таким образом, применение для формирования многогруппных составов двустороннего вспомогательного сортировочного устройства позволяет получить значительный эффект по сравнению с формированием этого же состава на основной

сортировочной горке (при числе групп вагонов такого состава, превышающей 14 групп); в случае сравнения предложенного устройства с вытяжным путем, можно констатировать еще более значительный рост эффекта для составов с произвольными параметрами.

Для определения экономических показателей применялись методика и рекомендации, приведенные в [88, 120].

5.4. Выводы к разделу

В результате выполненных расчетов для односторонних сортировочных устройств установлено, что в случае реализации предложенных рекомендаций можно получить существенную экономию эксплуатационных расходов на маневровую работу по формированию многогруппных составов; размер этой экономии зависит от параметров формируемых составов и в расчете на 1 состав может достигать 1068 грн. при формировании на вытяжном пути и до 466 грн. при формировании состава на основной сортировочной горке.

Для двустороннего вспомогательного сортировочного устройства установлены условия экономического преимущества над другими сортировочными устройствами. Так, экономический эффект от использования двустороннего сортировочного устройства в расчете на 1 состав может достигать 9020 грн. по сравнению с формированием на вытяжном пути, и 1487 грн. – по сравнению с использованием основной сортировочной горки.

Кроме этого в диссертационной работе был определен уровень предельных капитальных вложений, при которых сооружение ДВСУ будет эффективным. Как было установлено, значение эффективности существенно зависит от параметров многогруппных составов, а также суточного их числа. Например, при формировании 10-ти многогруппных составов в сутки может достигать 5-ти млн. грн, относительно формирования его на ОСГ, и почти 33-х млн. грн. в случае формирования на вытяжном пути.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе получено новое решение актуальной научно-практической задачи совершенствования технологии и технических средств формирования многогруппных составов на станциях. Предложенные мероприятия обеспечивают снижение объемов выполняемой маневровой работы, сокращение ее продолжительности и затрат энергоресурсов.

Основные научные результаты и выводы диссертации заключаются в следующем:

1. Анализ научных работ, посвященных интенсификации формирования многогруппных составов показал, что поиск рациональной технологии формирования является сложной оптимизационной задачей, которая в настоящее время окончательно не решена. В связи с этим были проанализированы различные технологические и реконструкционные мероприятия по повышению эффективности процесса формирования многогруппных составов на станциях и сформулирована постановка задач диссертационного исследования.

2. В результате анализа и формализации методов и схем формирования многогруппных составов установлены аналитические зависимости между показателями процесса формирования и параметрами составов и технических средств. Установлено, что количество возможных схем формирования состава зависит от количества групп вагонов и количества сортировочных путей. При этом для каждого метода и любого количества путей существует критическое количество групп, при котором схема формирования является единственной.

3. С целью определения рациональной технологии формирования многогруппных составов была разработана функциональная модель, которая имитирует все элементы указанного процесса на различных технических средствах и позволяет получить оценку его продолжительности для конкретного состава. Также была выполнена идентификация модели и доказана ее адекватность с помощью критерия Уилкоксона.

4. Установлено, что учет начальной упорядоченности групп вагонов в составе позволяет снизить объем маневровой работы на 40-50%. Выявлено, что не существует однозначно лучшего метода формирования многогруппных составов на различных технических средствах, а, следовательно, целесообразно для каждого многогруппного состава определять продолжительность его формирования всеми методами, и из полученных значений выбирать минимальное. Также установлено, что существенный эффект дает генерирование множества схем формирования многогруппных составов и поиск среди них рациональной. При этом доказано, что расширение исходного множества схем позволяет найти рациональную схему со значительно меньшей продолжительностью формирования по сравнению с лучшей схемой исходного множества. Повышено качество выбора схемы с помощью статистического метода. В целом реализация всех предложенных рекомендаций по поиску рациональной технологии формирования составов позволяет сократить затраты времени на формирование многогруппных составов на 29-37% при формировании на вытяжной пути, и на 13-25% при использовании сортировочной горки.

5. В результате анализа конструкции и технологии работы существующих сортировочных устройств для формирования многогруппных составов было предложено двустороннее вспомогательное сортировочное устройство, разработана конструкция его плана и профиля, выполнена оптимизация параметров профиля горки малой мощности методом Бокса-Уилсона. С использованием метода имитационного моделирования роспуска составов на ГММ установлено, что полученный профиль горки обеспечивает максимальные интервалы между отцепами на стрелках, обеспечивает их надежное разделение в процессе роспуска.

6. Формализована технология формирования составов на предложенном устройстве за счет адаптации рассмотренных методов формирования к двусторонней сортировке; установлено, что однозначно лучшим методом формирования на данном устройстве является распределительный метод. В результате выполненного анализа установлено, что использование специализированного двустороннего устройства позволяет получить экономию времени до 79% по сравнению с форми-

рованием многогруппных составов на вытяжной пути и до 38% – на основной сортировочной горке.

7. Определено, что экономический эффект от реализации предложенных мероприятий существенно зависит от параметров многогруппных составов и технических средств формирования. Указанный эффект от реализации предложенных рекомендаций в расчете на 1 состав может составлять 1068 грн. при формировании на вытяжном пути и до 466 грн. – на основной сортировочной горке. Экономический эффект от использования двустороннего сортировочного устройства в расчете на 1 состав может составлять 9020 грн. по сравнению с формированием на вытяжном пути, и 1487 грн. – по сравнению с использованием основной сортировочной горки. Также в диссертационной работе был определен уровень предельных капитальных вложений, при которых сооружение двустороннего сортировочного устройства будет эффективным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксёнов В.И., Норматов М. Н. Эффективность секционирования путей сортировочных парков станции для переработки местного вагонопотока // Совершенствование методов организации движения поездов, грузовой работы и проектирования станций. Ташкент, 1974. с. 44-51.

2. Абуладзе Л. В., Биченов А. Г. Развитие схем сортировочных станций для широкого внедрения прогрессивной технологии работы и повышения их перерабатывающей способности // Тез. докл. и сообщ. XII всесоюз. научно-техн. совещания – К., 1984. – с. 39-41.

3. Абуладзе Л.В., Телия Г.Ш. Совершенствование конструкции подгорочного парка для формирования групповых поездов. М.: ЦНИИТЭИ МПС, серия «Организация движения и пассажирские перевозки», вып. 2, 1986, с. 13-16.

4. Телия Г.Ш. Развитие подгорочных парков и схем сортировочных станций с большой местной работой. Тезисы докладов участников инженерно-технической конференции. Тбилиси, 1987, с. 26-28.

5. Абуладзе Л.В., Биченов А. Г., Телия Г.Ш., Месхидзе З.Д. Интенсификация переработки групповых вагонопотоков // Ж.д. транспорт. - 1990. - № 7 – с. 13-16.

6. Телия Г.Ш. Совершенствование схем односторонних сортировочных станций для формирования многогруппных составов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 24 с.

7. Галатченко Н. П. О концентрации сортировочной работы // Вестник ВНИИЖТа. 1967. № 6. – с. 43-45.

8. Сологуб Н. К., Фокеев А. Б. Значение грузовых станций, обслуживающих подъездные пути в крупнейших железнодорожных узлах: Тез. докл. науч.-техн. конф. / НИИЖТ. – Новосибирск, 1991. – с. 78.

9. Сологуб Н. К., Фокеев А. Б. Анализ схем и путевого развития грузовых станций, обслуживающих подъездные пути в крупнейших узлах: Межвуз. сб. научн. тр. / МИИТ. – М., 1992. – Вып. 855. – с. 75-80.

10. Сологуб Н. К., Фокеев А. Б. Распределение переработки местных вагонопотоков между сортировочными и грузовыми станциями в крупнейших узлах: Тез. докл. науч.-практ. конф. / СамИИТ. – Самара, 1993. – Ч. 1 – с. 12.

11. Иванько А. А. Проектирование горок малой мощности в хвосте сортировочных парков. Киев, 1970. – с. 143-158.

12. Сухопяткин А. Н. Проектирование устройств для формирования многогруппных поездов на сортировочных станциях: Сб. науч. Тр. ВЗРШТа. М., 1975. Вып. 80. с. 24-33.

13. Сухопяткин А. Н. Исследование вопросов проектирования сортировочных устройств для формирования многогруппных поездов на односторонних сортировочных станциях. Вопросы совершенствования проектирования и использования устройств железнодорожных и промышленных узлов: Межвуз сб. научн. тр. – Вып. 548. – М.: МИИТ, 1976. – с. 94-96.

14. Сухопяткин А. Н. Сортировочные устройства для переработки местных вагонопотоков // Ж.- д. трансп. 1976. № 1. С. 36-37.

15. Сухопяткин А. Н. Развитие сортировочно-группировочных устройств на сортировочных станциях, – Труды ВЗИИТ, 1978, вып. 98, с. 80-88.

16. Сухопяткин А. Н. Определение числа и длины путей сортировочно-группировочных парков сортировочных станций. – Труды МИИТ, 1978, вып. 593, с. 98-101.

17. Бакумов Э. В. Метод определения числа и длины путей вспомогательных сортировочных устройств // Вопросы проектирования и расчёта железнодорожных станций и узлов. М., 1976. С. 20-31.

18. Бакумов Э. В. Проектирование вспомогательных сортировочных устройств // Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. Киев, 1988. № 113. – с. 4-13.

19. Патент СССР № 556070 Способ сортировки вагонов на последовательно расположенных основном и дополнительном сортировочных устройствах / Тишков Л. Б., Страковский И. И., Сотников Е. А., Корш В. Б., Перминов А. С. – Оpubл. 30.04.1977 г., бюл. № 16.

20. Патент СССР № 730616 Устройство для формирования поездов / Трегубов Н. А. – Оpubл. 30.04.1980 г., бюл. № 16.

21. Туляганов У.Т., Бахадиров У.Т. К вопросу совершенствования технологии работы сортировочных станций по формированию многогруппных поездов // Совершенствование методов расчёта и проектирования железнодорожных станций и узлов в условиях Средней Азии и Казахстана. Ташкент, 1979. – с. 3-7.

22. Мацкель С.С., Туляганов У.Т. К вопросу специализации горок для формирования различных категорий поездов // Вопросы проектирования и технология транспортных узлов. М., 1980. С. 36-38.

23. Берлин Н. П. Расчеты и оптимизация параметров устройств сортировочных станций, занятых переработкой местных вагонов // Вопросы развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. Сб. научн. Трудов. – Гомель: БелИИЖТ, 1981, с. 66 – 74.

24. Григорьев В. В. К вопросу применения вспомогательных сортировочных устройств в железнодорожных узлах. Свердловск, 1983. – с. 19-24.

25. Григорьев В. В. Учёт изменения числа сортируемых отцепов при определении продолжительности формирования и расформирования передаточных поездов // Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте. М., 1985. – с. 54-58.

26. Григорьев В. В. Методика оценки схем размещения вспомогательных сортировочных устройств на сортировочных станциях. Свердловск, 1987. 10 с.

27. Григорьев В. В. Интенсификация сортировочной работы с местными вагонопотоками при использовании вспомогательных сортировочных устройств: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1987. 24 с.

28. Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. Киев, 1974. 30 с.

29. Методические рекомендации по проектированию горок малой мощности, оборудуемых средствами механизации и автоматизации сортировки вагонов: ЦДС-11 от 18.02.80 . МПС. 1980. 72 с.

30. Методические рекомендации по типовым решениям сортировочных устройств малой мощности и размещению их на станциях формирования многогранных составов и подач вагонов на грузовые пункты: ЦНИИТЭИ МПС. 1986. – 53 с.

31. Абрамов А.А., Абрамова И.И. Исследование процесса подборки местных вагонов на сортировочных станциях // Проблемы наращивания мощности железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. трудов - Вып. 735. - М.: МИИТ, 1983. - с. 99 - 110.

32. Абрамов А.А., Кирьянова Е.Н. Оптимизация путевого развития местных сортировочных парков / Вопросы увеличения пропускной способности железных дорог. Ростов-на-Дону, 1985. с. 155-160.

33. Абуладзе Л.В., Телия Г.Ш. Эффективное расположение устройств на сортировочных станциях с большой местной работой. М.: ЦНИИТЭИ МПС, серия «Организация движения и пассажирские перевозки», вып. 4, 1987, с. 8-12.

34. Абуладзе Л.В., Телия Г.Ш., Джаниашвили Д. Н. Сооружение вспомогательных сортировочных устройств и местных парков на двухсторонних горочных станциях. Деп. В БИВУ Госплана ГССР, в сентябре 1988 г., номер регистрации 464-Г, с. 11.

35. Огарь, А. Н. Методика оптимизации значений уклонов элементов продольного профиля сортировочных горок [Текст] / А. Н. Огарь // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 3. – С. 18-22.

36. Огар, О. М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20 / О. М. Огар ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. - Х., 2011. - 40 с.

37. Длугач Б. А. Опыт проектирования и строительства сортировочных станций и узлов за рубежом. М., 1966. 27 с.

38. Рау С. Полугорка с противоуклоном для повторной сортировки – новое эффективное средство формирования многогруппных поездов. Ж. д. мира. 1976. № 12. с. 64-68.

39. Шабалин Н.Н. Выбор технологии формирования поездов // Вопрос эксплуатации железных дорог. М., 1959. – с. 8-22.

40. Шабалин Н.Н. Формирование поездов в новых условиях // Ж.-д. трансп. 1959. № 9. – с. 56-59.

41. Зубков В. Н. Укрупнение назначений сборных поездов // Железнодорожный транспорт. - 1975. - № 3. – с. 26 - 27.

42. Николашин В. М. Выбор оптимальной очередности операций при расформированию поездов на грузовых станциях // Резервы повышения уровня комплексной механизации и автоматизации процессов на грузовых станциях. М., 1981. – с. 44-54.

43. Нурмухамедов Т. Р. Вопросы организации местных вагонопотоков // Тр. ТашИИТ. – Вып. 172/19. – Ташкент, 1981. – С. 36 – 47.

44. Нурмухамедов Т.Р. Методика расчета плана формирования местных поездов в районах местной работы с учетом неравномерности вагонопотоков / Пути совершенствования перевозочного процесса и управления транспортом / Всесоюзная научно-техническая конференция, 1985. – Тезисы к докладу. – Гомель, 1985. – с. 292-295.

45. Инструктивно - методические указания по разработке и внедрению новой технологии формирования многогруппных составов. - М.: МПС, 1985. – 24 с.

46. Макаров В. М. Ускоренное формирование многогруппных поездов на ограниченном числе сортировочных путей – Организация движения и пассажирские перевозки. – ЦНИИТЭИ МПС. – 1986. – Экспресс – информ. № 1. – с. 1 – 26.

47. Тишкин Е.М., Макаров В.М., Климанов В.С. Интенсификация местной работы // Ж.- д. трансп. 1986. № 3. – с. 54-58.

48. Грибков В. Н., Приписцова С. В. Интенсивная технология местной работы на станции Бескудниково. - Организация движения и пассажирские перевозки. - ЦНИИТЭИ МПС. - 1986. – Экспресс-информ. № 1. - с. 26-37.

49. Казовский И. Г., Соловьева Н. П., Приписцова С. В. Формирование многогруппных поездов // Железнодорожный транспорт. - 1986. - №6. - с. 70 - 72.

50. Дерюгин И. В., Макаров В. М. По методу многогруппной сортировки // Железнодорожный транспорт. – 1987. - № 2. – с. 26 – 27.

51. Олейник О. А. Интенсивная технология местной работы // Железнодорожный транспорт. – 1988. - № 12. – с. 15 – 17.

52. Курзов Н. Р. Применение комбинаторного метода сортировки вагонов на грузовой станции // Тез. докл. XVI научно-техн. конф. кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Бел. ж. д. – Гомель, 1989. – с. 24-25.

53. Гусев Ю.Н. Определение оптимальных схем формирования МНГ составов на сортировочной горке // Интенсификация перевозок грузов на железнодорожном транспорте. М., 1989. С. 71-77.

54. Бобровский В. И. Автоматизация составления сортировочного листа при использовании комбинаторного метода сортировки вагонов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов/ ДИИТ. – Днепропетровск, 1990. – Вып. 277/17. – с. 60-69.

55. Бобровский В. И. Оптимизация формирования многогруппных составов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2000. – № 6. – с. 10 – 14.

56. Макаров В. М., Олейников В. В. Оптимизация формирования многогруппных поездов и развоза местного груза // Тр. ВНИИУП МПС России. 2002. – № 1. – с. 99-109.

57. Гренкевич О. О. Выбор эффективного способа сортировки местных вагонов по критерию эксплуатационных расходов // Материалы регион. научн.-практ. конф. «ВУЗы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу». Новосибирск: СГУПС, 2002. С. 69-75.

58. Гренкевич О. О. Сравнительная эффективность способов формирования многогруппных составов по критерию эксплуатационных расходов по маневровой работе. Сиб. гос. ун-т путей сообщ.. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2002. – с. 179-184.

59. Яновський, П. О. Прискорення переробки місцевих вагонів в залізничних вузлах [Текст] : Перспективні системи управління на залізничному транспорті: Тези 16-тої міжнародної конференції / П. О. Яновський, В. І. Мацюк // Алушта, УкрДАЗТ.- 2003.- С. 75-76.

60. Кривошей Б. О. Постановка задачі оптимізації місцевої роботи на дільниці / Б. О. Кривошей, П. О. Яновський // Залізн. трансп. України. - 2009. - № 1. - С. 30–32.

61. Месарош Пал. Способы многогруппной сортировки вагонов на вытяжках // Ж.-д. трансп. 1963. № 11. – с. 85–88.

62. Кенинг Г., Шальтеггер П. Оптимальный метод одновременного формирования местных грузовых поездов на сортировочных станциях // Ежемес. бюл. Междунар. ассоц. ж.-д. конгрессов. М., 1968. № 3. – с. 61–67.

63. Архангельский Е. В., Фарберов Я. Д. Формирование состава многогруппного поезда (Франция) // Железнодорожный транспорт за рубежом: ЦНИИТЭИ МПС. – 1975. – № 2 (164). – с. 65 – 67.

64. Архангельский Е. В. Одновременное формирование многогруппных поездов на сортировочных станциях // Железнодорожный транспорт. – 1979. – № 7. - с.72–75.

65. Флодр Ф. Технология работы станций формирования поездов / Ф. Флодр, В. Майжиш, К. Волески. - М.: Транспорт. 1989. – 134 с.

66. Y. Hirashima, “A Reinforcement Learning Method for Train Marshaling Based on Movements of Locomotive,” *International Journal of Computer Science*, IAENG International Journal of Computer Science . Sep2011, Vol. 38 Issue 3, p242-248. 7p.

67. Y. Hirashima, “A new rearrangement plan for freight cars in a train: Q-learning for minimizing the movement counts of freight cars,” *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 70 LNEE, pp. 107–118, 2011.

68. R. Jacob, P. Marton, J. Maue, and M. Nunkesser, “Multistage methods for freight train classification”, in *Proceedings of 7th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems*, 2007, pp. 158–174.

69. E. Dahlhaus, F. Manne, M. Miller, and J. Ryan, “Algorithms for combinatorial problems related to train marshalling,” in *Proceedings of the 11th Australasian Workshop on Combinatorial algorithms*, 2000, pp. 7–16.

70. Christina Büsing and Jens Maue. Robust algorithms for sorting railway cars. In *Proc. of the 18th Annual European Symposium on Algorithms (ESA-10)*, volume 6346 of LNCS, pages 350–361. Springer, 2010.

71. Sera no Cicerone, Gianlorenzo D'Angelo, Gabriele Di Stefano, Daniele Frigioni, and Alfredo Navarra. Robust algorithms and price of robustness in shunting problems. In *Proc. of the 7th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems (ATMOS-07)*, volume 7 of OASICs, pages 175–190. LZI Schloss Dagstuhl, Wadern, Germany, 2007.

72. Иванков Н. М. К вопросу о влиянии структуры перерабатываемого вагонопотока на использование сортировочных путей // *Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды ДИИТа*. - М., 1966. - Вып. 61. - С. 73-82

73. Гренкевич О. О. Анализ структуры местных вагонопотоков в задачах организации формирования многогруппных составов. *Вестн. Сиб. Гос. Ун-та путей сообщ.* 2003, N 6, с. 93-98.

74. Бобровский В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций. Дис. ... докт. техн. наук: ДИИТ,

Днепропетровск, 2002 г.

75. Тишкин Е.М. Метод комбинаторной сортировки вагонов - основа интенсивной технологии местной работы // Вестник ВНИИЖТа. - 1987. - № 2. - с. 1 - 6.

76. Тишкин Е.М., Макаров В. М., Рубинов А.Р., Кендыс Е.В. Математические основы метода комбинаторной сортировки вагонов // Вестник ВНИИЖТа. - 1989. - № 8. - с. 1 - 8.

77. Макаров В. М. Применение ЭВМ в управлении процессом формирования многогруппных составов // ЦНРШТЭИ МПС. Экспресс-информ. Сер. Автоматизированные системы управления. 1988. Вып. 2. – 20 с.

78. Чернов В.Н. Автоматизация формирования многогруппных поездов в хвостовых горловинах сортировочных парков // Актуальные проблемы железнодорожного транспорта. Ростов-на-Дону, 1995. – с. 109-111.

79. Гренкевич О. О. Совершенствование методов определения загрузки маневрового локомотива при формировании многогруппных составов. Сборник научных трудов. Сиб. гос. ун-т путей сообщ.. Новосибирск: Изд-во СГУПС. 2004, с. 20-25.

80. Гренкевич О. О., Карасев С. В. Разработка модели выбора в оперативных условиях оптимального способа сортировки вагонов при формировании многогруппных составов. Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сборник научных трудов. Сиб. Гос. Ун-т путей сообщ.. Новосибирск: Изд-во СГУПС. 2004 – с. 26-33.

81. Бобровский В. И., Сковрон И. Я. Совершенствование технологии формирования многогруппных составов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 19 – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – с. 88-93.

82. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. т. 3, Сортировка и поиск. - М.: Мир, 1978. - 844 с.

83. Руководство по техническому нормированию маневровой работой на железных дорогах Украины, К., 2002.

84. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с. ISBN 5-9221-0707-0.

85. Таблицы по математической статистике / П. Мюллер, П. Нейман, Р. Шторм. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 278 с.

86. Експлуатаційна робота на залізничних станціях: приклади и задачі – навчальний посібник / Д. М. Козаченко, Р. Г. Коробйова, І. Ю. Левицький, О. В. Лашков. – Днівськ, вид. ПФ «Стандарт-Сервіс», 2014. – 108 с. ISBN 978-966-97463-0-6.

87. Правила технічної експлуатації залізниць України: затв.: наказ Мінтрансу та зв'язку України 10.12.03. № 962 / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2003.

88. Сковрон И. Я. Совершенствование методики оценки продолжительности формирования многогруппных составов // «Транспортні системи та технології перевезень»: Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 8 – Д.: ДНУЗТ, 2014. – с.134-138.

89. Орлов А.И. Методы проверки однородности связанных выборок. - Журнал «Заводская лаборатория». 2004. Т.70. №7.

90. Б. Л. ван дер Варден. Математическая статистика. // Изд-во иностранной литературы, М - 1960 г. - 436 С.

91. Сковрон, И. Я. Оптимизация выбора схемы формирования многогруппных составов / И. Я. Сковрон // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2012. - № 1/3 (55). - С. 20-26.

92. Бобровский, В. И. Совершенствование методики выбора рациональной технологии формирования многогруппного состава / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2012. – Вип. 131. – С. 162-171.

93. Бобровский, В. И. Метод предварительного отбора схем формирования многогруппных составов / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту (19.04 - 20.04.2011) : тези доповідей 72 Міжнародної науково-практичної конференції / М-во інфраструктури України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Д., 2012. - С. 109-110

94. Бобровский В.И., Сковрон И. Я. Совершенствование технологии формирования многогранных составов // Тезисы доповідей міжнародної наукової конференції “Проблеми економіки транспорту”. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2003. – с. 146.

95. Бобровський В.І., Сковрон І. Я. Удосконалення методів формування складів // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 5. – с. 3.

96. Бобровский В.И., Сковрон И. Я. Автоматизация поиска рациональной технологии формирования многогранных составов. // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 65-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2005. – с. 97.

97. Сковрон И. Я. Совершенствование технологии расформирования формирования передаточных поездов на станциях промышленных предприятий // Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: Тезисы междунар. научно–практ. конф. – Моршин: ДНУЖТ, 2012. – с. 79-81.

98. Бобровский, В. И. Оптимизация технологии формирования многогранных составов [Текст] / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Проблемы и перспективы развития ж. д. транспорта: Тезисы 69-й междунар. научно-практ. конф. — Д.: ДИИТ, 2009. — с. 67–68.

99. Сковрон, И. Я. Повышение эффективности маневровой работы на станциях промышленных предприятий [Текст] / И. Я. Сковрон, Е. Б. Демченко, Е. Б. Кузьменко // Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: Тезисы 2-й междунар. научно–практ. конф. — Кострино, 2013. — с. 85—86.

100. Сковрон, І. Я. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій, що обслуговують морські порти [Текст] / І. Я. Сковрон, Є. Б. Демченко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 73-й Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 23-24 мая 2013 г.) — Д.: ДИИТ, 2013. — С. 171—172.

101. Бобровський, В.І. Удосконалення технології формування подач місцевих вагонів на станціях [Текст] / В. І. Бобровський, І. Я. Сковрон // 76-а міжнародна науково-технічна конференція. Харків —УкрДАЗТ, 2014.

102. Бобровский, В. И. Интенсификация формирования многогруппных составов [Текст] / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом», посвященной 90-летию кафедр "ЖДСУ" и "УЭРиБТ" - М.: МИИТ, 16-17 октября 2014.

103. Патент України на корисну модель № 56315 Пристрій для формування многогруппних составів / Бобровський В. І., Сковрон І. Я., Дорош А. С. – Опубл. 10.01.2011, бюл. № 1/2011.

104. Патент України на корисну модель № 55826. Спосіб формування многогруппних составів на основному та допоміжному сортувальних пристроях / Бобровський В. І., Сковрон І. Я. – Опубл. 27.12.2010, бюл. № 24/2010.

105. Бобровский, В. И. Двустороннее сортировочное устройство для интенсификации процесса формирования многогруппных составов / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Труды РГУПС – Ростов-на-Дону, 2013. – Вып. 2(23). – С. 7-12.

106. Бобровський, В. І. Технологія формування багатогруппних составів на спеціалізованому сортувальному пристрої [Текст] / В. І. Бобровський, І. Я. Сковрон // Тези доповідей 73-ї міжнародної науково-технічної конференції. Харків.: Укр-ДАЗТ, 2011.

107. Бобровський, В.І. Формування багатогруппних составів за допомогою двосторонньої гірки малої потужності [Текст] / В. І. Бобровський, І. Я. Сковрон // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тезиси 71-ї міжнар. Науково-практ. конф. — Д.: ДНУЗТ, 2011. — с. 126—127.

108. Бобровский, В. И. Эффективное формирование многогруппных составов с помощью двустороннего сортировочного устройства [Текст] / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом», посвященной 90-летию кафедр "ЖДСУ" и "УЭРиБТ" — М.: МИИТ, 16-17 октября 2014.

109. Сковрон, І. Я. Формирование подач местных вагонов с помощью нового специализированного сортировочного устройства [Текст] / І. Я. Сковрон // Тези 7-ї міжнародної науково-практичної конференції «Транселектро-2014» (Одеса-Дніпропетровськ, 23-26 жовтня 2014 р) — Д.: ДНУЗТ, 2014. — С. 90.

110. Бобровский, В. И. Системный подход к интенсификации работы с многогруппными составами / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Интеграция Украины в международную транспортную систему (17.11-18.11.2011) : тезисы III международной научно-практической конференции / М-во инфраструктуры Украины, Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. тр-та им. акад. В. Лазаряна. - Днепропетровск : ДНУЖТ, 2011. - С. 14-16

111. Сковрон, І. Я. Підвищення ефективності формування багатогрупних составів [Текст] / І. Я. Сковрон // Тези науково-практичної конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.) — Д.: ДНУЗТ, 2014. — 92 с. — С. 77—78.

112. Бобровский, В. И. Двусторонняя горка малой мощности для формирования многогруппных составов [Текст] / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Тези 77-ї міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків —УкрДАЗТ, 2015.

113. Бобровский, В.И. Оптимизация режимов расформирования составов на сортировочных горках / В.И. Бобровский, А.В. Кудряшов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2010. – Вип. 32. – С. 224-229.

114. Козаченко, Д. М. Эффективные режимы гальмування відчепів на сортувальних гірках / Д. Н. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень: Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.

115. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. - 2003. – № 3. – с. 3-8.

116. Бобровский В.И., Рогов Н. В. Итерационный метод оптимизации режимов торможения отцепов состава // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. - 2003. – № 5. – с. 4-5.

117. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. — Л.: Судостроение, 1980. —384 с.

118. Джонсон, Н. и др. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. М. Мир, 1981. — 520 с.

119. Пристрій для укладання на колію гальмівних башмаків [Текст] : пат. 80281 України. ДНУЗТ, 2013. — 4 с.

120. Бобровский, В. И. Техничко-экономическая оценка эффективности технических средств и технологии формирования многогруппных составов [Текст] / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Проблемы и перспективы развития ж. д. транспорта: Тезисы 67-й междунар. научно–практ. конф. — Д.: ДИИТ, 2007. — с 121.

121. Экономика железнодорожного транспорта: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терёшина, В.Г. Галабурда, М.Ф. Трихунков и др.; Под ред. Н.П. Терёшиной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. – М.: УМЦ ЖДТ, 2006.

122. Кулаєв Ю. Ф. Економіка залізничного транспорту [Текст] / Навчальний посібник. – Ніжин: Видавництво "Аспект-Поліграф", 2006. – 232 с.

123. Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. №2755-VI. Зі змінами і доповненнями, в редакції станом на 01.01.2014 р.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ИЛЛЮСТРАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

Рассмотрим формирование многогруппного состава из 25 вагонов разными методами на 4-х путях с использованием вытяжного пути; действительные номера назначений и логические номера групп вагонов состава приведены на рисунке А.1.

7	7	8	15	15	12	3	9	6	6	4	3	3	2	2	6	6	3	3	10	9	8	8	7	7
4	4	4	8	8	7	1	5	3	3	2	1	1	0	0	2	2	0	0	6	5	4	4	3	3

Рис. А.1 – ДНН и ЛНГ вагонов многогруппного состава

А.1 Комбинаторный метод

Пример формирования указанного состава на вытяжном пути комбинаторным методом приведен на рис. А.2, при этом полужирным шрифтом выделяются вагоны, попадающие на сортировочные пути на отдельном этапе формирования.

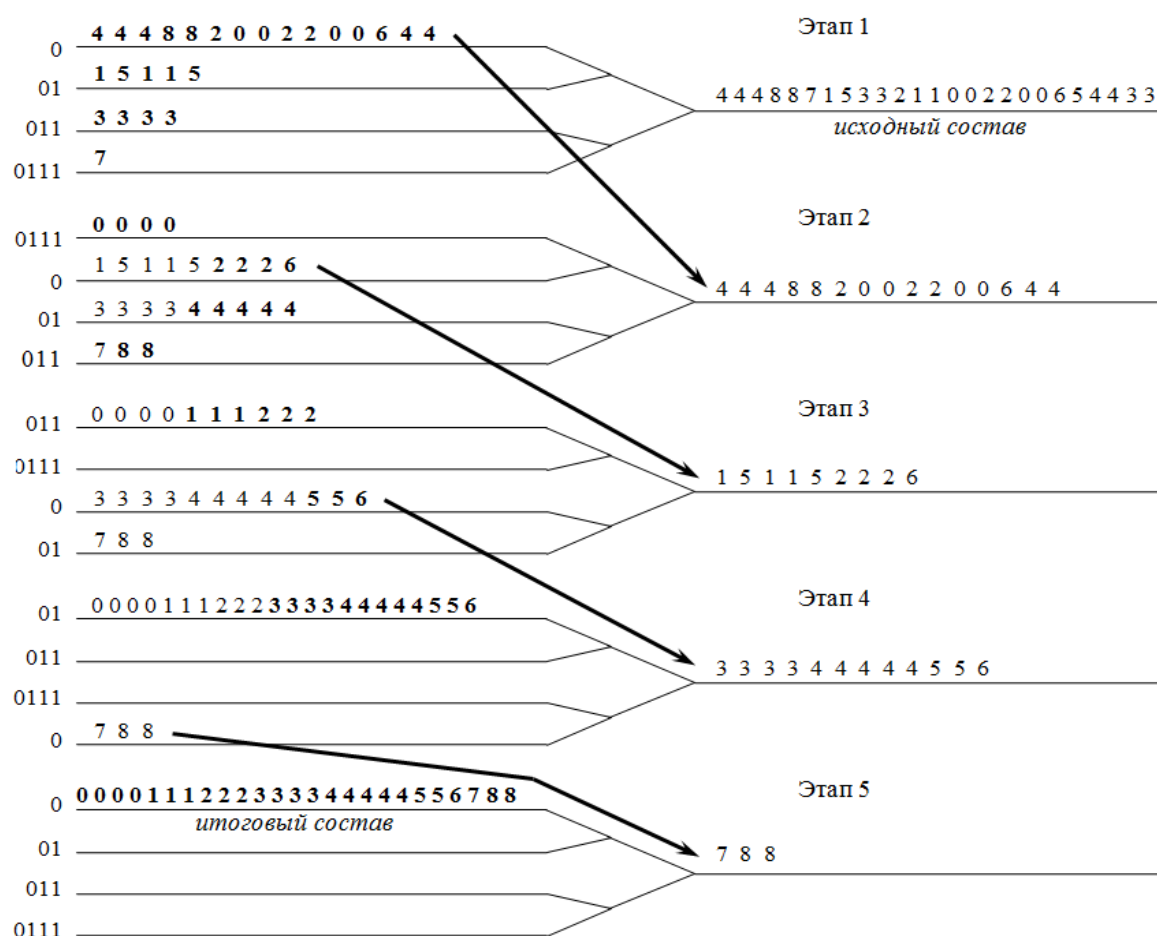


Рис. А.2 – Иллюстрация формирования многогруппного состава методом КМ

А.2 Распределительный метод

Пример формирования состава, указанного на рис. А.1, с использованием вытяжного пути распределительным методом приведен на рис. А.3.

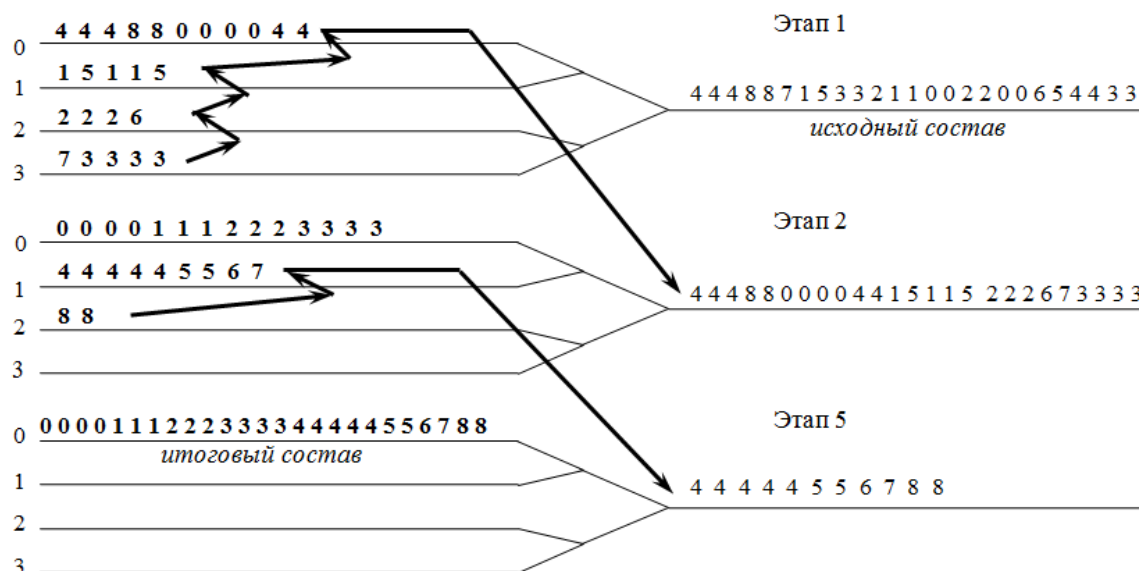


Рис. А.3 – Иллюстрация формирования многогруппного состава методом РМ

А.3 Основной ступенчатый метод

Пример формирования указанного на рис. А.1 состава с использованием вытяжного пути основным ступенчатым методом приведен на рис. А.4.

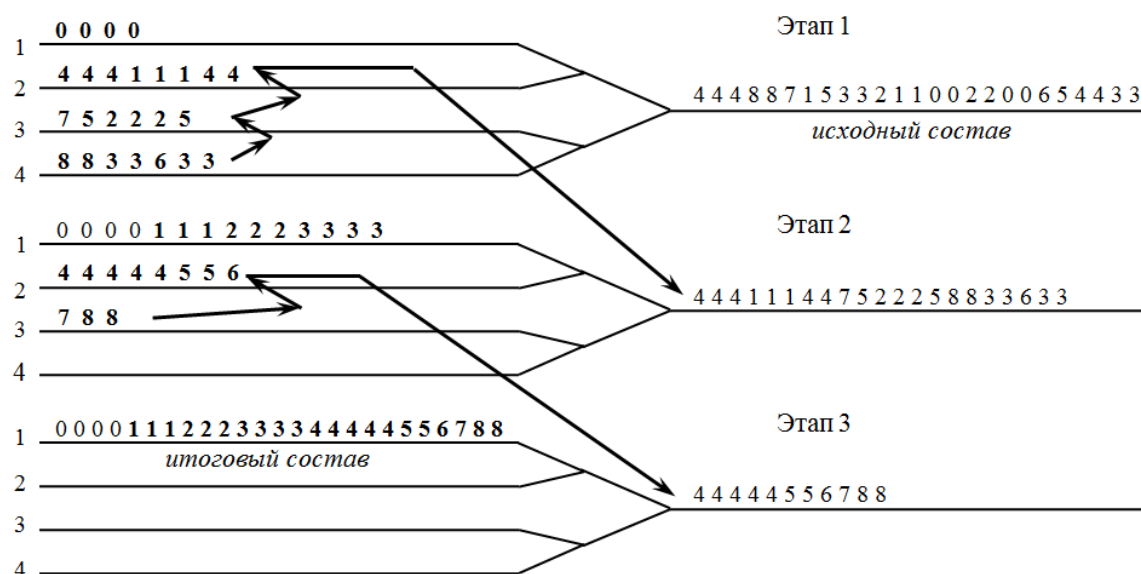


Рис. А.4 – Иллюстрация формирования многогруппного состава методом ОСМ

А.4 Двойной ступенчатый метод

Пример формирования состава, указанного на рис. А.1, с использованием вытяжного пути двойным ступенчатым методом приведен на рис. А.5.

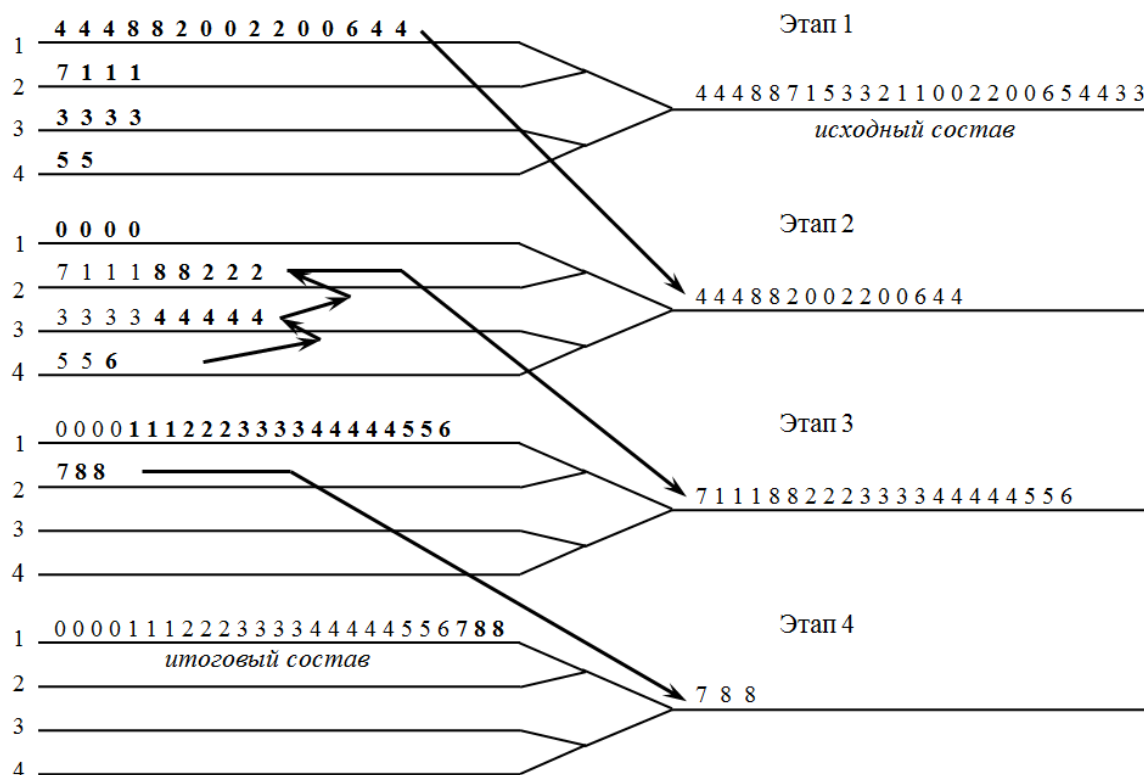


Рис. А.5 – Иллюстрация формирования многогруппного состава методом ДСМ

А.5 Метод равномерного нарастания

Пример формирования указанного на рис. А.1 состава с использованием вытяжного пути методом равномерного нарастания приведен на рис. А.6, А.7.

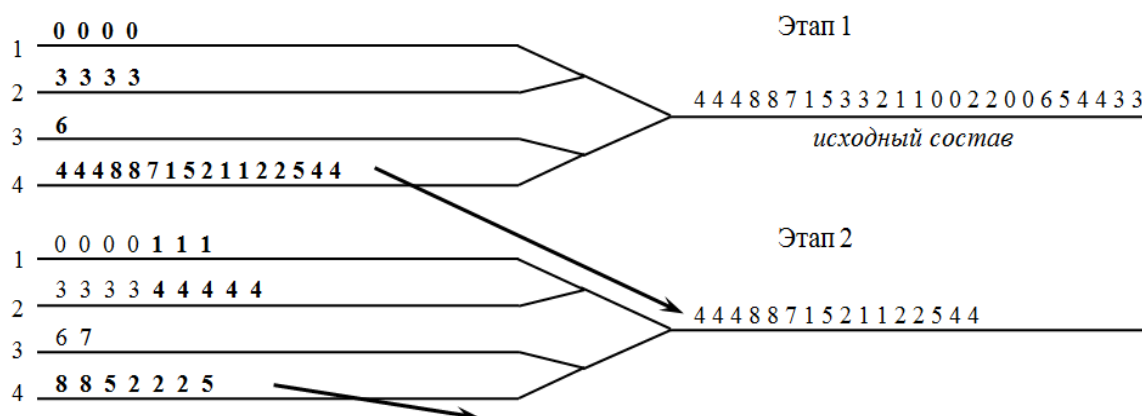


Рис. А.6 – 1-й и 2-й этап формирования многогруппного состава методом МРН

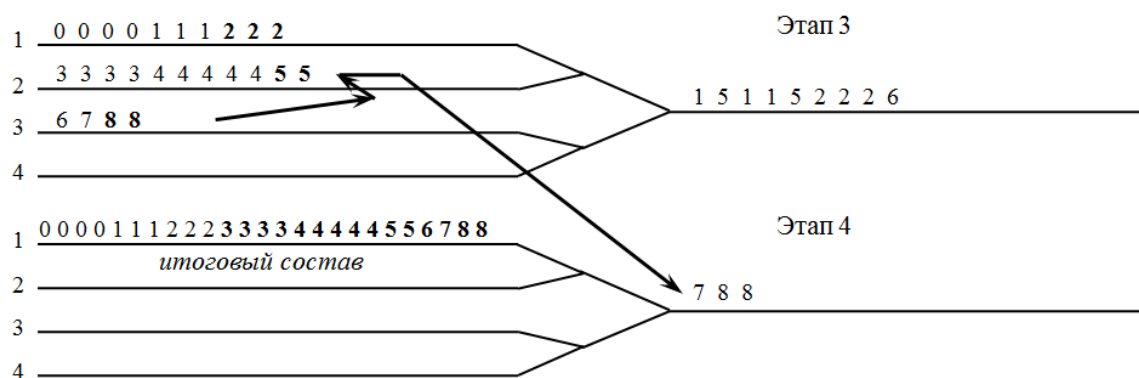


Рис. А.7 – 3-й и 4-й этап формирования многогруппного состава методом МРН

А.6 Список маневровых рейсов формирования

Для расчета продолжительности формирования в функциональной модели составляется список маневровых рейсов формирования многогруппного состава тем или иным методом; с целью иллюстрации на рис. А. 8 представлен список маневровых рейсов формирования состава, который приведен на рис. А.1, при формировании его комбинаторным методом (рис. А.2).

<i>w</i>	<i>R</i>
1	20
4	-1
2	-2
3	-2
1	-1
2	-2
1	-7
2	-1
1	-2
3	-2
1	15
3	-3
4	-2
2	-1
1	-2
2	-2
1	-2
2	-1
3	-2
2	9
1	-1
3	-1
1	-2
3	-1
1	-3
3	11
1	-12
4	3
1	-3

Рис. А.8 – Список маневровых рейсов при формировании многогруппного состава из 25-ти вагонов комбинаторным методом

А.7 Расчет продолжительности формирования многогруппного состава в функциональной модели

Используя список маневровых рейсов, который показан на рис. А. 8, определим продолжительность формирования упомянутого ранее многогруппного состава (см. рис. 9).

<i>N</i>	<i>w</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>Мос</i>	<i>Мвыт</i>	<i>Лос</i>	<i>Лвыт</i>	<i>Дос</i>	<i>Двыт</i>	<i>Тос</i>	<i>Твыт</i>	<i>Тр</i>	<i>SumTr</i>
1	1	20	1	0	20	0	20	91	61	0.72	2.05	2.77	2.77
2	4	-1	1	20	19	3	2	61	61	1.33	1.14	2.47	5.24
3	2	-2	1	19	17	9	7	61	61	1.47	1.41	2.88	8.12
4	3	-2	1	17	15	11	9	61	61	1.58	1.35	2.93	11.05
5	1	-1	2	15	14	20	19	61	37	1.84	1.80	3.64	14.68
6	2	-2	2	14	12	7	5	37	37	1.32	1.12	2.44	17.13
7	1	-7	2	12	5	19	12	37	37	1.71	1.17	2.88	20.01
8	2	-1	2	5	4	5	4	37	37	0.94	0.81	1.75	21.76
9	1	-2	1	4	2	12	10	37	61	1.14	1.07	2.20	23.96
10	3	-2	1	2	0	9	7	61	61	0.96	0.90	1.86	25.82
11	1	15	1	0	15	10	25	61	61	1.00	2.01	3.01	28.83
12	3	-3	2	15	12	7	4	61	37	1.35	0.98	2.33	31.17
13	4	-2	1	12	10	2	0	37	61	0.86	0.82	1.68	32.84
14	2	-1	2	10	9	4	3	61	37	1.07	0.92	1.99	34.83
15	1	-2	2	9	7	25	23	37	37	1.73	1.64	3.38	38.21
16	2	-2	2	7	5	3	1	37	37	0.87	0.73	1.60	39.81
17	1	-2	2	5	3	23	21	37	37	1.55	1.34	2.89	42.70
18	2	-1	1	3	2	1	0	37	61	0.69	0.68	1.37	44.07
19	3	-2	1	2	0	4	2	61	61	0.86	0.72	1.58	45.65
20	2	9	2	0	9	0	9	61	37	0.64	1.17	1.81	47.46
21	1	-1	1	9	8	21	20	37	61	1.59	1.55	3.13	50.59
22	3	-1	1	8	7	2	1	61	61	0.90	0.87	1.77	52.36
23	1	-2	1	7	5	20	18	61	61	1.50	1.42	2.92	55.29
24	3	-1	1	5	4	1	0	61	61	0.83	0.71	1.54	56.83
25	1	-3	1	4	1	18	15	61	61	1.38	1.14	2.52	59.34
26	3	11	1	1	12	0	11	61	61	0.66	1.41	2.07	61.41
27	1	-12	1	12	0	15	3	61	61	1.56	0.81	2.37	63.78
28	4	3	1	0	3	0	3	61	61	0.64	0.89	1.53	65.30
29	1	-3	0	3	0	3	0	61	0	0.89	0.00	0.89	66.19

Продолжительность формирования $T_{\Phi}=66.19$ мин

Рис. А.9 – Расчет продолжительности формирования многогруппного состава из 25-ти вагонов комбинаторным методом

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ НА РАЗНЫХ
СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Результаты вычислительных экспериментов с функциональной моделью процесса формирования многогруппных составов на разных сортировочных устройствах приведены ниже.

Б.1. Результаты функционального моделирования процесса формирования многогруппных составов на вытяжном пути

Значения продолжительности формирования многогруппных составов (от 10 до 40 ваг), полученные в результате функционального моделирования процесса их формирования на вытяжном пути, приведены в таблицах Б.1–Б.7.

Таблица Б.1

**Результаты функционального моделирования процесса формирования
составов из $n = 10$ вагонов на вытяжном пути**

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	15,34	16,15	-	16,54	15,51
3	14,22	14,32	15,84	15,32	15,29
4	14,05	14,09	15,61	15,31	15,15
5	14,05	14,07	15,61	15,31	15,15
6	14,05	14,06	15,61	15,31	15,15
7	14,05	14,05	-	-	-
8	-	-	-	-	-

Таблица Б.2

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 15$ вагонов на вытяжном пути

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	25,83	27,08	-	25,39	24,1
3	23,09	23,37	24,05	22,56	23,28
4	22,37	22,34	22,79	22,48	22,7
5	22,37	22,2	22,79	22,48	22,66
6	22,37	22,06	22,79	22,48	22,64
7	22,37	22,04	22,79	22,48	22,64
8	22,37	22,02	-	-	-

Таблица Б.3

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 20$ вагонов на вытяжном пути

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	38,6	39,96	-	35,46	34,24
3	34,12	34,43	32,45	31,91	32,51
4	32,27	32,07	31,13	31,65	31,06
5	32,27	31,67	31,11	31,62	30,97
6	32,27	31,34	31,11	31,62	30,87
7	32,27	31,14	31,11	31,62	30,86
8	32,27	31,12	31,11	31,62	30,86

Таблица Б.4

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 25$ вагонов на вытяжном пути

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	54,98	56,46	-	49,33	48,11
3	47,83	48,26	43,84	43,95	45,16
4	44,46	43,55	41,79	43,39	42,17
5	44,44	42,76	41,75	43,36	41,88
6	44,44	41,78	41,72	43,36	41,56
7	44,44	41,35	41,72	43,36	41,53
8	44,44	41,2	41,72	43,36	41,5

Таблица Б.5

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 30$ вагонов на вытяжном пути

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	73,53	77,3	-	-	63,92
3	62,92	64,52	57,74	58,22	59,15
4	58,35	56,92	54,1	56,56	54,14
5	58,26	55,52	53,77	56,43	53,48
6	58,26	53,83	53,73	56,42	52,71
7	58,26	52,73	53,71	56,42	52,52
8	58,26	52,32	53,7	56,42	52,46

Таблица Б.6

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 35$ вагонов на вытяжном пути

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	94,1	100	-	-	81,69
3	79,48	83,01	-	74,28	75,33
4	73,85	72,41	68,18	71,44	68,22
5	73,57	70,38	67,06	71,05	66,67
6	73,57	67,09	66,84	71,03	64,93
7	73,57	65,05	66,69	71,03	64,37
8	73,57	63,96	66,67	71,03	64,2

Таблица Б.7

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 40$ вагонов на вытяжном пути

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	125,3	133,4	-	-	105,6
3	102,7	108,9	-	97,09	96,42
4	94,95	92,44	86,37	91,72	86,5
5	94,3	89,6	84,59	90,77	83,87
6	94,3	84,97	84,08	90,7	80,66
7	94,3	80,95	83,76	90,7	79,71
8	94,3	79,15	83,66	90,7	79,34

Б.2. Результаты функционального моделирования процесса формирования многогруппных составов на сортировочной горке

Указанные результаты для многогруппных составов от 10 до 40 вагонов при формировании их на сортировочной горке приведены в таблицах Б.8–Б.14.

Таблица Б.8

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 10$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	10,88	11,59	-	11,59	12,02
3	9,52	10,1	10,94	10,72	10,93
4	9,4	10,09	10,89	10,72	10,87
5	9,4	10,09	10,89	10,72	10,87
6	9,4	10,09	10,89	10,72	10,87
7	9,4	10,09	-	-	-
8	-	-	-	-	-

Таблица Б.9

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 15$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	17,46	18,62	-	16,68	18,34
3	14,67	15,61	15,89	15,29	15,66
4	14,02	15,38	15,31	15,29	15,35
5	14,02	15,37	15,31	15,29	15,34
6	14,02	15,37	15,31	15,29	15,34
7	14,02	15,37	15,31	15,29	15,34
8	14,02	15,37	-	-	-

Таблица Б.10

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 20$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	24,81	26,66	-	21,85	25,64
3	20,19	21,78	20,84	20,43	21,11
4	18,93	21,11	20,15	20,43	20,3
5	18,91	21,08	20,14	20,43	20,21
6	18,91	21,08	20,14	20,43	20,21
7	18,91	21,08	20,14	20,43	20,21
8	18,91	21,08	20,14	20,43	20,21

Таблица Б.11

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 25$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	33,23	35,82	-	27,68	35,62
3	26,46	29,04	26,91	26,6	27,95
4	24,19	27,55	25,97	26,6	26,33
5	24,15	27,45	25,92	26,6	26,07
6	24,15	27,45	25,92	26,6	26,06
7	24,15	27,44	25,92	26,6	26,06
8	24,15	27,44	25,92	26,6	26,06

Таблица Б.12

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 30$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	42,14	45,46	-	-	47,29
3	33,16	36,66	33,46	33,52	35,07
4	29,87	34,47	32,18	33,44	32,5
5	29,76	34,16	32,05	33,44	31,94
6	29,76	34,16	32,04	33,44	31,93
7	29,76	34,14	32,04	33,44	31,93
8	29,76	34,14	32,04	33,44	31,93

Таблица Б.13

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 35$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	51,48	56,01	-	-	59,22
3	39,79	44,66	-	40,79	43,13
4	35,66	41,79	38,98	40,55	39,14
5	35,43	41,24	38,74	40,55	38,28
6	35,43	41,22	38,68	40,55	38,15
7	35,43	41,14	38,68	40,55	38,14
8	35,43	41,14	38,68	40,55	38,14

Результаты функционального моделирования процесса формирования составов из $n = 40$ вагонов на сортировочной горке

Число путей	Метод				
	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
2	61,86	67,45	-	-	73,76
3	46,91	52,95	-	48,52	51,78
4	41,99	49,56	46,16	48,25	46,46
5	41,33	48,64	45,91	48,23	45,07
6	41,33	48,61	45,82	48,23	44,83
7	41,33	48,44	45,82	48,23	44,79
8	41,33	48,44	45,82	48,23	44,79

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ НА РАБОТУ, СВЯЗАННУЮ С ФОРМИРОВАНИЕМ
МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

Расчет эксплуатационных расходов на маневровую работу сводится к определению себестоимости маневрового локомотиво-часа работы. Одним из вариантов решения данной проблемы является расчет с помощью метода расходных ставок.

Данный метод базируется на связи расходов с измерителями работы железной дороги. Как известно, различают метод единичных расходных ставок и метод укрупненных расходных ставок. В методе единичных расходных ставок калькуляционными измерителями являются пробежные, временные и энергетические показатели работы. Расчет себестоимости выполняется с распределением расходов на зависимые и независимые. Для определения затрат по различным видам эксплуатационной работы используется метод укрупненных расходных ставок. По этому методу с помощью единичных расходных ставок расчет ведется на единицу работы: поездок-километр, локомотиво-километр, поездок-час, локомотиво-час и др.

Метод определения укрупненных расходных ставок аналогичен методу единичных расходных ставок. В технико-экономических расчетах, как правило, укрупненные расходные ставки рассчитываются только в части зависящих расходов. Расходная ставка – это удельные затраты, приходящиеся на единицу измерителя. Для расчета себестоимости одного маневрового локомотиво-часа работы используются следующие расходные ставки [121, 122]:

- e_{nS} – вагоно-километры общего пробега вагонного парка (входят расходы на содержание и текущий ремонт вагонов, расходы на смазочные и обтирочные материалы);

- e_{nT} – вагоно-часы вагона вагонного парка (входят расходы вагонного депо на амортизацию и восстановление вагонов);

- e_{MSM} – локомотиво-километры (входят расходы на содержание и текущий ремонт маневровых локомотивов, расходы на смазочные и обтирочные материалы);
- e_{MTM} – локомотиво-часы (входят расходы локомотивного депо по маневровой работе на амортизацию и восстановление локомотивов);
- $e_{MNM}^{\text{л}}$ – бригадо-часы локомотивных бригад (входят расходы на сдельную оплату и отчисления на социальные нужды локомотивных бригад);
- $e_{MNM}^{\text{с}}$ – бригадо-часы составительских бригад (входят расходы на сдельную оплату и отчисления на социальные нужды составительских бригад);
- $e_{\text{т}}$ – расходы на топливо (входят расходы на 1 кг условного топлива для маневрового тепловоза);
- $e_{\text{си}}$ – расходы на использование 1 км станционной инфраструктуры;
- $e_{PL_{\text{бр}}}$ – расходы на техническое содержание и амортизацию верхнего строения пути.

Кроме того, для нахождения величины измерителя по статье расходов на топливо принято:

- норма расхода топлива 19,5 дм³;
- температурный коэффициент 1,175;
- коэффициент переработки 1,42.

Расчет расходов на 1 час маневровой работы производится в табличном виде.

Согласно [122] принято следующие расходные ставки: $e_{nS} = 0,31 \text{ грн}$,

$$e_{nT} = 0,79 \text{ грн}, \quad e_{MSM} = 5,46 \text{ грн}, \quad e_{MTM} = 497,31 \text{ грн}, \quad e_{MNM}^{\text{л}} = 399,35 \text{ грн},$$

$$e_{MNM}^{\text{с}} = 275,5 \text{ грн}, \quad e_{\text{си}} = 32,06 \text{ грн}, \quad e_{\text{т}} = 10,06 \text{ грн}, \quad e_{\text{ткм}} = 0,02143 \text{ грн}.$$

В.1. Определение расходов на 1 час маневровой работы на одностороннем СУ

Определим стоимость 1 часа маневровой работы с различными составами на одностороннем СУ в табличном виде (см. таблицы В.1– В.6).

**Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из
 $n = 10$ вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	78	24,18
Вагоно-часы	0,79	10	7,9
Локомотиво-километры	5,46	7,8	42,59
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	7,8	250,07
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	944	20,23
Итого			1844,48

Таблица В.2

**Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из
 $n = 15$ вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	122,25	37,9
Вагоно-часы	0,79	15	11,85
Локомотиво-километры	5,46	8,15	44,5
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	8,15	261,29
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	1324	28,37
Итого			1883,42

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 20 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	172	53,32
Вагоно-часы	0,79	20	15,8
Локомотиво-километры	5,46	8,6	46,96
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	8,6	275,72
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	1704	36,52
Итого			1927,83

Таблица В.4

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 25 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	228,75	70,91
Вагоно-часы	0,79	25	19,75
Локомотиво-километры	5,46	9,15	49,96
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	9,15	293,35
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	2084	44,66
Итого			1978,14

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из **$n = 30$ вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	295,5	91,61
Вагоно-часы	0,79	30	23,7
Локомотиво-километры	5,46	9,85	53,78
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	9,85	315,79
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	2464	52,8
Итого			2037,19

Таблица В.6

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из **$n = 35$ вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	376,25	116,64
Вагоно-часы	0,79	35	27,65
Локомотиво-километры	5,46	10,75	58,7
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	10,75	344,65
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	2844	60,95
Итого			2108,1

В.2. Определение расходов на 1 час маневровой работы на двустороннем СУ

Формирование многогруппных составов на двустороннем сортировочном устройстве имеет ряд технологических особенностей, главной из которых является большой объем перемещений локомотива без вагонов на значительные расстояния.

В связи с этим средняя скорость перемещения маневрового локомотива значительно выше чем на одностороннем сортировочном устройстве.

Кроме того, в отличие от последних, на данном СУ с увеличением числа вагонов состава средняя скорость не увеличивается, а снижается в следствии сокращения расстояния перемещения одиночного маневрового локомотива.

Определим стоимость 1 часа маневровой работы с различными составами на двустороннем СУ в табличном виде (см. таблицы В.7– В.12).

Таблица В.7

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из $n = 10$ вагонов

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	151	46,81
Вагоно-часы	0,79	10	7,9
Локомотиво-километры	5,46	15,1	82,45
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	15,1	484,11
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	944	20,23
Итого			2141,01

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 15 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	216	66,96
Вагоно-часы	0,79	15	11,85
Локомотиво-километры	5,46	14,4	78,62
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	14,4	461,66
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	1324	28,37
Итого			2146,97

Таблица В.9

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 20 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	277	85,87
Вагоно-часы	0,79	20	15,8
Локомотиво-километры	5,46	13,85	75,62
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	13,85	444,03
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	1704	36,52
Итого			2157,35

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 25 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	338,75	105,01
Вагоно-часы	0,79	25	19,75
Локомотиво-километры	5,46	13,55	73,98
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	13,55	434,41
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	2084	44,66
Итого			2177,32

Таблица В.11

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 30 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	399	123,69
Вагоно-часы	0,79	30	23,7
Локомотиво-километры	5,46	13,3	72,62
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	13,3	426,4
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	2464	52,8
Итого			2198,72

Стоимость 1 часа маневровой работы с многогруппным составом из***n* = 35 вагонов**

Измеритель	Расходная ставка, грн	Величина измерителя	Расходы, грн
Вагоно-километры	0,31	460,95	142,89
Вагоно-часы	0,79	35	27,65
Локомотиво-километры	5,46	13,17	71,91
Локомотиво-часы	497,31	1	497,31
Использование станционной инфраструктуры	32,06	13,17	422,23
Бригадо-часы работы локомотивных бригад	399,35	1	399,35
Расход топлива	10,06	32,54	327,35
Бригадо-часы работы составительских бригад	275,5	1	275,5
Тонно-километры локомотива и состава	0,02143	2844	60,95
Итого			2225,14

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ИЛЮСТРАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ НА ДВУСТОРОННЕМ СОРТИРОВОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

Г.1 Адаптированный комбинаторный метод

Рассмотрим формирование многогруппного состава методом КМА на примере состава из 16-ти вагонов. Логические номера групп вагонов состава (в ячейке) и соответствующий им код сортировки (снизу) адаптированным комбинаторным методом (КМА) приведены на рис. Г.1:

8	1	14	12	5	2	10	7	15	6	3	13	0	11	9	4
01000	10001	00001	00011	01011	10000	00101	01001	00000	01010	01101	00010	10010	00100	00110	01100

Рис. Г.1 – ЛНГ и соответствующий код вагонов многогруппного состава для формирования методом КМА

Пример формирования этого состава на предлагаемом двустороннем сортировочном устройстве адаптированным комбинаторным методом приведен на рис. Г.2, Г.3.

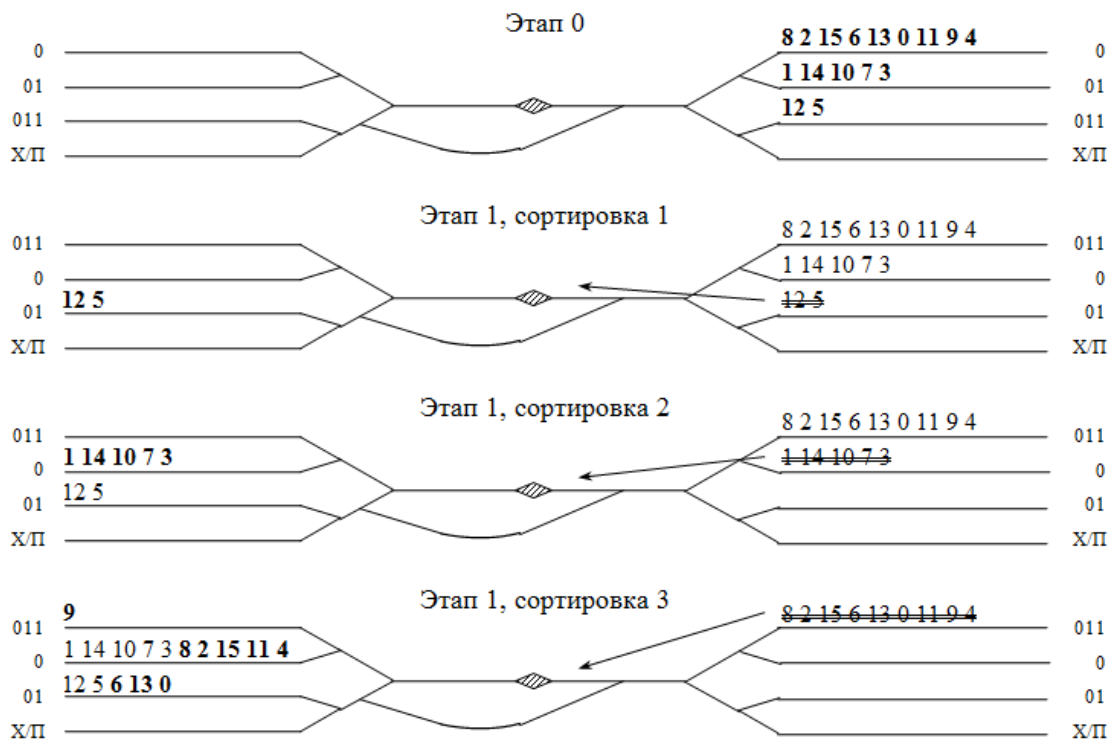


Рис. Г.2 – 0-й и 1-й этапы формирования многогруппного состава методом КМА

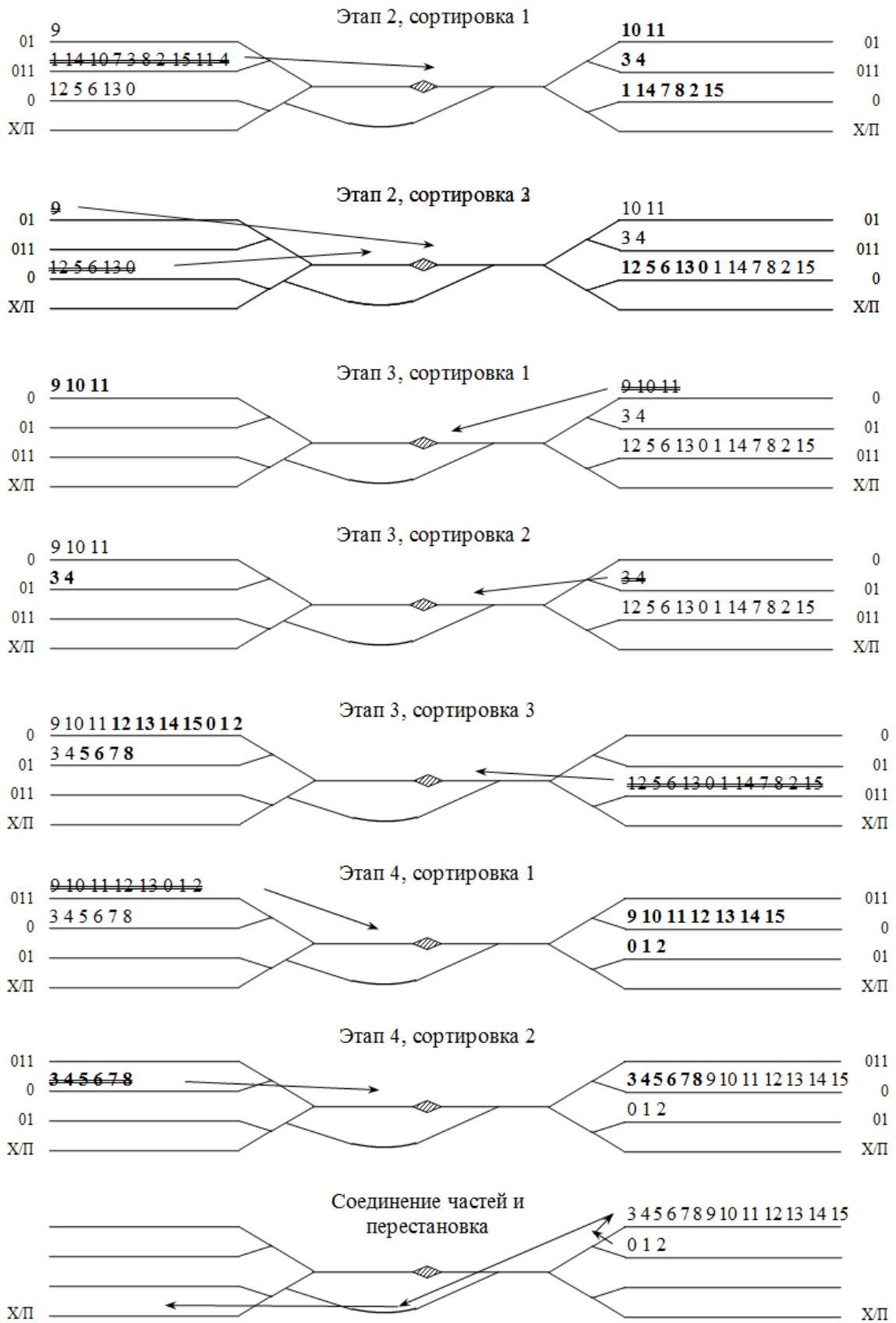


Рис. Г.3 – 2-й, 3-й и 4-й этапы формирования многогруппного состава методом КМА, а также соединение частей и перестановка состава

Г.2 Адаптированный распределительный метод

Рассмотрим формирование многогруппного состава методом РМА на примере состава из 16-ти вагонов/групп. Логические номера групп вагонов состава (в ячейке) и соответствующий им код сортировки (снизу) адаптированным распределительным методом (РМА) приведены на рис. Г.4:

8	1	14	12	5	2	10	7	15	6	3	13	0	11	9	4
022	001	112	110	012	002	101	021	120	020	010	111	000	102	100	011

Рис. Г.4 – ЛНГ и соответствующий код вагонов многогруппного состава для формирования методом РМА

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ адаптированным распределительным методом приведен на рис. Г.5, Г.6.

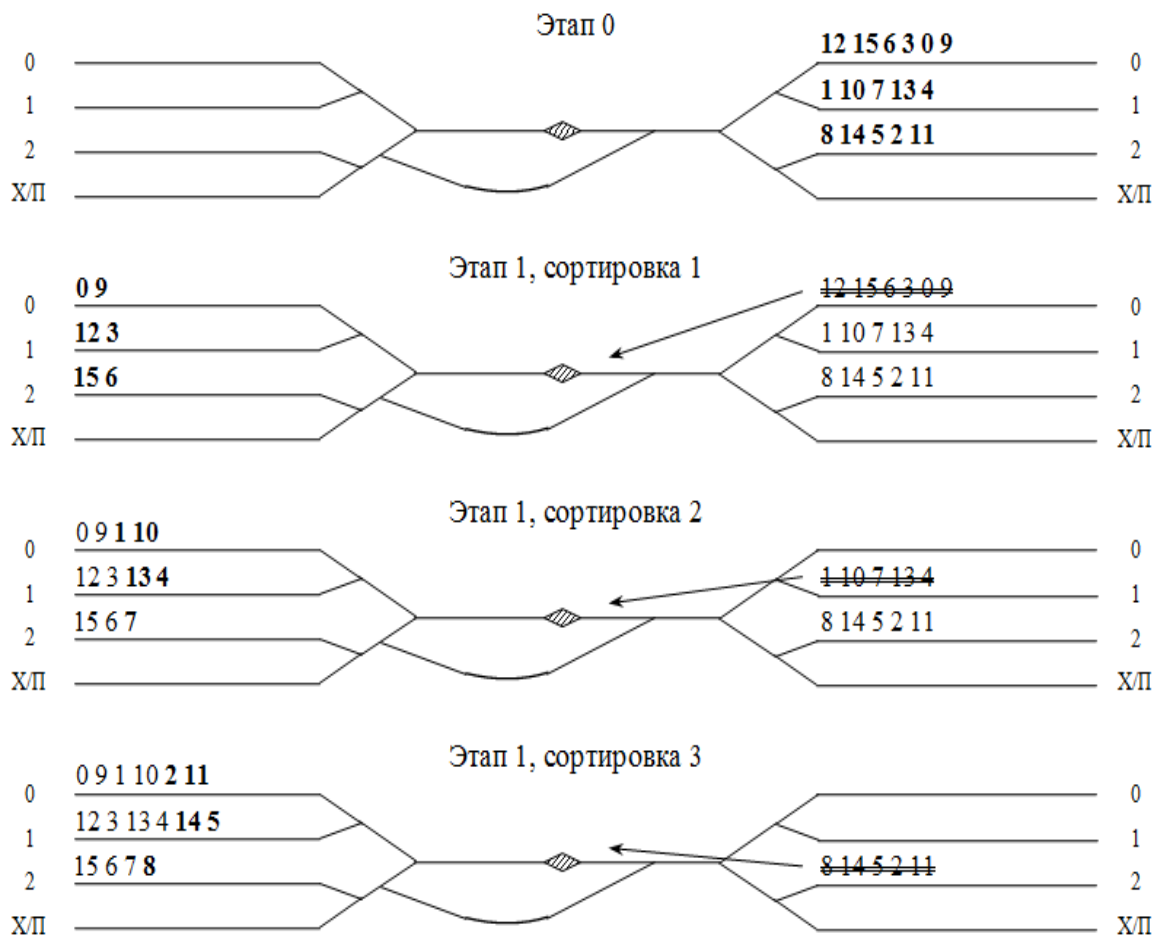


Рис. Г.5 – 0-й и 1-й этапы формирования многогруппного состава методом РМА

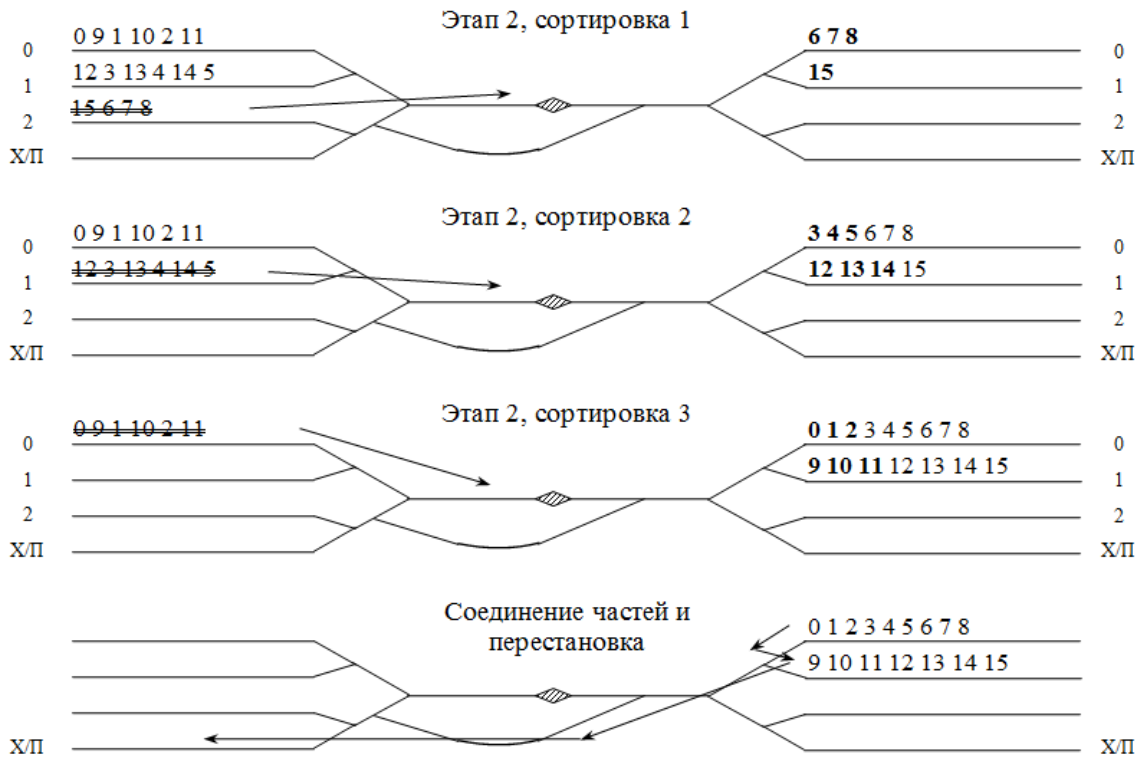


Рис. Г.6 – 2-й этап формирования многогруппного состава методом РМА, а также соединение частей и перестановка состава

Г.3 Адаптированный основной ступенчатый метод

Рассмотрим формирование максимально возможного многогруппного состава из $\theta = 6$ групп адаптированным основным ступенчатым методом (ОСМА) на ДСУ с группировочными парками, у которых $m_1^* = m_2^* = 3$ пути. ЛНГ вагонов состава приведены на рис. Г.7:

3	0	1	5	4	2
---	---	---	---	---	---

Рис. Г.7 – Пример многогруппного состава для формирования методом ОСМА

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ адаптированным основным ступенчатым методом приведен на рис. Г.8, Г.9.

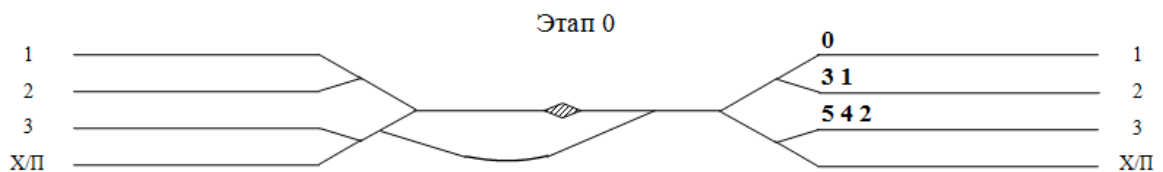


Рис. Г.8 – 0-й этап формирования многогруппного состава методом ОСМА

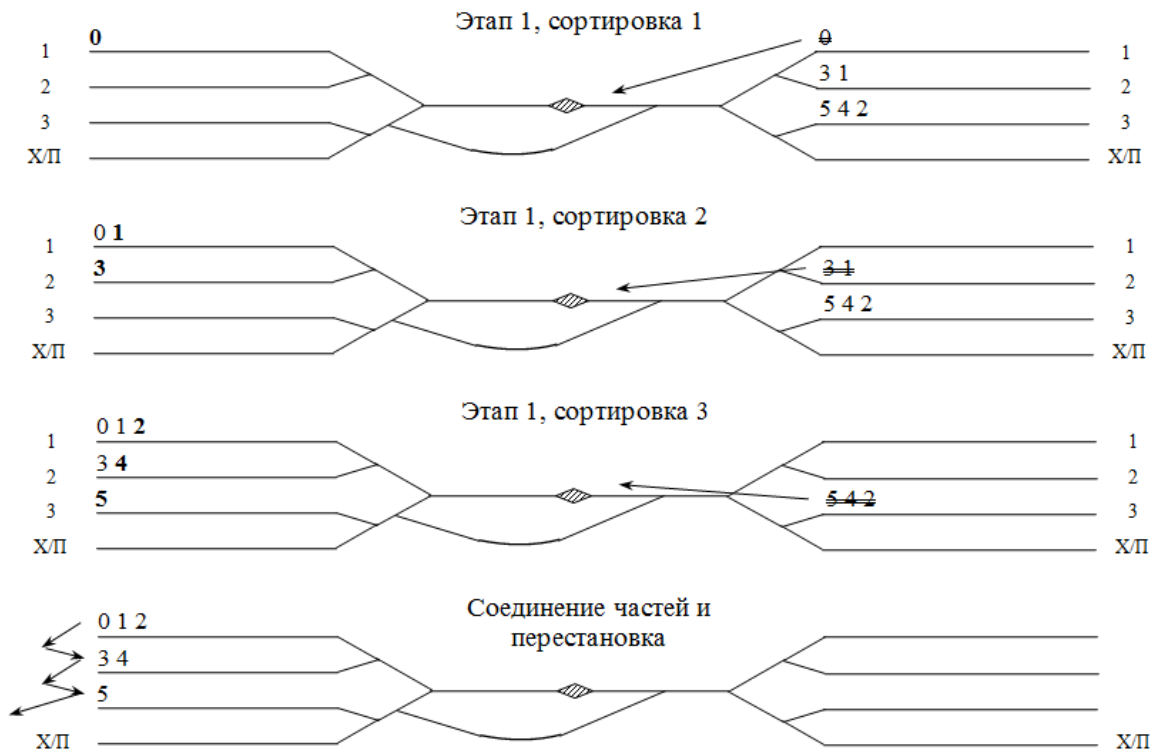


Рис. Г.9 – 1-й этап формирования многогруппного состава методом ОСМА, а также соединение частей и перестановка состава

Г.4 Адаптированный двойной ступенчатый метод

Рассмотрим формирование максимально возможного многогруппного состава из $\theta=11$ групп адаптированным двойным ступенчатым методом (ДСМА) на ДСУ с группировочными парками, у которых $m_1^* = m_2^* = 3$ пути. Логические номера групп вагонов состава приведены на рис. Г.10:

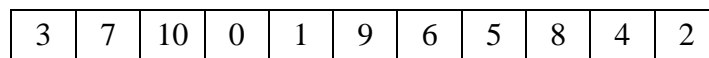


Рис. Г.10 – Пример многогруппного состава для формирования методом ДСМА

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ адаптированным двойным ступенчатым методом приведен на рис. Г.11, Г.12.

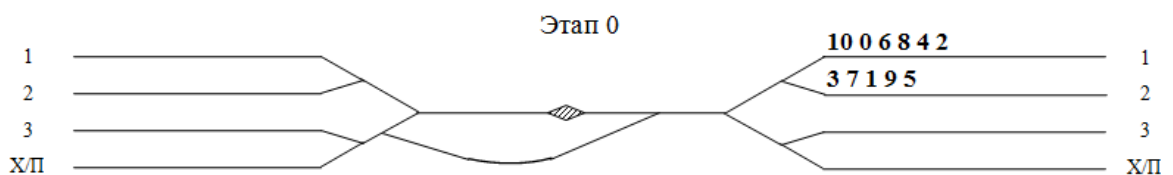


Рис. Г.11 – 0-й этап формирования многогруппного состава методом ДСМА

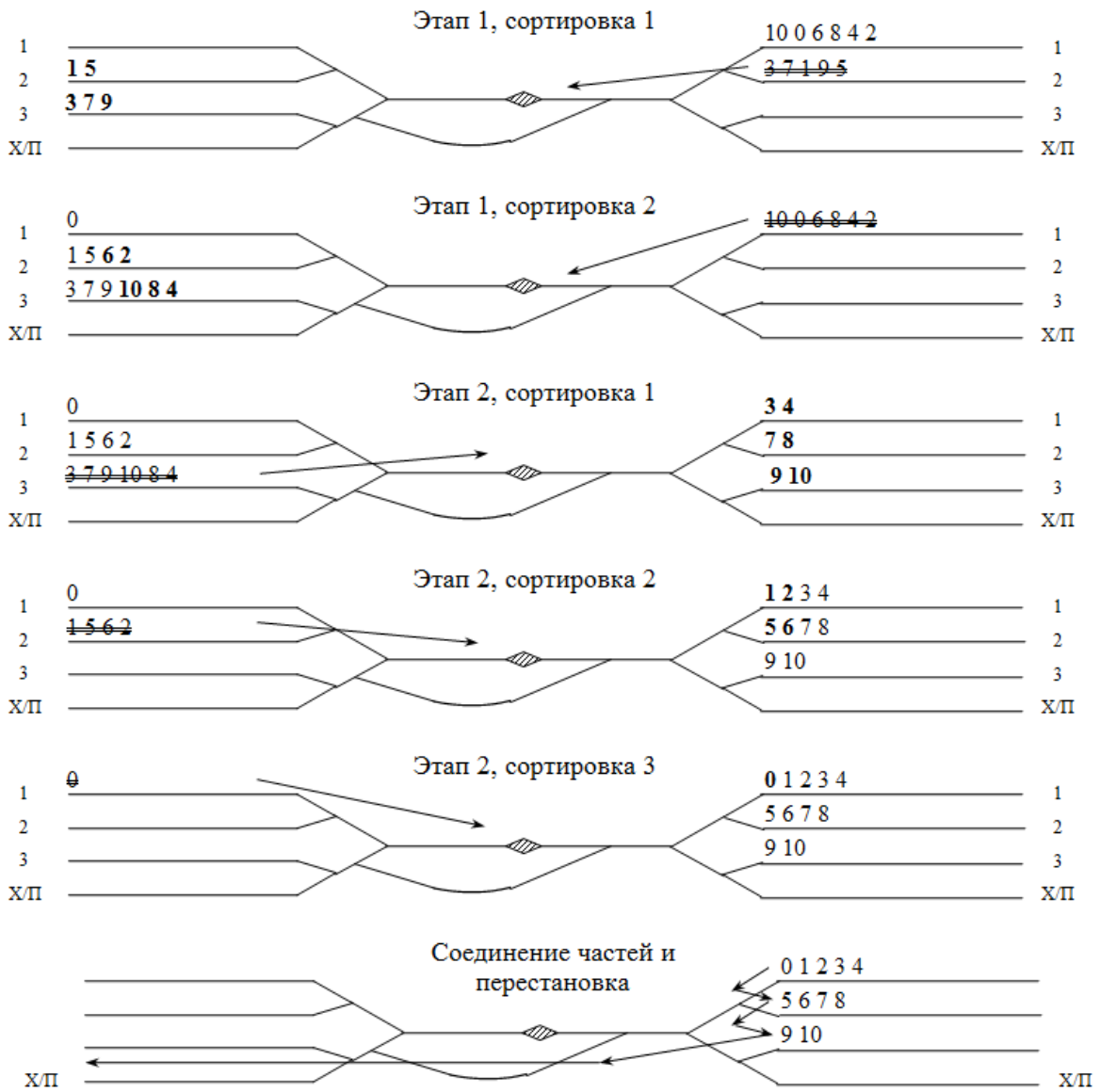


Рис. Г.12 – 1- и 2-й этапы формирования многогруппного состава методом ДСМА, а также соединение частей и перестановка состава

Г.5 Адаптированный метод равномерного нарастания

Рассмотрим формирование многогруппного состава адаптированным методом равномерного нарастания (МРНА) на примере состава из 16-ти вагонов/групп. Логические номера групп вагонов состава приведены на рис. Г.13.

8	1	14	12	5	2	10	7	15	6	3	13	0	11	9	4
---	---	----	----	---	---	----	---	----	---	---	----	---	----	---	---

Рис. Г.13 – Пример многогруппного состава для формирования методом МРНА

Пример формирования данного состава с использованием двустороннего ВСУ адаптированным методом равномерного нарастания приведен на рис. Г.14, Г.15.

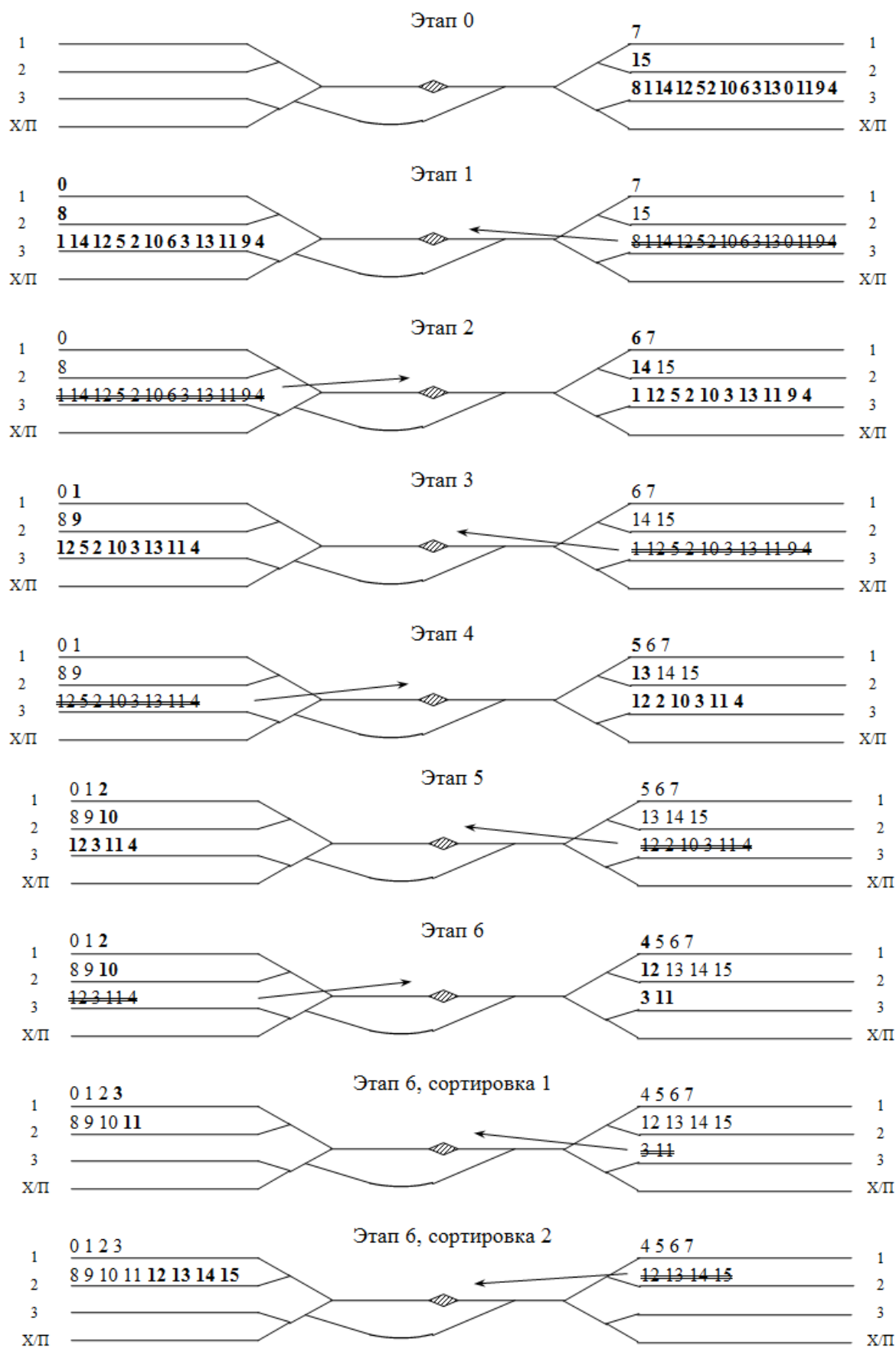


Рис. Г.14 – Этапы формирования многогруппного состава от 0-го до 6-го (1-я и 2-я сортировки) методом МРНА

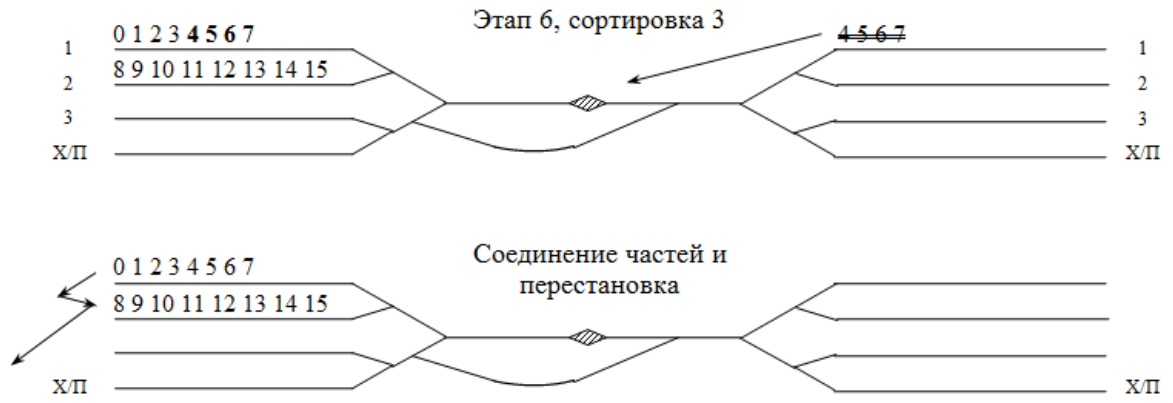


Рис. Г.15 – 6-й этап (3-я сортировка) формирования многогруппного состава методом МРНА, а также соединение частей и перестановка состава

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ПАТЕНТЫ НА ПОЛЕЗНЫЕ МОДЕЛИ И АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ

Д.1 Патент на полезную модель №55826 «Способ формирования многогруппных составов на основном и вспомогательном сортировочных устройствах»



Д.2 Патент на полезную модель №56315 «Устройство для формирования многогруппных составов»



Д.3 Патент на полезную модель №80281 «Устройство для укладывания на пути тормозных башмаков»



Д.4 Акт о внедрении результатов диссертационной работы на станции

Затверджую:
 Начальник технічної служби
 Придніпровської залізниці
 Бабенко О.В.
 «___» _____ 2007 р



Довідка

про впровадження результатів науково-дослідної роботи кафедри „Станції та вузли” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. А. Лазаряна (ДНУТ)

Відповідно до наказу Міністерства транспорту та зв'язку України №27 від 02 лютого 2005 року „Про введення в дію рішення Науково-технічної ради від 23 грудня 2004 року” в 2005-2006 роках кафедрою „Станції та вузли” була виконана науково-дослідна робота №43.00.05.06 „Автоматизація проектування залізничних станцій”.

В НДР брав участь асистент кафедри „Станції та вузли” Сковрон І. Я. На основі аналізу зібраних ним статистичних даних по станції Нижньодніпровськ-Вузол було визначено закон розподілу інтервалів між поїздами, що приходять в розформування, виконано формалізацію складів поїздів та процесу накопичення вагонів на коліях сортувального парку, що дозволило розробити імітаційну модель цього процесу.

Результати даної роботи використані для оцінки та вибору варіантів технології роботи сортувального комплексу станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.

В.О. Головний інженер
 служби перевезень
 Придніпровської залізниці



Іванюк А.В.

Д.5 Акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

_____ Б. Є. Боднар

18 березня 2015 р.

АКТ

Про використання результатів дисертації Сковрона Ігоря Ярославовича
«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ФОРМУВАННЯ БАГАТОГРУПНИХ СОСТАВІВ»

м. Дніпропетровськ

«18» березня 2015 р.

Даний акт засвідчує те, що у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті» використовуються наукові та практичні результати, які були отримані в дисертації Сковрона І. Я., а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисциплін «Методика оптимізації технічних та технологічних параметрів станцій», «Промисловий транспорт».

2. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних проєктів та дипломних магістерських робіт спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті».

декан факультету УПП
к.т.н., доцент



Р. В. Вернигора

завідувач кафедри
«Станції та вузли», д.т.н., професор



В. І. Бобровський

завідувач кафедри
«Управління експлуатаційною роботою»
к.т.н., доцент



М. І. Березовий