

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Днепровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна
Кафедра «Транспортные узлы»

НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ
СНАМ, ФРАНЦИЯ

«К ЗАЩИТЕ ДОПУЩЕНО»

Заведующий кафедрой:

К.Т.Н., доцент _____ Березовый Н. И.
(уч. звание, степень) (подпись) (ФИО)

« ____ » _____ 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ДИПЛОМНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЕ
на получение УВО «магистр»

Направление 27 «Транспорт»

Специальность 273 «Железнодорожный транспорт»

Специализация «Интероперабельность и безопасность на железнодорожном транспорте»

Тема: Повышение степени интероперабельности грузовых перевозок путем
внедрения новых методов управления парком

Выполнил:

ст.гр. 8-Интер _____

(подпись)

Любас М.Я.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель:

К.Т.Н. _____

(уч. звание, степень)

(подпись)

Ельникова Л.О.

(фамилия и инициалы)

Днепр
2020

РЕФЕРАТ

Дипломная работа состоит из вступления, 4 разделов и выводов. Полный объем работы – 75 страниц – основной текст, содержит 13 рисунков, 5 таблиц и 78 источников литературы.

Предмет исследования - процесс эксплуатации парка грузовых локомотивов на железнодорожных направлениях.

Объект исследования – взаимосвязь качества планирования работы парка грузовых локомотивов и показателей работы железных дорог.

Цель исследования – улучшить степень интероперабельности железных дорог за счет уменьшения простоя поездов в ожидании подачи исправного тягового подвижного состава.

В дипломной работе выполнен анализ современных методов управления работой локомотивов и локомотивных бригад, проанализирована существующая система планирования работы локомотивного парка Украины. Предложена методика подвязки локомотивов с бригадами к составам грузовых поездов на основании математического аппарата задачи о назначении. При решении данной задачи учитывается необходимость своевременной постановки локомотивов на все виды технического обслуживания и ремонта, обеспечивается соблюдение режима труда и отдыха локомотивных бригад, а также принимается во внимание наличие приоритетов отправления, как у составов, так и у локомотивов с бригадами. Также определена эффективность применения предложенной методики, позволяющей уменьшить продолжительность простоя подвижного состава, ускорить продвижение поездов, и, как следствие, повысить степень интероперабельности железных дорог.

Сфера применения – инфраструктура железнодорожного транспорта Украины.

Ключевые слова: ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ, ТЕХНИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, ПРОСТОЙ ЛОКОМОТИВОВ, ПРОСТОЙ СОСТАВОВ, ЗАДАЧА О НАЗНАЧЕНИИ

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА.....	7
1.1 Проблемы эффективного использования подвижного состава	7
1.2 Анализ методов планирования работы локомотивов	9
1.3 Проблемы совершенствования системы организации труда локомотивных бригад.....	16
1.4 Анализ системы организации пропуска поездов на работу локомотивного парка 20	
1.5 Постановка задачи исследования.....	24
2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА УКРАИНЫ	27
2.1 Анализ текущего состояния локомотивного парка.....	27
2.2 Существующая технология планирования работы локомотивного парка и ее недостатки.....	29
2.2.1 Нормативное обеспечение планирования работы локомотивного парка .	29
2.2.2 Планирование необходимого количества локомотивов при оперативном планировании поездной и грузовой работы.....	30
2.2.3 Организация работы и учет рабочего времени локомотивных бригад.....	32
2.2.4 Порядок составления графика оборота локомотивов и работы локомотивных бригад	36
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК 42	

3.1	Математическая постановка задачи распределения локомотивов к грузовым поездам.....	42
3.2	Определение моментов готовности локомотивов и составов.....	45
3.3	Методика расчета оптимального плана работы парка грузовых локомотивов .	49
4	ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПАРКА ГРУЗОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ	54
	ВЫВОДЫ.....	64
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	66

ВСТУПЛЕНИЕ

Объемы внутренней и внешней торговли существенно влияют на показатели экономики страны. Как известно, транспорт – неотъемлемая часть обеспечения функционирования работы предприятий всех сфер деятельности. Таким образом, согласованная работа подразделений транспорта обеспечивает своевременную подачу/уборку сырья/готовой продукции, что благоприятно сказывается на ритмичность работы предприятий промышленности, сельского хозяйства и т. д.

При чем, речь идет не только о внутренних потребностях страны, но и об удовлетворении запросов других стран на транзит продукции территорией Украины, а также импорт и экспорт различных товаров.

Своевременное обеспечение потребностей грузополучателей осуществляется не только за счет своевременного изготовления продукции (добычи сырья), но и при условии доставки товаров «срок-в-срок». Таким образом, необходимо вовремя (по заявке грузоотправителя) обеспечить наличие подвижного состава (нужное количество вагонов и исправный тяговый подвижной состав).

Для правильного распределения ресурсов необходимо качественно выполнять планирование работы всего железнодорожного транспорта. Важную роль в этом играет планирование работы локомотивного парка как на территории Украины, так и при межгосударственных перевозках. Следовательно, проблема качественного (достоверного) планирования работы локомотивного парка является актуальной.

В работе представлена методика планирования работы тягового подвижного состава и локомотивных бригад на основании данных АСК ВП УЗ –Е, которая обеспечивает оптимальное распределение локомотивов и локомотивных бригад по готовым к отправлению грузовым поездам и своевременное прохождение ТО-2 и других видов ремонта тягового подвижного состава, а также соблюдение норм труда и отдыха локомотивных бригад.

Предметом исследования является процесс эксплуатации парка грузовых локомотивов на железнодорожных направлениях.

Объект исследования – взаимосвязь качества планирования работы парка грузовых локомотивов и показателей работы железных дорог.

Цель исследования – улучшить показатели работы железнодорожного транспорта за счет уменьшения простоя в ожидании подачи исправного тягового подвижного состава.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

1.1 Проблемы эффективного использования подвижного состава

В настоящее время железные дороги Украины находятся на этапе реформирования. При этом, среди стратегических целей этого процесса является переход от технологического-административной к технологическо-экономической модели управления железнодорожным транспортом и увеличение удельного веса железнодорожных перевозок [1,2] в общем объеме перевозок грузов всеми видами транспорта.

В Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2021 года [1] (далее - Стратегия) отмечено, что основными проблемами отрасли является значительный уровень износа основных производственных фондов, прежде всего - подвижного состава, а также несовершенство организационной структуры и системы управления отраслью. Основными направлениями реализации Стратегии является обеспечение железных дорог подвижным составом для существенного улучшения технико-технологических показателей, а также совершенствование технологии организации перевозок путем создания автоматизированной системы управления перевозками через главные и региональные центры управления; централизация управления движением поездов. Целью реализации Транспортной стратегии Украины до 2030 года [2] является частичная переориентация грузовых перевозок с автомобильного транспорта на железнодорожный, а также обеспечение интероперабельности национальной транспортной системы с мультимодальной мировой транспортной системой, в том числе железнодорожной колеи 1435 мм.

Достижение поставленных целей предполагает повышение конкурентоспособности железных дорог на рынке транспортных услуг, в т.ч. за счет улучшения качества транспортного сервиса и гибкой тарифной политики. Качество транспортных услуг в

значительной степени определяется таким показателем как срок доставки грузов, сокращение которого является сейчас актуальной задачей, стоящей перед украинским железным дорогам. В свою очередь, срок доставки грузов тесно связан с своевременным обеспечением грузоотправителей подвижным составом, в том числе – локомотивами.

Как показывает анализ, за годы независимости оборот вагона в целом демонстрирует тенденцию к росту: по сравнению с 1992 г., когда оборот составлял 3,6 сут., в июле 2020 года оборот составил 7,43 сут. [3], то есть вырос в 2,1 раза. Важно отметить, что увеличение оборота вагона происходит на фоне общего увеличения участковой скорости на 22% (с 31,8 км/ч в 1992 году. До 36,8 км/ч в 2020 г.) [4]. Таким образом, основной причиной роста оборота вагона является увеличение простоев вагонов на станциях. Исследования показывают, что от 40% до 45% от общей величины оборота вагона составляют простои вагонов на технических станциях [5]. Причем, как показал факторный анализ, наибольшее влияние (более 60%) на изменение величины оборота вагона вызывают именно простои на технических станциях [6]. За последние 20 лет средний простой вагонов на технических станциях вырос почти в два раза: с 5,3 ч. в 1992 году до 10,1 ч. в 2014 [5,7]. Следовательно, контроль за выполнением норм простоя вагонов на технических станциях занимает важное место в эксплуатационной работе железных дорог.

Для сокращения продолжительности нахождения вагонов на технических станциях необходимо, в первую очередь, сократить непроизводительные простои, связанные с ожиданием начала технологических операций. Как отмечено в [8], значительная часть в общей величине простоя вагонов на технических станциях приходится на ожидание составами локомотивов и локомотивных бригад. Одной из причин такой ситуации является существенный дефицит тягового подвижного состава на железных

дорогах Украины [9]. Учитывая крайне низкие темпы обновления парка магистральных локомотивов, проблема совершенствования системы оперативного управления имеющимся локомотивным парком является сейчас весьма актуальной [10]. Решение указанной проблемы позволит повысить степень интероперабельности железных дорог Украины, эффективность использования локомотивов, а также уменьшить непроизводительные простои вагонов на технических станциях в ожидании локомотивов и локомотивных бригад.

1.2 Анализ методов планирования работы локомотивов

Для эффективного управления перевозочным процессом, для своевременной доставки грузов, в том числе к пунктам стыкования, и ритмичности перевозок, кроме разработки собственно графика движения поездов, необходимо также разработать план работы локомотивов, который обеспечивает своевременное отправление поездов со станций формирования грузопотоков, а также включает план прикрепления локомотивов к поездам в пунктах оборота. Следует отметить, что несмотря на то, что проблема разработки эффективного плана работы локомотивного парка не является новой и над ней работали выдающиеся ученые-железнодорожники 20-го века, решение этой задачи является актуальным и по настоящее время.

Разработанные во времена плановой экономики методы расчета эксплуатируемого парка локомотивов, в работе [11] на основе показателей производительности локомотива и вагона, а также при заданных размерах движения по расчетным участкам, соответственно, могут быть применены при годовом планировании парка тягового подвижного состава и не используются при оперативном планировании парка локомотивов. При этом, в [12] указано, что нормирование локомотивного парка необходимо выполнять с учетом влияния на потребность в локомотивах систем тягового обслуживания составов.

Балансовый метод определения потребности и наличия локомотивов на каждой станции полигона, предложенный в [13], может быть использован на полигонах с незначительными колебаниями объемов движения поездов; в условиях же существенной неравномерности движения грузовых поездов использования данного метода является неэффективным.

При суточном регулировании локомотивов может быть применен метод «скользящих» пунктов оборота локомотивов и бригад [13,14] для ускорения вывоза грузовых поездов с технических станций, в том числе, с привлечением локомотивов с соседних участков вращения; при этом, авторы работ не исследуют влияние применения «скользящей» технологии на работу соседних технических станций и участков обращения локомотивов и бригад.

В работе [15] приведена методика суточного планирования потребности локомотивов для запланированного объема перевозок с учетом заданных условий и ограничений: вывозной и передаточной, хозяйственной работы, подталкивания, пассажирского движения и маневров. Расчеты выполняются по участкам, дорогам и полигону в целом. Предложенная методика используется при оперативном планировании работы локомотивов и локомотивных бригад, однако в статье не указана достоверность прогноза, которая оказывает существенное влияние на конечный результат.

Планирование работы локомотивного парка, выполненное с помощью маршрутной системы эксплуатации локомотивов [16,17], обеспечивает регулярное поступление локомотивов на ТО-2 независимо от объемов движения грузовых поездов на железнодорожном направлении. Однако, при определении продолжительности межэкипировочных пробегов локомотивов не учитывается стохастический характер случайной величины продолжительности движения поездов между станциями направления и факторы, влияющие на нее. В работе [18] получены выводы, что система технического обслуживания и ремонта не оказывает значительного влияния на

необходимые размеры эксплуатируемого парка, поскольку продолжительность нахождения в движении значительно больше продолжительности ремонта.

В работе [19] проблему оптимального назначения локомотивов для поездов приведены в виде двухкритериальная задачи оптимального планирования в условиях неопределенности. В работе предложена методика создания усовершенствованной автоматизированной системы для оптимального управления работой локомотивного парка. Ее отличие - в применении нечетких моделей для прогнозирования характеристик поездопотоков и для прикрепления локомотивов к поездам. Для оптимизации планирования работы локомотивов к поездам в работе [20] предложено использовать математический аппарат «задачи о назначении» с минимизацией суммарных затрат на перевозку. При этом, авторы используют для оценки затрат понятия статистического риска - ожидаемые затраты при конкретном выборе управленческих решений в условиях неопределенности. Прогнозирование готовности локомотивов выполняется, исходя из типовых технологических последовательностей операций и текущей стадии подготовки локомотива. Недостатком предложенной методики является то, что при разработке плана работы локомотивов не учитываются локомотивы в поездах на подходах к станции.

В работе [21] предложена модель оптимального графика оборота локомотивов, основу которой составляет динамическая транспортная задача. Представленная модель позволяет разработать графики работы каждого локомотива, рассчитать показатели их работы и оптимальное количество локомотивов. Однако, график оборота локомотивов разрабатывается только с учетом обслуживания составов, и не учитываются график и особенности работы локомотивных бригад.

В научной работе [22] предложена методика оперативного регулирования локомотивным парком, которая включает составление стратегического плана регулирования (намечается основная схема передислокации локомотивов из пунктов, где

ождается избыток) и тактический план регулирования (уточняется схема передислокации по периодам текущего плана в зависимости от оперативного состояния). При этом, предполагается введение дополнительного штата работников железных дорог и дирекций железнодорожных перевозок для круглосуточного оперативного регулирования локомотивного парка.

Для решения задачи оперативного планирования работы локомотивов в [23] был применен метод декомпозиции, использующий эвристические соображения для приведения общей задачи в виде определенной последовательности трех частных подзадач (суточного, текущего планирования и планирования по 3 (4)-часовым интервалам). Подсистемы автоматизированной системы комплексного планирования работы локомотивов грузового движения АСКПБЛ включают: взаимодействие с другими информационными системами, моделирование движения поездов на участке, планирование пересылки локомотивов резервом, планирование прикрепления локомотивов к составам поездов на период суточного и текущего планов, составление окончательного плана-задания. При использовании такого подхода уменьшается парк локомотивов, простой локомотивов и бригад.

Создание вычислительной техники и развитие информационных технологий позволило создавать автоматизированные рабочие места работников железных дорог, программные комплексы для выполнения различных расчетов, для планирования работы железнодорожного транспорта на всех уровнях, а также для контроля качества перевозочного процесса.

На территории Российской Федерации в последние годы широко внедряется автоматизированная система диспетчерского управления локомотивами и локомотивными бригадами на замкнутых полигонах обращения СИГНАЛ-Л. Согласно [24] назначением «СИГНАЛ-Л» является расчет эксплуатируемого парка в локомотивных депо, контроль простоя локомотивов под ремонтами, на станциях и в депо, а также

контроль нарушений норм пробега и простоя локомотивов. Как указано в [25], система СИГНАЛ-Л планирует парк локомотивов, эксплуатируемых для всего полигона на будущие сутки на основе предыдущего месяца, суток. Поэтому фактические значения отличаются от плана на 7-10%. В статье [26] отмечено, что СИГНАЛ-Л - информационная система, в которой, в том числе, отсутствует возможность точного планирования необходимого количества локомотивных бригад при текущем планировании, а также указано, что необходимо расширять взаимосвязь с автоматизированной системой управления локомотивным парком АСУТ для дальнейшего развития СИГНАЛ-Л.

Проведенный анализ эксплуатации АРМов локомотивного депо в [27] показал необходимость облегчения процесса ввода информации, ускорение обработки информации, увеличение скорости получения оперативных данных, а также сделаны выводы о необходимости распространения таких АРМов.

Большое значение на точность прогноза отправления поездов со станций является соблюдение норм графика движения. Так, в [28] отмечено, что при создании математических моделей управляемого технологического процесса необходимо учитывать параметры процесса поездообразования на сортировочных и грузовых станциях, продвижение поездов, технического обслуживания локомотивов и тому подобное. Из-за большого количества локомотивов (>75%), работающих не по стабильным графикам (на Приднепровский железной дороги) текущее планирование возможно лишь на относительно небольшой период. В работе проанализированы время простоя поездов в ожидании локомотивов и простой локомотивов в ожидании поездов на ряде станций Приднепровской железной дороги. При идентификации закона распределения времени простоя было обнаружено, что плотность этих распределений подчинена закону Вейбулла-Гнеденко.

В работах [29, 30] отмечено несовершенство существующих АРМов работников локомотивных депо, в том числе АРМов диспетчерского аппарата дирекции и железных дорог (в части функций, касающихся эксплуатации локомотивов и планирования работы локомотивных бригад). Одним из направлений создания автоматизированной системы управления локомотивным хозяйством УЗ (АСУ Т) на предприятиях локомотивного хозяйства всех уровней является возможность выполнения оперативного анализа информации и поддержки принятия решений по планированию и управлению. Отмечена необходимость использования интегральных экономических показателей.

Одним из направлений повышения эффективности планирования работы локомотивного парка является применение навигационных систем, то есть оборудования подвижного состава навигационным оборудованием. С 2012 года Укрзализныця начала оснащение локомотивов грузового парка GPS-навигаторами [31], что позволяет определить положение локомотива, его выполненную работу и тому подобное. Однако, кроме определения местонахождения локомотивов, необходимо создать программный комплекс для поддержки принятия оперативных решений диспетчерским персоналом на основе данных навигационного оборудования. Так, в работе [32] предложено поэтапное создание комплексной программы автоматизированной системы управления АСК «Навигация и управление», которая предназначена для передачи информации о местоположении локомотива, параметрах его движения, для контроля и управления потоками подвижного состава. Для контроля положения локомотивов предложена новая диспетчерская система АКС «Диспетчер», которая позволит планировать работу локомотивов и локомотивных бригад, анализировать поездное положение, определять местонахождение локомотива, а также выполнить прогноз положения локомотива по заданной скорости. В работе [33] предлагается модель си-

стемы поддержки принятия решений для диспетчера, которая позволит на основе данных GPS-навигаторов составлять план пропуска поездов на 3-4 часа вперед и дальнейшие его корректировки. В процессе функционирования модель должна анализировать варианты прокладки поездов и найти оптимальную нить графика, которая будет способствовать соблюдению нормативного графика движения поездов.

Как указано в работе [34], интеграция систем АСК ВП УЗ, АСК «Навигация - информация - управление» и комплексной системы автоматизированного управления КСАУ «Стрела - 10» (система автоматизации процессов контроля и управления движением, диагностики аппаратуры управления и напольного оборудования) кроме традиционного управления движением поездов, позволит решить дополнительный ряд задач: автоматическое оповещение о приближении подвижного состава работников станций, ремонтных бригад, пассажиров, автоматическое составление графика исполненного движения, а также повышения безопасности движения поездов и тому подобное. Авторы отмечают, что предложенный аппаратно-программный комплекс включает в себя информационно-управляющие процессы и потоки данных на всех уровнях: железных дорог, диспетчерских центров, систем управления технологическими процессами на станциях и перегонах, систем диагностики и телекоммуникационных систем.

Следует отметить, что для эффективного функционирования этих программных комплексов и полного использования их возможностей следует оборудовать системами спутниковой навигации все единицы тягового подвижного состава.

Таким образом, невысокая точность прогноза потребности локомотивов, их неудовлетворительное техническое состояние, приводящее к увеличению объема и продолжительности ремонта локомотивов, требует создания такой методики планирования работы локомотивного парка, которая бы учитывала приведенные выше факторы и обеспечивала бы достоверный прогноз при оперативном, суточном и

месячном планировании работы тягового подвижного состава. Разработка такой методики позволит повысить степень интероперабельности железнодорожных перевозок за счет более точного планирования работы парка грузовых локомотивов.

1.3 Проблемы совершенствования системы организации труда локомотивных бригад

Проблема эффективной организации работы локомотивных бригад (ЛБ) возникла с началом внедрения железнодорожного транспорта и с ростом объемов перевозок грузов актуальность этой проблемы также возрастала. Следует отметить, что производительность, а также условия труда и отдыха ЛБ в значительной степени зависят от схемы организации их поездок. Сейчас существуют следующие схемы: плечевая, когда участок работы локомотивных бригад обслуживается из одного пункта их приписки, накладная - на одном участке поезда обслуживаются ЛБ из двух смежных пунктов, каждый из которых является одновременно пунктом приписки и пунктом оборота, петлевая - когда на участке работы бригад, ограниченном двумя пунктами их оборота, поезда обслуживаются бригадами из пункта их приписки, расположенного внутри участка [35].

Как отмечалось, проблема совершенствования системы организации работы локомотивных бригад всегда была актуальной и находилась в центре внимания эксплуатационной науки. Так, в работах [36, 37] изложены результаты исследования по выбору наиболее рациональных форм организации труда ЛБ грузового движения для всех видов тяги при различной продолжительности непрерывной работы с учетом мероприятий, направленных на уменьшение вспомогательного времени работы. Также в этих работах приведена методика технико-экономического сравнения вариантов участков и способов организации работы ЛБ (по приведенным затратам). Отмечено, что организация труда ЛБ накладным способом с отдыхом в пункте оборота и полным использованием возмож-

ной непрерывной продолжительности работы лучше всего отвечает требованиям безопасности движения, позволяет уменьшить число поездок и увеличить продолжительность семейного отдыха.

Работы [38, 39, 40] посвящены решению задачи целесообразности продления участков работы локомотивных бригад, а также приведены методики их формирования при пропуске поездов по «жесткими» нитками графика. Отмечено, что продление работы до максимально возможной величины позволяет уменьшить стоянки, связанные со сменой локомотивов и ЛБ, а также снизить эксплуатационные расходы и улучшить использование тягового подвижного состава. Так, в [41, 42] отмечена тенденция по удлинению локомотивных плеч обслуживания на железных дорогах Украины и положительный эффект за счет их внедрения: за счет работы на 29 удлинённых участках обслуживания улучшилось использование локомотивов и ЛБ, что позволило сэкономить в среднем 15 электровозов и 112 локомотивных бригад, что, в свою очередь, позволило снизить эксплуатационные расходы в 2012 г. примерно на 90 млн грн.

Для более рационального использования рабочего времени локомотивных бригад в [43] предложено ввести в пунктах оборота и основном депо экипировочные бригады (машинистов, работающих в одно лицо), которые будут принимать локомотив в парке приема, проходить весь цикл операций с локомотивом до его сдачи локомотивной бригаде в парке отправления при обратном следовании.

Необходимо сказать, что этот опыт успешно используется и сейчас. Так, в [44] отмечено, что с августа 2011 года в депо Приднепровской железной дороги введены дополнительные бригады для приема электровозов, выставки их из депо, полной пробы тормозов, которые передают готовый к отправлению локомотив с поездом штатной бригаде. Это позволило уменьшить количество сверхурочного времени работы ЛБ, а также продуктивно использовать рабочее время бригад, что привело к сокращению расходов, связанных с содержанием штата машинистов и их помощников.

Итак, как видно, проблема эффективной организации труда локомотивных бригад активно обсуждается и по настоящее время, поскольку совершенствование эксплуатационной работы железных дорог невозможно без улучшения системы труда и отдыха машинистов и их помощников.

Важную роль в соблюдении норм труда и отдыха играет график работы локомотивных бригад, который должен разрабатываться таким образом, чтобы рабочее время бригад использовалось как можно эффективнее, а именно - минимизировать время на вспомогательные операции, исключить, или по крайней мере сократить, непроизводительные простои в работе бригад (ожидание локомотива, ожидание отправления поезда, сверхурочное нахождение в пункте оборота и т.д.) и максимальное использование допустимой продолжительности непрерывной работы бригады. Также при разработке графика работы бригад депо следует придерживаться принципа равномерной загрузки бригад в течение месяца и года, а также предоставление отпусков в полном объеме.

С помощью предложенного в работе [45] комплекса программ можно определить необходимый списочный штат ЛБ, необходимый явочный штат, оптимальные размеры и сроки создания временных штатов. Прогноз разрабатывается на основе 3-х предыдущих лет с учетом предоставления «окон», использование ЛБ на вспомогательных работах. Следует отметить, что многие научные работы выполнялись во времена плановой экономики, а поскольку в Украине состоялся переход от плановой экономики к рыночной, особенностями которой является отсутствие жесткого планирования работы абсолютно всех предприятий, то нормативная база методик, изложенных в таких работах определенным образом потеряли свою актуальность в настоящее время.

Авторы работ [46, 47] задачу разработки графика работы бригад решают с помощью методов целочисленного программирования, а именно как «задачу коммивояжера». Следует подчеркнуть, что предложенные выше методики по созданию именных расписаний работы локомотивных бригад используются при движении грузовых поездов по «жесткими» нитями графику.

Методика определения потребности локомотивных бригад и прикрепление их к составам, предложенная в [48], базируется на прогнозе прибытия ЛБ на 3-6 ч, продолжительности технологических операций и отдыха бригад. Авторы данной методики отмечают, что крупные станции могут влиять на неравномерность потока и организацию использования ЛБ путем внедрения гибкого, вариантного плана формирования поездов, а именно формированием многогруппных поездов дальнего назначения. В зависимости от прогноза на 3-6 ч вперед решается целесообразность формирования многогруппных поездов дальнего назначения, позволяет подготовить поезд до момента готовности бригады к отправлению и уменьшить количество поездов пассажирами, а также продолжительность сверхурочного отдыха. Недостатком предложенной методики является то, что не рассмотрено влияние формирования многогруппных поездов на параметры работы станций переформирования составов. Также следует отметить, что эта методика используется при «жестком» ГРП.

Предложенный в [49] метод предполагает последовательное взаимосвязанное выполнения расчетов по составлению плана прикрепления локомотивов к составам поездов и ЛБ - к локомотивам на любой период оперативного планирования: 3-4 часа, на период сменного планирования и на сутки. Расчет графика работы бригад в пункте оборота выполняется в зависимости от наличия и продолжительности отдыха, а также на основе предварительно составленного графика отправления поездов, обеспеченных локомотивами. В работе [50] приведена методика суточного и текущего планирования работы ЛБ, которая на основе сведений о размерах движения, способах

обслуживания участков локомотивными бригадами, текущий поездной обстановки, наличия ЛБ в пункте оборота на начало периода планирования, запланированные «окна» позволяет рассчитать сменно-суточный план регулирования локомотивными бригадами, включая данные о явке бригад (по пунктам их проживания) в сутки с разбивкой по сменам, а также данные о возвращении бригад пассажирами и пересылку в пункты оборота. Текущий план регулирования ЛБ разрабатывается на шестичасовой период с 3:00 до его начала с интервалом 3 часа. Однако, в этой работе не определен порядок расчета моментов прибытия поездов на станции основного и оборотного депо.

Результаты приведенных выше научных работ можно разделить на две основные группы: методики, разработанные при Советском Союзе, во времена которого была плановая экономика с жестким контролем деятельности всех отраслей промышленности, а также методики, базирующихся на движении грузовых поездов по «жесткими» ниткам графика. Поскольку в Украине состоялся переход от плановой к рыночной экономике, а внедрение «жесткого» графика движения поездов находится на стадии обсуждения и теоретических исследований, то наиболее приемлемым способом совершенствования оперативной работы локомотивным парком является создание адаптивных систем для эффективного оперативного управления работой железных дорог, а также повышения степени их интероперабельности.

1.4 Анализ влияния системы организации пропуска поездов на работу локомотивного парка

Система организации пропуска грузовых поездов влияет как на организацию работы железной дороги в целом, так и на организацию работы локомотивов и локомотивных бригад, в том числе: чем стабильнее выполняется пропуск поездов на участках, тем лучше показатели использования подвижного состава и эффективность

использования рабочего времени бригад. При соблюдении ритмичности графика движения поездов обеспечивается своевременная постановка тягового подвижного состава на техническое обслуживание и текущий ремонт, увеличивается производительность локомотивов, улучшается использование допустимой продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад и обеспечивается своевременное и в полном объеме предоставление отдыха бригадам. Во времена существования эксплуатационной науки было разработано большое количество методик по оптимизации системы пропуска грузовых поездов и связанных с этим вопросов.

В работе [51] предложено регулировать количество локомотивов и локомотивных бригад за счет прогноза поездообразования. Отмечено, что при комплексном прогнозировании поездообразования на направлении или полигоне можно увеличить глубину прогноза до 15 часов. Прогноз составляется на основе информации о состоянии выполнения местной и грузовой работы. Усовершенствовать продвижение поездопотоков можно за счет концентрации оперативного планирования в руках одного диспетчера, причем диспетчер освобождается от ведения выполненного графика движения поездов, а только занимается планированием работы направления.

Как отмечено в [52, 53], одной из основных причин простоя поездов в ожидании локомотивов как на железных дорогах Украины, так и Российской Федерации, является отсутствие электровозов. Автор статьи [53] отмечает, что более эффективному использованию локомотивных бригад и быстрому продвижению вагонопотоков способствует формирование поездов повышенного веса и длины. При этом, недостатком предложенной методики является то, что имитационное моделирование выполняется только для одной станции, а не для направления в целом. В работе [54] отмечено, что ритмичность отправления поездов может быть обеспечена за счет повышения транзитности вагонопотоков, в том числе, и за счет оперативного изменения плана

формирования поездов технических станций. Предложенная методика предусматривает изменение технологии работы погрузочно-разгрузочных пунктов, примыкающих к станциям, эффективность работы которых не была исследована.

Одним из наиболее эффективных способов организации пропуска поездов с точки зрения рационального использования подвижного состава, планирования работы локомотивного парка, своевременной доставки грузов является применение «жесткого» графика движения поездов. Так, в [55] предлагается технология работы по «жесткому» ГРП, основанному на дискретном планировании грузовой работы станции и на управлении погрузкой. Эффективность предложенных решений, как отмечают авторы, заключается в повышении качества транспортного обслуживания за счет перемещения грузов в прямых поездах, исключения переработок на сортировочных станциях, значительному уменьшению простоя вагонов на технических станциях, увеличение скорости доставки и доставку по схеме «точно в срок», улучшении сохранности грузов. В [56] отмечено, что за счет ускорения продвижения вагонопотоков (организация технической маршрутизации, групповых поездов) улучшается использование локомотивного парка за счет минимального числа перецепок локомотивов на технических станциях.

В работе [57] авторы предлагают применять именные расписания для ЛБ, жесткие графики оборота для локомотивов, использовать технологию вариантного графика движения поездов для учета неравномерности поездо- и вагонопотоков. Отмечено, что уменьшение удельного времени нахождения на станции оборота и перецепки способствует увеличению среднесуточного пробега и уменьшению эксплуатируемого парка локомотивов. В [58] для устойчивой части поездопотоков на основе «жестких» ниток графика составляется график оборота локомотивов и именные расписания работы ЛБ. Для локомотивов, обслуживающих факультативные поезда (поезда, не охвачены «жестким» графиком движения), рассчитывают необходимый парк

локомотивов и контингент ЛБ, исходя из размеров движения по участкам дороги. Задачи прогнозирования и планирования поездопотоков авторами предлагается решать на базе экономических критериев, в том числе, рекомендуется разрабатывать график движения поездов не по железнодорожным участкам, а по направлениям продвижения грузопотоков.

В работе [59] рассмотрены основные положения разработанной на РЖД «Концепции интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию» (далее - Интегрированная технология), которая предусматривает организацию пропуска грузопотоков по «жесткому» графику движения в различных формах, в том числе, выделение «ядра», организации движения групповых поездов и технической маршрутизации по согласованным расписаниям, назначение технических маршрутов регулярного обращения между крупными промышленными центрами. Технологический график оборота локомотивов составляется на период планирования (декаду, месяц), а для ЛБ предусмотрены именные расписания. Авторы Интегрированной технологии отмечают, что организация движения грузовых поездов по расписанию на замкнутых направлениях позволит существенно ускорить продвижение вагонопотоков за счет ликвидации операций по смене локомотивов и ЛБ.

Во многих странах Европы движение грузовых поездов по расписанию является нормой работы железных дорог. Так, например, в Германии [60] грузоперевозчики подают заявку на использование определенной нитки графика, причем на законодательном уровне определено установление приоритетности заявок на нитку графика и, в крайнем случае, выделение нитки претенденту, который предложил большую цену. Причем, в расписании, кроме «жестких» ниток, предусмотрены перевозки по требованию, заявки на которые подаются за 48 часов или меньше.

На рынке транспортных услуг Швейцарии, кроме доминирующей Федеральной железной дороги (SBB), существует ряд других железнодорожных компаний,

предоставляющих транспортные услуги как своей инфраструктурой, так и инфраструктурой SBB, пользуясь правом открытого доступа [61]. Следует отметить, что составление расписания движения поездов, установление технических стандартов, а также системное руководство является обязанностью SBB.

На территории Европы существует тенденция к увеличению рынка лизинга локомотивов [62]. При этом, одной из возможностей увеличения производительности работы локомотивов и уменьшение числа ЛБ является движение локомотивов по международным маршрутам без смены на границах стран.

Итак, как отмечалось ранее, при организации пропуска грузовых поездов по «жесткими» ниткам графика существенно улучшаются показатели использования локомотивного парка, уменьшаются сроки доставки грузов и улучшаются условия доставки грузов по технологии «точно в срок» [63]. Однако, переход на эту систему организации движения поездов требует организационных изменений работы железнодорожного транспорта на всех уровнях, начиная с технологии работы технических станций, локомотивных депо и других структур, заканчивая планированием работы на уровне Укрзализныци. Конечно, этот процесс требует, как организационных усилий, создания нормативно-правовой базы, так и существенных материальных затрат, а также может быть внедрен в течение значительного периода времени.

1.5 Постановка задачи исследования

Как показывают исследования, от 35% до 45% общей величины оборота вагона составляют простои на технических станциях. Кроме того, наибольшее влияние на величину оборота вагона (около 61%) имеет именно простой на технических станциях. За годы независимости средний простой вагонов на одной технической станции увеличился с 5,3 ч. в 1992 г. до 10,11 ч. в 2014 г., то есть почти вдвое. В связи с этим, задача снижения простоев на технических, и, в первую очередь, сортировочных, станциях всегда была достаточно актуальной и требовала эффективных методов решения.

Продолжительность нахождения вагонов на технических станциях включает время на выполнение собственно технологических операций и время ожидания выполнения этих операций. Для сокращения продолжительности нахождения вагонов на технических станциях, в первую очередь, необходимо уменьшить непродуктивные простои в ожидании операций за счет совершенствования технологии работы станций и участков. Одним из таких непродуктивных элементов простоя, имеющий существенное влияние на общее время нахождения вагонов на технических станциях, является ожидание готовыми к отправлению составами грузовых поездов подачи поездных локомотивов в приемо-отправочных парках.

Ожидание локомотивов готовыми к отправлению составами возникает из-за ряда причин:

- выявление неисправностей у прибывшего локомотива, что ведет к задержке его отправления или необходимости возвращения в локомотивное депо для проведения ремонтных работ;
- отсутствие локомотивных бригад из-за недостатка штата машинистов и их помощников;
- ожидание локомотивов и/или локомотивных бригад, возникающее ввиду неэффективного планирования их работы.

Первые две причины можно устранить с помощью обновления и увеличения количества подвижного состава, а также путем создания хороших условий труда для машинистов и их помощников (повышение заработной платы, улучшение бытовых условий в пунктах оборота и т.д.). Учитывая сложную экономическую ситуацию в стране, обновление тягового подвижного состава может занять годы или, в худшем случае, десятилетия. Поэтому, наиболее приемлемым решением проблемы повышенных непродуктивных простоев подвижного состава является создание и применение

методик, позволяющих повысить качество планирования работы локомотивного парка.

Таким образом, предметом исследования является процесс эксплуатации парка грузовых локомотивов на железнодорожных направлениях.

Объект исследования – взаимосвязь качества планирования работы парка грузовых локомотивов и показателей работы железных дорог.

Цель исследования – повысить интероперабельность железных дорог за счет уменьшения простоя составов в ожидании подачи исправного тягового подвижного состава.

Поставленная цель достигается в результате решения следующих задач:

- анализ проблемы совершенствования работы локомотивного парка;
- анализ современных условиях функционирования парка грузовых локомотивов;
- исследования процесса движения поездов между техническими станциями;
- разработка процедуры оперативного планирования работы локомотивного парка на железнодорожном направлении;
- оценка эффективности разработанной процедуры оперативного планирования работы локомотивного парка.

2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА УКРАИНЫ

2.1 Анализ текущего состояния локомотивного парка

По состоянию на 01.01.2020 г. в подчинении Главного управления локомотивного хозяйства Укрзализныци (УЗ) является 47 основных, 38 оборотных и 3 ремонтные предприятия [5], которые выполняют следующие виды работ:

- перевозку груза и пассажиров локомотивами в пределах участков обслуживания;
- экипировку локомотивов;
- выполнение текущего ремонта ТР-1, ТР-2, ТР-3;
- выполнение технического обслуживания ТО-2, ТО-3.

В инвентарном парке Укрзализныци по состоянию на сентябрь 2018 года насчитывается 3566 локомотивов [64], из которых 1258 - маневровые тепловозы, 550 пассажирских и 1758 грузовых локомотивов (рис. 2.1).

Локомотивы, шт

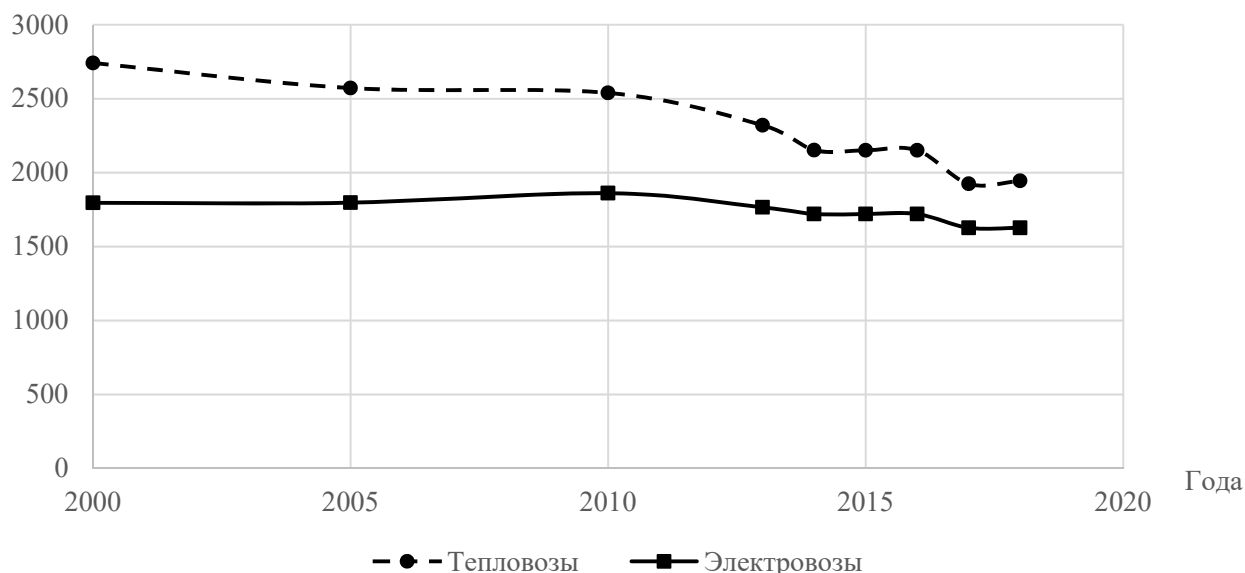


Рисунок 2.1 Парк локомотивов Украины

Как видно из рисунка 2.1, парк локомотивов Украины имеет тенденцию к уменьшению. Кроме того, следует отметить, что износ электровозов составляет 94,4%, тепловозов – 98,3%; из общего инвентарного парка локомотивов только 190 единиц или 5,3% младше 25 лет [65].

Следует отметить, что техническое состояние локомотивов влияет не только на стоимость содержания и ремонта тягового подвижного состава, но и на срок доставки грузов, поскольку из-за недостатка или неисправности локомотива, готовый к отправлению состав может простаивать в ожидании подачи тягового подвижного состава; при этом, продолжительность ожидания готовыми к отправлению составами поездных локомотивов может достигать 1,5 ч [66].

Уменьшить непродуктивный простой грузовых поездов на технических станциях Украины, в том числе на пунктах стыкования, можно двумя путями:

1. устранить недостаток локомотивов путем приобретения недостающих единиц тягового подвижного состава или капитального обновления существующих электровозов и тепловозов;

2. улучшить качество планирования работы локомотивов, обеспечив рациональное распределение существующего парка грузовых локомотивов. Данная мера повлечет за собой, кроме того, сокращение непродуктивного простоя поездов на технических станциях, а также снизит продолжительность простоя локомотивных бригад в ожидании локомотива.

Ввиду недостатка финансирования железных дорог Украины, а также спада экономики нашей страны, процесс закупки необходимого числа локомотивов может растянуться на годы. При этом, процесс улучшения качества планирования подвода локомотивов позволит не только снизить продолжительность непродуктивных простоев грузовых поездов на технических станциях, но и улучшить степень интероперабельности железных дорог Украины.

2.2 Существующая технология планирования работы локомотивного парка и ее недостатки.

2.2.1 Нормативное обеспечение планирования работы локомотивного парка

В настоящее время технология управления локомотивным парком в Украине регламентируется рядом нормативных документов [67-70]. Согласно Инструкции по оперативному планированию поездной и грузовой работы на железных дорогах Украины № СД-00-52 [67], оперативное планирование поездной и грузовой работы предусматривает разработку суточных и сменных планов работы Укрзализныци, дорог, дирекций железнодорожных перевозок (далее дирекций) и станций.

Исходными данными для составления оперативного плана на всех уровнях являются:

- нормы технического плана;
- график движения и план формирования поездов;
- технологические нормы на обработку поездов, вагонов и грузовые операции;
- оперативная информация о поездной и грузовой работе и наличие вагонных парков;
- специальные задачи Укрзализныци;
- текущее поездное положение;
- заявки грузоотправителей на подачу вагонов под погрузку;
- план маршрутизации;
- информация из соседних железных дорог, дирекций и станций о подходе поездов и вагонов, а также о предполагаемой передаче поездов и вагонов по стыкам;
- прогнозы экономически обоснованных вариантов и показателей работы на запланированные сутки, полученных из информационных систем.

2.2.2 Планирование необходимого количества локомотивов при оперативном планировании поездной и грузовой работы

План регулирования локомотивного парка разрабатывается отделом перевозок в тех случаях, если участок обращения локомотивов полностью размещается в пределах дирекции. На участках обращения локомотивов большой протяженности в пределах нескольких дирекций план разрабатывается службой перевозок железной дороги. При этом порядок определения в сменно-суточном плане дирекции потребного парка локомотивов и локомотивных бригад сводится к следующему.

Эксплуатируемый локомотивный парк грузового движения по основным депо и участкам обращения устанавливается, исходя из полного обеспечения поездной и местной работы. Сейчас эксплуатируемый парк локомотивов в сутки рассчитывается по коэффициентам потребности локомотивов на пару поездов на участках вращения [71]:

$$M_{ек} = K_{л} n , \quad (2.1)$$

где $K_{л}$ -коэффициент потребности локомотивов;

n - количество пар поездов на участке.

Коэффициент потребности локомотивов определяется в дирекции железнодорожных перевозок и характеризует количество локомотивов, необходимых для обслуживания одной пары поездов на некотором участке, и рассчитывается как

$$K_{л} = \frac{\theta_{л}}{24}, \quad (2.2)$$

где $\theta_{л}$ - оборот локомотива, определяющийся как

$$\theta_{л} = \frac{2l}{v_{уч}} + \sum t_{см} + t_{об} + t_{ос}, \quad (2.3)$$

где l - длина участка;

$v_{уч}$ - участковая скорость;

$\sum t_{см}$ - общий простой локомотива на станциях смены локомотивных бригад внутри участка вращения;

$t_{об}, t_{ос}$ - соответственно простой локомотива на станциях оборотного и основного депо.

Общий эксплуатируемый парк локомотивов определяется как сумма потребности локомотивов на всех участках вращения:

$$M_{ек}^{заз} = \sum K_{ли} n_i. \quad (2.4)$$

где $K_{ли}$ - коэффициент потребности локомотивов на i -м участке;

n_i - количество пар поездов на i -м участке.

В суточных планах задачи на регулирование локомотивным парком устанавливается на половину суток, а в необходимых случаях по 6-часовым периодам, исходя из ожидаемого выполнения размеров движения в текущие сутки или в половину суток и плана на следующие сутки.

Порядок определения требуемого парка локомотивов и локомотивных бригад при сменно-суточном планировании работы железных дорог и Укрзализныци в целом аналогичен порядку, приведенного для дирекций железнодорожных перевозок.

При этом анализируется выполнение следующих показателей работы локомотивного парка при сменно-суточном планировании работы Укрзализныци (железнодорожной):

- эксплуатируемый парк локомотивов на УЗ (железной дороги) и на удлиненных участках обращения;
- количество локомотивов, отправляемых резервом на другие дороги, а также тех, пересылаемых между участками вращения;
- ремонтный парк локомотивов, дата и время возвращения локомотивов по выделенным депо приписки для выполнения ремонтов.

2.2.3 Организация работы и учет рабочего времени локомотивных бригад

В настоящее время расчет необходимого числа локомотивных бригад и планирование их работы выполняется ответственным работником дирекции в сутки вручную на основе данных о количестве поездов, которые будут переданы и приняты по стыкам дирекций и железных дорог, а также с учетом объемов местной работы. Эти данные передаются нарядчикам локомотивных депо, которые сопоставляют необходимое количество бригад с запланированным в депо числом явок в сутки. Если эти величины не совпадают, нарядчик или вызывает дополнительные бригады или отменяет лишнее количество бригад. Моменты явок бригад определяются согласно графику движения поездов с учетом выполнения необходимых технологических операций с момента выхода бригады к работе до отправления поезда. Если количество необходимых бригад меньше максимального числа явок, то вызов бригад не планируется на нитки графика, которые используются меньше всего. Обоснование выбора ниток графика для планирования явки бригады базируется на анализе частоты использования той или иной нитки. Однако, как показывает практика, не является редкостью случаи ожидания поездами локомотивных бригад и наоборот, что приводит к росту эксплуатационных расходов, связанных с простоем вагонов, увеличением штата локомотивных бригад и, соответственно, к увеличению расходов на оплату труда бригад.

Согласно [68] работа локомотивных бригад организуется, как правило, по

именным графикам или безвызовной системой. Остальные бригады, а также в случаях нарушения работы по графикам, назначаются на работу по вызову. Способы вызова бригад устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка. Локомотивные бригады для поездов, планируемых к отправлению на нитки графика движения, не вошедшие в именные графики и не охваченные системой без вызова, вызываются на каждую нитку. Время вызова устанавливается на каждый ожидаемый (следующий) 4- и 6-часовой период.

Число явок локомотивных бригад в пунктах их приписки должно соответствовать запланированным размерам движения поездов на участках и пересылке локомотивов резервом. Время явки локомотивных бригад, работающих по расписаниям или на основе системы без вызова, определяется устойчивыми нитками графика, которые устанавливаются по данным статистического анализа фактически выполненных размеров движения с учетом сезонных и ежесуточных колебаний вагонопотоков.

По каждому пункту явки локомотивных бригад начальником дирекции железнодорожных перевозок по согласованию с районными профсоюзными организациями и с учетом предложений локомотивных бригад должна быть установлена граница допустимого времени нахождения бригады на работе с момента явки, по окончании которого запрещается отправление ее в поездку.

Время следования работников локомотивных бригад от места постоянной работы к пункту (станции), предназначенному для приема локомотива (поезда), а также время возвращения к месту постоянной работы после сдачи локомотива (поезда), если они не приняты на этих пунктах на постоянную работу, включается в рабочее время, а в продолжительность непрерывной работы не входит.

Продолжительность непрерывной работы локомотивных бригад больше 7:00, но не более 12:00, устанавливается по соглашению коллективов локомотивных бригад начальником железной дороги и профсоюзными организациями на уровне железных

дорог. Работа с двойным оборотом локомотивных бригад с поездами мимо основного пункта (основное депо, пункт смены локомотивных бригад по месту жительства), а также изменение режима работы в период действия графика, вводятся таким же порядком. Продолжительность непрерывной работы устанавливается в зависимости от графика движения поездов и вариантных графиков, разрабатываемых в связи с предоставлением «окон» в пределах установленных плеч обслуживания во всех видах движения с учетом затрат рабочего времени.

Работникам локомотивных бригад в основном пункте (основное депо, пункт смены локомотивных бригад по месту жительства членов бригады и т.п.) отдых предоставляется после каждой поездки в оба конца. Продолжительность этого отдыха определяется следующим образом [68]:

$$T_{\text{отд}} = t_{\text{п}} K - t_{\text{отд. см.}}, \quad (2.5)$$

где $t_{\text{п}}$ - время, зачисленное за поездку в оба конца, ч;

K - коэффициент, характеризующий отношение количества часов отдыха в рабочие дни с количеством часов работы (для локомотивных бригад $K = 2,6$) [68];

$t_{\text{отд. см.}}$ - продолжительность отдыха в пункте смены локомотивных бригад за время поездки, ч.

Кроме отдыха в основном пункте, работникам локомотивных бригад предоставляется отдых в пункте смены, когда время непрерывной работы в оба конца не укладывается в установленную продолжительность непрерывной работы. Продолжительность этого отдыха (не более одного за поездку) должна быть не менее половины времени предшествующей работы и, как правило, не должна быть больше времени работы с момента явки в основном пункте до сдачи локомотива в основном пункте или в пункте оборота.

Минимальное сокращенное время отдыха в пунктах оборота согласовывается с коллективом локомотивных бригад, но продолжается не менее 3ч.

Начальниками дирекций, в случае согласия коллективов локомотивных бригад может увеличиваться минимальная продолжительность отдыха в пунктах оборота.

Время отдыха локомотивных бригад в пунктах оборота больше половины времени предшествующей работы и во всех случаях больше 6ч, считается рабочим временем, которое в непрерывную продолжительность рабочего времени локомотивных бригад не включается и при подсчете ненормированного часов не учитывается.

Порядок составления графика оборота локомотивов и работы локомотивных бригад пока регламентируется [69].

Исходными данными для составления графика оборота локомотивов и работы локомотивных бригад являются:

- график движения поездов;
- схемы обращения локомотивов и работы локомотивных бригад;
- нормы нахождения локомотивов и локомотивных бригад на технических станциях;
- периодичность направления локомотивов на техническое обслуживание ТО-2 и экипировки по пунктам оборота и перецепка.

Проанализировав данные технических станций Украины, можно сделать вывод, что количество бригад, которые вызываются дополнительно к плану или, поездки которых отменяются, зависит не столько от количества отправленных со станции поездов, а от неравномерности движения грузовых поездов и от качества оперативного планирования работы локомотивных бригад.

Также следует отметить, что на некоторых участках время в движении в течение поездки составляет чуть больше половины рабочего времени. Так, например, на

рис. 2.2 приведено распределение рабочего времени локомотивных бригад, работающих на направлении Нижнеднепровск-Узел - Пятихатки за 2018.



Рисунок 2. 2 Распределение рабочего времени локомотивных бригад на направлении Нижнеднепровск-Узел - Пятихатки за 2018

Как видно из рис.2.2, время нахождения бригады в движении не превышает 52% от общей продолжительности рабочего времени, стоянки на промежуточных станциях составляют 9%, остальное составляет нахождения в основном и оборотном депо, где бригада занята операциями по приему/сдаче локомотива. Отсюда можно сделать вывод о том, что существует определенный резерв времени работы бригады, за счет которого можно, например, увеличить плечи обращения локомотивных бригад.

2.2.4 Порядок составления графика оборота локомотивов и работы локомотивных бригад

Методика составления графика оборота локомотива зависит как от типа графика грузовых поездов на направлении, так и от количества поездов в четном и нечетном направлениях (рис. 2.3).

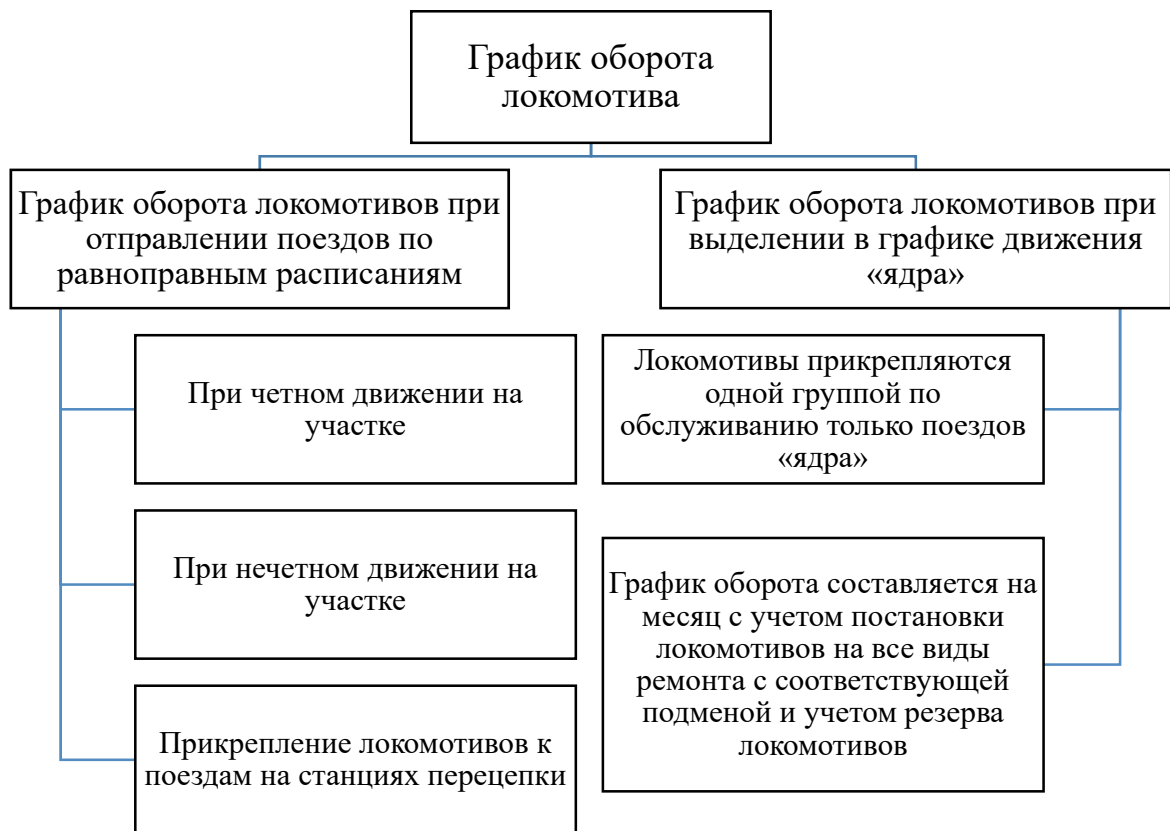


Рисунок 2.3 Условия выбора методики составления графика оборота локомотива

График оборота локомотивов при отправлении поездов по равноправным расписаниям базируется на методе отдельного прикрепления локомотивов по каждой станции оборота.

Прикрепление локомотивов к поездам на станциях оборота осуществляется следующим образом:

- при четном движении на участке, примыкающем к пункту оборота, локомотив от первого поезда, который прибыл за рассматриваемые сутки прикрепляется к ближайшему обратному поезду через интервал времени, достаточный для проведения всех технологических операций (заданная технологическая норма). По такому принципу (первый прибыл - первый отправился) прикрепляются последовательно все прибывающие локомотивы;

- при нечетном движении, когда на станцию оборота прибывает больше поездов, чем отправляется в обратном направлении, прикрепление локомотивов начинается с обеспечения последнего поезда, который отправляется обратно за планируемые сутки, к нему прикрепляется первый локомотив, который прибыл накануне, с соблюдением технологической нормы времени. Те локомотивы, которые не были прикреплены к поездам, отправляются резервом на станцию основного депо;

- при нечетном движении, когда на станцию оборота прибывает меньше поездов, чем отправляется в обратном направлении, прикрепление начинается как при четном движении с начала суток: прикрепляются все локомотивы, прибывшие с поездами. Обратные поезда, оставшиеся без локомотивов, обеспечиваются локомотивами, которые подсылаются резервом с поездами с таким расчетом, чтобы для этих локомотивов в пункте оборота выдерживалась технологическая норма простоя;

- прикрепление локомотивов к поездам на станциях перецепки, расположенных внутри участка обращения осуществляется по принципу "первый пришел - первый отправился": локомотив от первого поезда, который прибыл в расформирование за планируемые сутки прикрепляется к поезду своего формирования, который отправляется со станции первым в попутном или встречном направлении. При этом должен соблюдаться соответствующий технологический норматив простоя. При наличии двух поездов обоих направлений локомотив должен отправляться в попутном направлении. При недостаточном количестве локомотивов на станцию подсылаются резервные тяговые единицы в направлении общего резервного пробега.

1. При выделении в графике движения поездов стабильной части (ядра) оборот локомотивов, обслуживающих это "ядро", должен разрабатываться с выполнением таким условиям:

- локомотивы прикрепляются одной группой по обслуживанию только поездов «ядра»;

- график оборота рассчитывается на месяц, с учетом постановки локомотивов на все виды плановых осмотров и ремонтов, с их соответствующей заменой;

- для обеспечения надежности выполнения графика оборота выполняется обязательное резервирование парка локомотивов.

2. Надежное обслуживание поездов («ядра») на практике обеспечивается при наличии резерва парка на участке обращения, если он не менее:

$$\alpha_{\text{ря}} = \frac{0,02}{4 - 0,035 n_{\text{я}}}, \quad (2.6)$$

где $n_{\text{я}}$ - средневзвешенные размеры движения, охваченные «ядром».

Резервное количество локомотивов определяется по формуле:

$$\Delta M_{\text{я}} = \alpha_{\text{ря}} M_{\text{я}}, \quad (2.7)$$

где $M_{\text{я}}$ – парк локомотивов, предназначенный для обслуживания поездов «ядра» без учета резерва.

На первом этапе следует разработать график оборота локомотивов, обслуживающих поезда «ядра» без учета резерва, определить величину парка локомотивов $M_{\text{я}}$, определить резерв, разделить его по станциям оборота и перецепки пропорционально количеству этих операций.

На втором этапе необходимо выполнить прикрепление локомотивов на станциях оборота и перецепки с учетом наличия резервных локомотивов.

Разработанный таким образом график оборота локомотивов является технологической основой оперативной работы локомотивов, обслуживающих «ядро» поездов (ТГЛЯ).

3. Для каждого пункта оборота локомотивных бригад составляется график их работы следующим образом:

Устанавливается время готовности бригад к отправлению по пункту их оборота:

- 1 категории (без отдыха в пункте оборота):

$$t_{\text{гот}} = t_{\text{п}} + t_{\text{техбр}}; \quad (2.8)$$

- 2 категории (с отдыхом в пункте оборота):

$$t_{\text{гот}} = t_{\text{п}} + t_{\text{збр}} + 0,5 t_{\text{р}} + t_{\text{пбр}}, \quad (2.9)$$

где $t_{\text{п}}$ - момент прибытия поезда, ч;

$t_{\text{техбр}}$ - продолжительность подготовительно-заключительных работ бригады по пункту оборота, ч;

$t_{\text{сбр}}$ - продолжительность работы бригады от момента прибытия до сдачи локомотива, ч;

$t_{\text{р}}$ - фактическая продолжительность работы локомотивной бригады на участке от момента явки до момента сдачи локомотива в пункте оборота, ч;

$t_{\text{пбр}}$ - продолжительность работы локомотивной бригады по пункту оборота от момента явки до отправления с поездом, ч.

Имея данные о моментах готовности бригад к отправлению по пункту их оборота и времени отправления поездов, можно выполнить непосредственное прикрепление бригад к поездам.

4. Составление графика оборота локомотивов и работы локомотивных бригад может быть осуществлено с применением вычислительной техники с использованием

программного обеспечения, разработанного на ГИВЦ Укрзализныци, осуществляющее расчет показателей использования локомотивов и работы локомотивных бригад с выдачей форм ЦДЛ-1 и ЦДЛ- 2. Расчет осуществляется на основе расписания движения поездов из базы данных и неизменяемой информации, предоставленной локомотивными службами дорог (плечи оборота локомотивов и локомотивных бригад, нормативное время простоя в депо оборота и накладное время для работы локомотивных бригад).

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

Как было отмечено ранее, дефицит исправного подвижного состава Украины достигает значительных масштабов, что влечет за собой возникновение непродуктивных простоев составов грузовых поездов в ожидании магистральных локомотивов. Лучшим способом уменьшения таких простоев с экономической точки зрения является совершенствование методов управления парком локомотивов, что, в том числе, повысит степень интероперабельности грузовых перевозок.

Для уменьшения простоя готовых к отправлению составов, а также локомотивов с прикрепленными к ним локомотивными бригадами, необходимо усовершенствовать методику оперативного планирования локомотивного парка. В свою очередь, это повлечет за собой сокращение затрат, связанных с простоем подвижного состава на технических станциях Украины.

3.1 Математическая постановка задачи распределения локомотивов к грузовым поездам

Одним из основных этапов разработки оперативного плана работы локомотивного парка является определение наиболее рациональной схемы прикрепления локомотивов, бригад и составов грузовых поездов друг к другу, а также поездов к ниткам графика. Отметим, что этой проблеме посвящено достаточно много работ; например, в работах [72, 73] состав сначала обеспечивается локомотивом, а затем назначается бригада. В работе [74] данная проблема рассматривается при условии технологии движения поездов по расписанию, где нитка графика движения сначала обеспечивается локомотивом и бригадой, а затем прикрепляется состав. Научная работа [75] посвящена оптимизации работы локомотивных бригад при назначении их на поезда (составы с локомотивами).

Для усовершенствования процесса оперативного планирования работы локомотивного парка в статье [76] используются многокритериальные нечеткие модели задачи об оптимальном назначении, где в качестве критериев используются экономическая оценка и оценка эффективности назначения локомотива на поезда; при этом, не учитывается такой показатель как приоритет отправления поезда с технической станции. В научной работе [77] оптимизация работы локомотивов рассматривается как «задача о назначении», где локомотивы с бригадами назначаются на составы, при этом, не учитываются локомотивы на подходах к станции, а также отсутствует методика прикрепления бригад к локомотивам.

Исходными данными задачи являются:

- прогнозные моменты готовности локомотивов и бригад к выполнению ТО-1, а также прогнозные моменты готовности составов различных категорий к отправлению;
- сведения о наличии приоритетных составов и локомотивов, простой которых в ожидании отправления должен быть минимален;
- график движения поездов на направлениях.

В дипломной работе постановка задачи управления парком грузовых локомотивов сводится к следующему: пусть есть множества локомотивов с прикрепленными локомотивными бригадами $\mathbf{L} = \{L_1, L_2, \dots, L_i\}$, $i = 1, \dots, n$ и составов $\mathbf{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_j\}$, $j = 1, \dots, m$, где n, m - количество локомотивов с назначенными бригадами и составов за период планирования. В зависимости от того, как сочетаются отдельные элементы этих множеств, можно получить простой подвижного состава (локомотива с прикрепленными ранее бригадами или составов) t_{ij} . Если i -ый локомотив с бригадой L_i отправляется с j -м составом S_j , то соответствующая переменная x_{ij} ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$) принимает значение $x_{ij} = 1$, иначе $x_{ij} = 0$. Необходимо с учетом ограничений найти такие сочетания (назначить локомотивы с бригадами на составы), при которых общий

простой с учетом соблюдения всех требований будет минимален, то есть

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

с учетом ограничений:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n, \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, m, \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, \quad (3.4)$$

где t_{ij} – продолжительность непродуктивного простоя подвижного состава в случае назначения;

x_{ij} – переменная, характеризующая назначение i -го локомотива с бригадой на j -ый состав: $x_{ij}=1$, если i -й локомотив с бригадой назначен на j -ый состав, в противном случае - $x_{ij}=0$.

Ограничение (3.2) требует, чтобы каждый локомотив с бригадой был назначен только на один состав, ограничение (3.3) – на каждый состав назначен только один локомотив с бригадой.

Если $n \neq m$, в задачу необходимо ввести «фиктивные» локомотивы (если $n < m$) или «фиктивные» составы (если $m < n$) для того, чтобы матрица простоев была квадратной. При этом для фиктивных локомотивов с бригадами и составов $t_{ij} = \infty$.

Задача составления плана работы локомотивного парка сводится к решению «задачи о назначениях», которая может быть решена одним из известных способов: венгерским, методом потенциалов, с помощью приложения MS Excel и т.д.

Задача о назначениях - одна из задач линейного программирования. Можно считать, что это частный случай транспортной задачи, для которой мощности поставщиков и потребности клиентов равны 1 (и обычно совпадает размерность). Если на примерах, это может быть задача назначения работников на должности (с достижением максимальной эффективности, или, может, минимальных затрат на зарплату), назначение машин на производственные линии и т.п., при этом один исполнитель (человек, машина, орудие и т.п.) может выполнять только одну работу.

Так же как для решения транспортной задачи был модифицирован симплекс-метод и разработан метод потенциалов, так и для задачи о назначениях был создан более подходящий (более краткий) метод решения, так называемый венгерский метод.

Результатом решения поставленной задачи является множество сформированных поездов, готовых к отправлению с технических станций $\mathbf{P} = \{ \{L_1; S_1\}, \{L_2; S_2\}, \dots, \{L_i; S_j\} \}$, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$.

3.2 Определение моментов готовности локомотивов и составов

Для расчета простоя подвижного состава t_{ij} пары $\{L_i; S_j\}$ необходимо знать моменты готовности локомотивов с бригадами и составов. Прогнозное время готовности локомотива с назначенной ранее бригадой рассчитывается в зависимости от необходимости прохождения локомотивом ТО-2 или других видов ремонта, а также от наличия отдыха или смены локомотивных бригад. Порядок расчета прогнозных моментов готовности локомотивов с бригадами приведен на рис. 3.1.

Как видно из рис. 3.1, в дипломной работе рассматривается несколько вариантов состояний локомотива с бригадой:

1. По прибытию поезда на техническую станцию локомотив не нуждается в проведении какого-либо технического обслуживания или ремонта, а время работы локомотивной бригады позволяет ей сразу приступить к следующей поездке без отдыха

в пункте оборота. Тогда прогнозное время готовности локомотива $T_{\text{гот}}^{\text{лок}}$ рассчитывается на основании прогнозного момента прибытия поезда на станцию $T_{\text{приб}}$, с учетом продолжительности выполнения операций по прибытию поезда до момента отцепления поездного локомотива $t_{\text{тех опер}}^{\text{приб}}$, а также учитывается время на передвижение локомотива по станции на путь отправления следующего состава $t_{\text{передв}}$, то есть

$$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}}^{\text{приб}} + t_{\text{передв}}. \quad (3.5)$$

Расчет моментов готовности локомотивов с бригадами	
сразу под состав	$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}} + t_{\text{передв}}$
отдых локомотивной бригады	$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}} + t_{\text{передв}} + t_{\text{отд}}$
смена локомотивной бригады	$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = \max \left\{ \begin{array}{l} T_{\text{явки}} + t_{\text{ТО-1}}; \\ T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}} + t_{\text{передв}} + t_{\text{ТО-1}} \end{array} \right\}$
ТО -2 или другие виды ремонта	$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{явки}} + t_{\text{ТО-1}} + t_{\text{передв}}$

Рис. 3.1 – Расчет прогнозных моментов готовности локомотивов с бригадами

2. По прибытию поезда на техническую станцию локомотивной бригаде необходим отдых, а локомотив не нуждается в проведении какого-либо технического обслуживания или ремонта. Тогда прогнозное время готовности локомотива $T_{\text{гот}}^{\text{лок}}$ рассчитывается на основании прогнозного момента прибытия поезда на станцию $T_{\text{приб}}$, с учетом продолжительности выполнения операций по прибытию поезда до момента

отцепления поездного локомотива $t_{\text{тех опер}}^{\text{приб}}$, времени на передвижение локомотива по станции $t_{\text{передв}}$, а также времени отдыха локомотивной бригады $t_{\text{отд}}$, то есть

$$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}}^{\text{приб}} + t_{\text{передв}} + t_{\text{отд}} \cdot \quad (3.6)$$

3. По прибытию поезда на техническую станцию необходима смена локомотивной бригады, а локомотив может сразу следовать в следующую поездку. Тогда прогнозируемое время готовности локомотива с локомотивной бригадой $T_{\text{гот}}^{\text{лок}}$ определяется как одно из двух событий, которое наступает позже всего (время явки следующей бригады или прибытие на станцию предыдущей):

$$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = \max \left\{ \begin{array}{l} T_{\text{явки}} + t_{\text{ТО-1}}; \\ T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}}^{\text{приб}} + t_{\text{передв}} + t_{\text{ТО-1}} \end{array} \right\}, \quad (3.7)$$

где $T_{\text{явки}}$ - время явки следующей локомотивной бригады, определяется дежурным локомотивного депо;

$t_{\text{ТО-1}}$ - время выполнения бригадой комплекса операций при приеме/сдаче локомотива.

4. По прибытию поезда на техническую станцию локомотив нуждается в проведении какого-либо технического обслуживания или ремонта. Тогда прогнозируемое время готовности локомотива $T_{\text{гот}}^{\text{лок}}$ рассчитывается исходя из времени явки локомотивной бригады уже на готовый к поездной работе локомотив $T_{\text{явки}}$, а также с учетом продолжительности передвижения локомотива с депо на путь отправления очередного состава $t_{\text{передв}}$:

$$T_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{явки}} + t_{\text{ТО-1}} + t_{\text{передв}} \cdot \quad (3.8)$$

Следует отметить, что прогнозный момент прибытия поезда на станцию $T_{\text{приб}}$ берется из АСК ВП УЗ-Е, продолжительность выполнения операций по прибытию поезда до момента отцепления поездного локомотива $t_{\text{тех опер}}^{\text{приб}}$, а также время на передвижение локомотива по станции определяется на основании технологического процесса работы станции. Время явки локомотивных бригад определяется дежурным депо по графику работы бригад, а продолжительность выполнения ТО-1 - из нормативных документов локомотивного депо.

Прогнозное время готовности состава к отправлению определяется в зависимости от категории грузового поезда (см. рис. 3.2).



Рис. 3.2 – Расчет прогнозных моментов готовности составов

Для транзитных поездов со сменой локомотива прогнозный момент готовности состава определяется на основании предполагаемого момента прибытия поезда на техническую станцию $T_{\text{приб}}$, а также с учетом продолжительности выполнения технологических операций $t_{\text{тех опер}}^{\text{тр/см}}$ по прибытию транзитного поезда:

$$T_{\text{гот}}^{\text{сост}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{тех опер}}^{\text{тр/см}} \cdot \quad (3.9)$$

Для грузовых поездов своего формирования момент готовности состава к отправлению определяется на основании прогнозного момента окончания формирования состава $T_{\text{ок форм}}$ с учетом продолжительности выполнения технологических операций $t_{\text{тех опер}}^{\text{св/форм}}$ для поездов соответствующей категории:

$$T_{\text{гот}}^{\text{сост}} = T_{\text{ок форм}} + t_{\text{тех опер}}^{\text{св/форм}} \cdot \quad (3.10)$$

Для определения моментов готовности составов прогнозные моменты прибытия грузовых поездов на станции берутся из АСК ВП УЗ-Е; продолжительности выполнения технологических операций с поездами разных категорий $t_{\text{тех опер}}^{\text{тр/см}}$, $t_{\text{тех опер}}^{\text{св/форм}}$ определяются из технологических процессов работы технических станций; прогнозные моменты готовности составов своего формирования $T_{\text{ок форм}}$ определяются маневровым диспетчером исходя из поездной обстановки на основании процесса накопления вагонов.

3.3 Методика расчета оптимального плана работы парка грузовых локомотивов

Конечной целью разработки плана работы парка грузовых локомотивов является такая последовательность прикрепления локомотивов с бригадами к составам, при которой продолжительность простоя подвижного состава минимальна (3.1), при этом соблюдены все требования к продолжительности работы локомотивов, бригад, а также учтены приоритеты по отправлению для составов грузовых поездов и локомотивов.

Для решения данной задачи необходимо составить матрицу простоя подвижного состава \mathbf{T} (табл.3.1), каждая клетка которой рассчитывается как

$$t_{ij} = \left| T_{\text{ГОТ}}^{\text{ЛОК}} - T_{\text{ГОТ}}^{\text{СОСТ}} \right|. \quad (3.11)$$

Таблица 3.1 - Матрица простоя подвижного состава **T**

Составы Локомотивы	S_1	...	S_j		S_m
L_1	t_{11}		t_{1j}		t_{1m}
...					
L_i	t_{i1}		t_{ij}		t_{im}
...					
L_n	t_{n1}		t_{nj}		t_{nm}

Следует отметить, что при формировании плана работы парка грузовых локомотивов возникают ситуации, когда у локомотивов или составов есть приоритет отправления по отношению к другим единицам подвижного состава: возможно, подходит время следующего технического обслуживания или ремонта локомотива, заканчивается непрерывное время работы локомотивной бригады или есть груз, который нуждается в срочной доставке грузополучателю. Такие случаи можно учесть, введя понятие ранга. Поскольку приоритет отправления может быть, как у локомотивов с бригадами, так и составов, то следует обозначить множества рангов для локомотивов $\mathbf{R} = \{r_1, r_2, \dots, r_g\}$, $g=1, \dots, w$, а также для составов $\mathbf{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_u\}$, $u=1, \dots, z$. Здесь наименьшее значение ранга имеет подвижной состав с наибольшей степенью приоритета отправления, наибольшее значение ранга у единиц, которые могут быть отправлены с технической станции в порядке очереди.

Для того, чтобы учесть приоритет отправления локомотивов с бригадами необходимо рассчитать коэффициент приоритетности $\mathbf{K} = \{k_1, k_2, \dots, k_p\}$, $p=1, \dots, w$.

$$k_p = \begin{cases} 0, & \text{если } r = \min r_g; \\ \frac{r_g - \min r_g}{\max r_g - \min r_g}; & \\ 1, & \text{если } r = \max r_g. \end{cases} \quad (3.12)$$

Аналогично коэффициенты приоритетности $\mathbf{H} = \{h_1, h_2, \dots, h_u\}$, $u=1, \dots, z$ рассчитываются и для составов:

$$h_u = \begin{cases} 0, & \text{если } f = \min f_u; \\ \frac{f_u - \min f_u}{\max f_u - \min f_u}; & \\ 1, & \text{если } f = \max f_u. \end{cases} \quad (3.13)$$

В дипломной работе предлагается формировать окончательную матрицу простоя \mathbf{T}^* с учетом приоритетов отправления подвижного состава. Для этого необходимо время простоя t_{ij} пары $\{L_i; S_j\}$ умножить на соответствующий коэффициент приоритетности.

Алгоритм расчёта матрицы простоя \mathbf{T}^* следующий:

- рассчитать матрицу простоя подвижного состава \mathbf{T} на основании моментов готовности локомотивов с бригадами и составов к отправлению по формуле (3.11);
- если подвижной состав не имеет приоритета в отправлении, матрица \mathbf{T}^* готова, иначе – рассчитываем коэффициенты приоритетности k_p и h_u по формулам (3.12) и (3.13), соответственно;
- перемножаем клетки матрицы \mathbf{T} на коэффициенты k_p и h_u следующим образом: если для пары $\{L_i; S_j\}$ имеется простой локомотива с бригадой в ожидании готовности состава, то время простоя t_{ij} умножается на коэффициент приоритетности k_p ; в противном случае – на коэффициент h_u .

В окончательной матрице простоя T^* с учетом приоритетов отправления значения t_{ij} клетки для подвижного состава, требующего скорейшего отправления с технической станции, будет равно 0 или уменьшено в соответствии с его рангом, что даст возможность лучшего подбора пары с целью сокращения его простоя.

После выполнения указанных выше шагов можно приступить к оптимизации плана работы локомотивного парка (рис. 3.3) с помощью одного из известных методов [78].

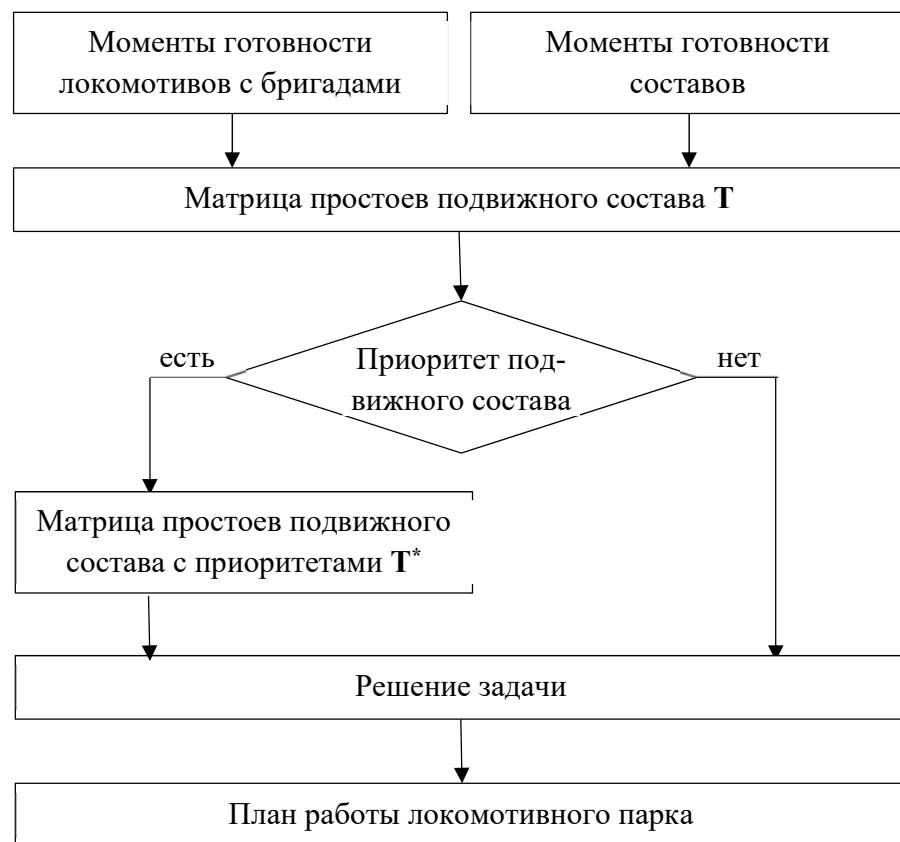


Рисунок 3.3 – Алгоритм получения плана работы локомотивного парка

Результатом решения данной задачи является такой план (планы) работы локомотивного парка, при котором общий простой подвижного состава – минимальный. Кроме того, учтены все ограничения и условия работы: периодичность выполнения

технического обслуживания и ремонта локомотивов, соблюдены требования к продолжительности непрерывной работы и отдыха локомотивных бригад, а также учтены приоритеты отправления с технических станций локомотивов и/или составов грузовых поездов.

Следует отметить, что в результате решения такой задачи может быть получено несколько вариантов плана работы локомотивного парка с минимальным простоем подвижного состава. Окончательный выбор плана подвязки локомотивов с бригадами к составам грузовых поездов выполняет оперативный диспетчерский персонал.

Таким образом, в дипломной работе предложена методика управления парком локомотивов, направленная на повышение степени интероперабельности грузовых перевозок за счет уменьшения их простоя на технических станциях.

4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПАРКА ГРУЗОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Для повышения степени интероперабельности железных дорог Украины необходима слаженная работа всех подразделений транспорта: вагонного, локомотивного хозяйств, диспетчерского персонала и других. В разделе 3 дипломной работы предложена методика управления парком локомотивов, результатом применения которой является уменьшение простоя подвижного состава и, как следствие, ускорение продвижения грузов по территории нашей страны.

Как было указано ранее, задача управления локомотивным парком сводится к решению «задачи о назначениях», где каждому локомотиву с бригадой назначается состав грузового поезда, готовый к отправлению после необходимых технологических операций в приемо-отправочном парке технической станции. Моменты готовности локомотива с бригадой определяются дежурным локомотивного депо, готовность состава - дежурным по парку или станционным диспетчером. Далее, используя приложение

MS Excel, необходимо выполнить решение указанной задачи.

Рассмотрим применение предложенной методики для одной из технических станций Украины при планировании работы локомотивного парка на период планирования 0:00-4:00. Из локомотивного депо поступили данные о прогнозных моментах готовности локомотивов с бригадами, представленные в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Прогнозные моменты готовности локомотивов с бригадами

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7
№ лок	202	101	102	103	205	105	106
$T_{\text{гот}}^{\text{лок}}$	00:28	01:47	02:02	02:45	03:05	03:26	03:41

Прогнозные моменты готовности составов разных категорий за первые 4 часа суток, полученные от диспетчерского персонала станции представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Прогнозные моменты готовности составов

№ з/п	1	2	3	4	5
№ сост	2002	3101	2001	3301	2201
$T_{\text{гот}}^{\text{сост}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14

Как видно, количество локомотивов с бригадами (n) и составов (m) не совпадают, поэтому необходимо добавить «фиктивные составы». Таким образом, матрица простоев подвижного состава T представлена в виде табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Матрица простоев подвижного состава T

			№ з/п	1	2	3	4	5	6	7
			№ сост	2002	3101	2001	3301	2201	Фиктивные	
			$T_{\text{гот}}^{\text{сост}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14		
№ з/п	№ лок	$T_{\text{гот}}^{\text{лок}}$								
1	202	00:28		1:00	2:14	2:36	2:39	2:46	100	100
2	101	01:47		0:19	0:55	1:17	1:20	1:27	100	100
3	102	02:02		0:34	0:40	1:02	1:05	1:12	100	100
4	103	02:45		1:17	0:03	0:19	0:22	0:29	100	100
5	205	03:05		1:37	0:23	0:01	0:02	0:09	100	100
6	105	03:26		1:58	0:44	0:22	0:19	0:12	100	100
7	106	03:41		2:13	0:59	0:37	0:34	0:27	100	100

Как видно в клетках матрицы T для фиктивных составов заданы большие значения простоев, чтобы исключить их из оптимального плана.

В дипломной работе решать указанную задачу предлагается с помощью надстроек в MS Excel. Для этого необходимо в меню *Файл* перейти на пункт *Параметры*, а затем в пункте *Настройки* выбрать *Поиск решения*. Для нахождения оптимального плана работы локомотивного парка на листе в MS Excel необходимо создать

несколько таблиц: матрицу простоя подвижного состава T , матрицу простоя T^* с учетом приоритетности локомотивов и/или составов, а также матрицу, в которой будет происходить поиск оптимального решения задачи.

Пусть локомотивы № 1 и №3 имеют приоритет по отправлению с технической станции ($r_1=1$; $r_3=1$), остальные локомотивы следуют в порядке очереди ($r_g=2$). Кроме того, состав № 2 также должен отправиться со станции с минимальным простоем ($f_2=1$), остальные – в порядке очереди ($f_u=2$).

Для того, чтобы из матрицы T получить матрицу с приоритетами T^* (рис.4.1), необходимо первую дополнить рангами локомотивов с бригадами r_g и/или составов f_u и рассчитать соответствующие коэффициенты приоритетности k_p и h_u , затем выполнить корректировку t_{ij} по методике, описанной в п. 3.3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
32						№ з/п	1	2	3	4	5	6	7
33						№ сост	2002	3101	2001	3301	2201	Фиктивные	
34						$T_{\text{сост}}^{\text{прост}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14		
35	R	K	№ з/п	№ лок	$T_{\text{лок}}^{\text{прост}}$								
36	1	0	1	202	00:28		0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	100	100
37	2	1	2	101	01:47		0:19	0:55	1:17	1:20	1:27	100	100
38	1	0	3	102	02:02		0:34	0:00	0:00	0:00	0:00	100	100
39	2	1	4	103	02:45		1:17	0:03	0:19	0:22	0:29	100	100
40	2	1	5	205	03:05		1:37	0:23	0:01	0:02	0:09	100	100
41	2	1	6	105	03:26		1:58	0:44	0:22	0:19	0:12	100	100
42	2	1	7	106	03:41		2:13	0:59	0:37	0:34	0:27	100	100

Рисунок 4.1 – Матрица простоев подвижного состава T^* с учетом приоритетов отправления локомотивов со станции

Как видно, изменения произошли только для тех локомотивов, которые имеют приоритет отправления с технической станции.

Следующий шаг в определении оптимального плана работы парка грузовых локомотивов – создание таблицы с переменными x_{ij} (рис. 4.2), а также расчет целевой функции в ячейке F58 как сумма произведений ячеек t_{ij} и x_{ij} с помощью формулы СУММПРОИЗВ(G36:M42;G49:M55).

После подготовки всех таблиц необходимо воспользоваться надстройкой *Поиск решения*. Для этого нужно перейти на вкладку *Данные*, затем *Поиск решения*. В открывшемся окне (рис.4.3) необходимо указать ячейку целевой функции и в какую сторону ее нужно оптимизировать (максимум, минимум, до значения); указать ячейки переменных, а также ограничения, указанные в п.3.1. После этого следует выбрать метод решения: данную задачу необходимо решать симплекс методом.

F58												
=СУММПРОИЗВ(G36:M42;G49:M55)												
	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
45				№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	Всего
46				№ сост	2002	3101	2001	3301	2201	Фиктивные		
47				$T_{\text{сост}}^{\text{сост}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14			
48	№ з/п	№ лок	$T_{\text{лок}}^{\text{лок}}$									
49	1	202	00:48		1	1	1	1	1	1	1	7
50	2	101	01:27		1	1	1	1	1	1	1	7
51	3	102	02:02		1	1	1	1	1	1	1	7
52	4	103	02:45		1	1	1	1	1	1	1	7
53	5	205	03:05		1	1	1	1	1	1	1	7
54	6	105	03:26		1	1	1	1	1	1	1	7
55	7	106	03:54		1	1	1	1	1	1	1	7
56	Всего				7	7	7	7	7	7	7	
57												
58				1400,79								

Рисунок 4.2 – Матрица переменных x_{ij}

После введения всех ограничений и условий можно выполнять поиск решения, результатом которого является таблица переменных, где в каждой строке и столбце указана только одна единица (рис. 4.4), остальные ячейки заполнены «0». Кроме того, пересчитана целевая функция в соответствии с полученным решением.

Таким образом, в результате полученного решения было сформировано такое множество поездов $P = \{ \{L_1; S_1\}, \{L_3; S_4\}, \{L_4; S_2\}, \{L_5; S_3\}, \{L_6; S_5\} \}$, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$ с простым пар $T=1ч 16мин$. Поскольку составов только 5, то и поездов только 5, а остальные локомотивы остались без пары в ожидании состава.

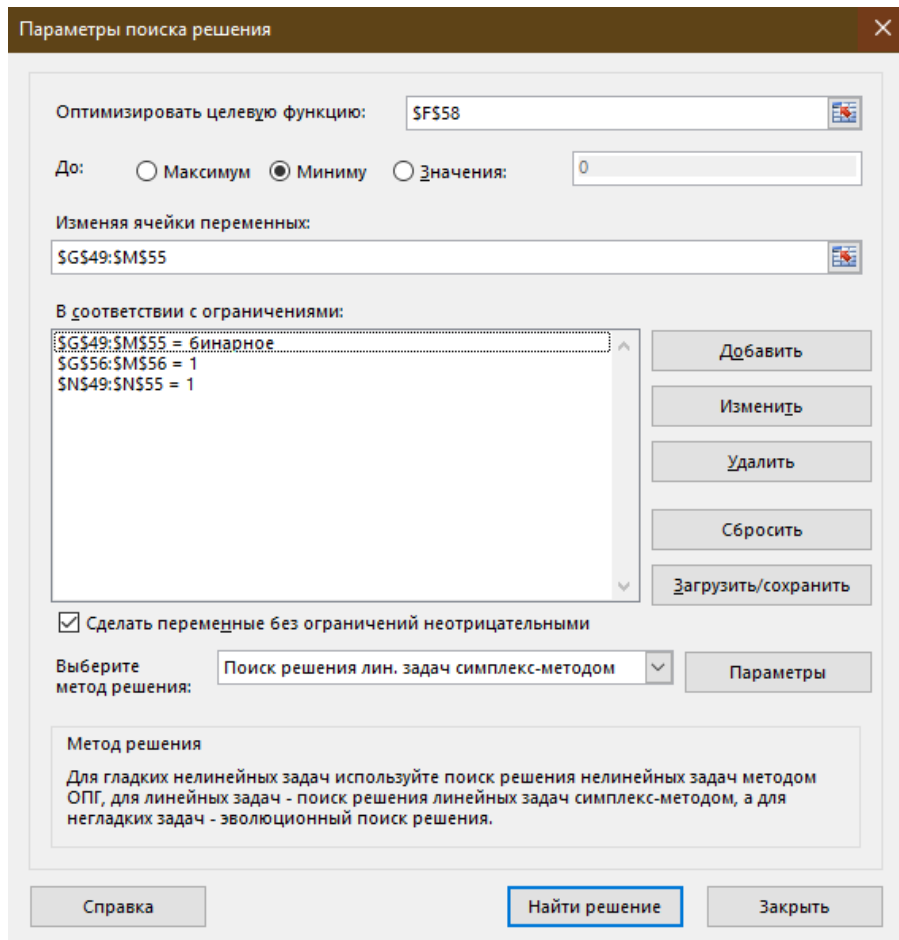


Рисунок 4.3 – Параметры поиска решения в MS Excel

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
45				№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	Всего
46				№ сост	2002	3101	2001	3301	2201	Фиктивные		
47				$T_{\text{сост}}^{\text{лок}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14			
48	№ з/п	№ лок	$T_{\text{лок}}^{\text{лок}}$									
49	1	202	00:48		1	0	0	0	0	0	0	1
50	2	101	01:27		0	0	0	0	0	1	0	1
51	3	102	02:02		0	0	0	1	0	0	0	1
52	4	103	02:45		0	1	0	0	0	0	0	1
53	5	205	03:05		0	0	1	0	0	0	0	1
54	6	105	03:26		0	0	0	0	1	0	0	1
55	7	106	03:54		0	0	0	0	0	0	1	1
56	Всего				1	1	1	1	1	1	1	

Рисунок 4.4 – Результат поиска решения в MS Excel с приоритетом отправления ло-
КОМОТИВОВ

По аналогии выполняется расчет плана отправления поездов при наличии приоритета составов. Так, например, на рис. 4.5 представлен план работы локомотивного парка при наличии приоритета отправления у состава №1.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
45				№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	Всего
46				№ сост	2002	3101	2001	3301	2201	Фиктивные		
47				$T_{\text{сост}}^{\text{под}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14			
48	№ з/п	№ лок	$T_{\text{лок}}^{\text{под}}$									
49	1	202	00:48		1	0	0	0	0	0	0	1
50	2	101	01:27		0	0	0	0	0	1	0	1
51	3	102	02:02		0	0	0	0	0	0	1	1
52	4	103	02:45		0	1	0	0	0	0	0	1
53	5	205	03:05		0	0	1	0	0	0	0	1
54	6	105	03:26		0	0	0	0	1	0	0	1
55	7	106	03:54		0	0	0	1	0	0	0	1
56	Всего					1	1	1	1	1	1	

Рисунок 4.5 – Результат поиска решения в MS Excel с приоритетом отправления составов

Для того, чтобы оценить полученные результаты, необходимо сравнить их с фактическим планом работы локомотивного парка, а также рассчитать его по предложенной методике без присваивания приоритета для подвижного состава.

На практике при подвязке локомотивов с бригадами к готовым к отпращиванию составов на технических станциях используется методика FI-FO («First in – first out» - первый пришел – первый ушел). Таким образом, первые пять локомотивов будут отпращивены в поездах, а остальные останутся простаивать на станции, общий простой при этом составит 4 ч 13 мин.

По аналогии выполнен расчет для тех же выходных данных, только без приоритетов. Полученный результат представлен на рис. 4.6.

Как видно из рис. 4.6, результат поиска решения без приоритета отпращивания локомотивов и составов отличается от полученного плана, в котором присутствует приоритет у подвижного состава. Общий простой в таком случае составляет 1 ч 9 мин,

что значительно меньше, чем при отправлении поездов по методу FI-FO.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
45				№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	Всего
46				№ сост	2002	3101	2001	3301	2201	Фиктивные		
47				$T_{\text{сост}}^{\text{сост}}$	01:28	02:42	03:04	03:07	03:14			
48	№ з/п	№ лок	$T_{\text{лок}}^{\text{лок}}$									
49	1	202	00:48		1	0	0	0	0	0	0	1
50	2	101	01:27		0	0	0	0	0	1	0	1
51	3	102	02:02		0	0	0	1	0	0	0	1
52	4	103	02:45		0	1	0	0	0	0	0	1
53	5	205	03:05		0	0	1	0	0	0	0	1
54	6	105	03:26		0	0	0	0	1	0	0	1
55	7	106	03:54		0	0	0	0	0	0	1	1
56	Всего				1	1	1	1	1	1	1	

Рисунок 4.6 – Результат поиска решения в MS Excel без приоритета подвижного состава

Для сравнения, на рис. 4.7 приведена увязка в пары локомотивов с составами: на рис. 4.7, а) – план работы без приоритетов подвижного состава; на рис. 4.7, б) – план работы с приоритетами отправлением локомотивов; на рис. 4.7, в) – план работы локомотивного парка с учетом приоритета отправления составов.

Из рис. 4.7 видно, что при планировании работы без приоритетов без пары остались локомотивы №№ 1,3; при планировании работы с приоритетами отправления локомотивов – локомотивы №№ 2,7; при планировании работы с приоритетами отправления составов – локомотивы №№ 2,3.

В табл.4.4 представлена продолжительность простоя локомотивов с бригадами и составов при разных вариантах планировании их работы, а также простой подвижного состава для поездов и простой локомотивов и составов, включая локомотивы, которым не досталась пара.

Как видно из таблицы, простой подвижного состава по вариантам составил:

1. при планировании работы локомотивного парка без приоритетов отправления: общий простой для пар поездов составил 1 ч 9 мин; общий простой подвижного состава – 6 ч 39 мин (5 ч 30 мин для локомотивов с бригадами и 1 ч 9 мин для составов);

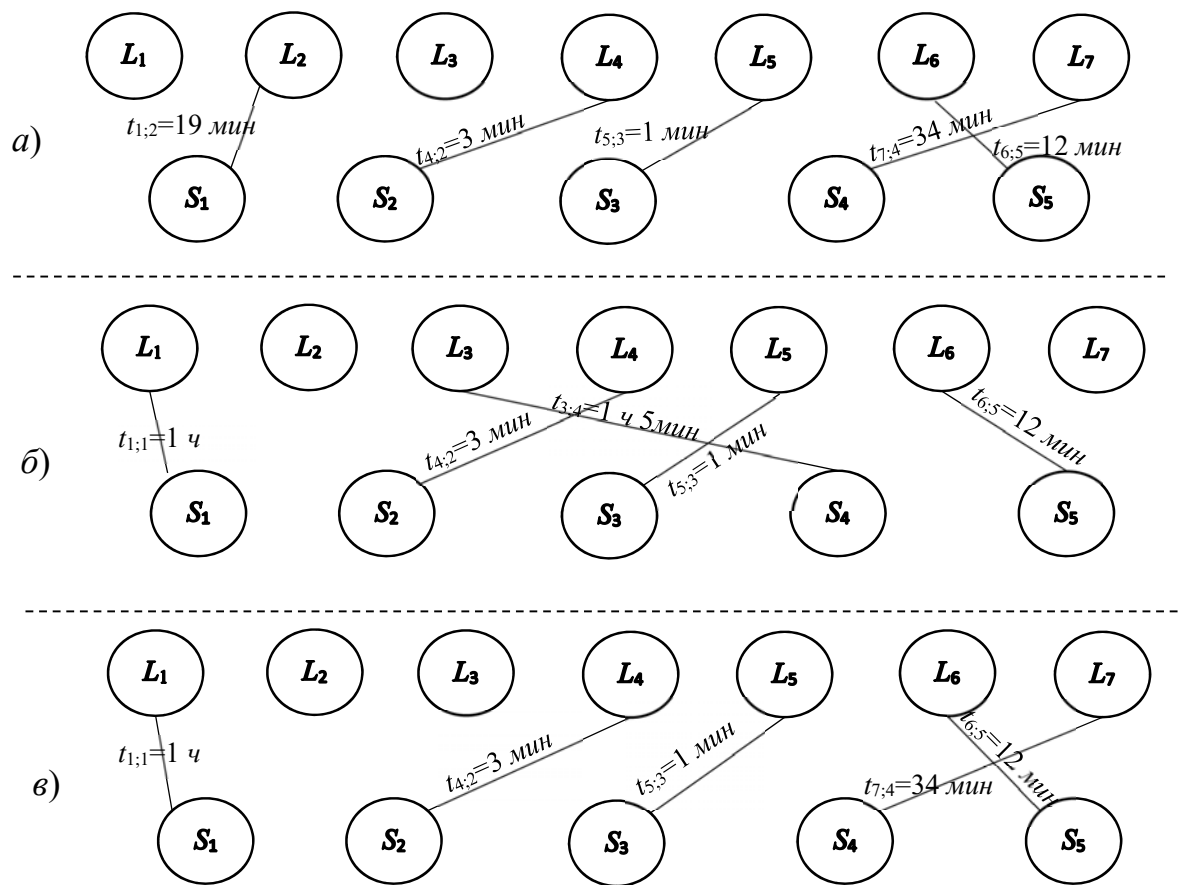


Рисунок 4.7 – Пары локомотивов и составов при разных условиях работы

2. при наличии приоритетов у локомотивов: общий простой для пар поездов составил 2 ч 21 мин (2 ч 5 мин для локомотивов с бригадами и 16 мин для составов); общий простой подвижного состава – 4 ч 53 мин (4 ч 37 мин для локомотивов с бригадами и 16 мин для составов). При этом, простой локомотивов №1 и №3 с приоритетом отправления сократился на 2 ч 32 мин и 53 мин, соответственно, в сравнении с вариантом 1; в общем сокращение простоя локомотивов с бригадами составляет 16%;

3. при наличии приоритетов у составов: общий простой для пар поездов составил 1 ч 50 мин (1 ч для локомотивов с бригадами и 50 мин для составов); общий простой подвижного состава – 6 ч 1 мин (5 ч 11 мин для локомотивов с бригадами и 50 мин для составов). При этом, простой состава №2 с приоритетом отправления сократился на 19 мин в сравнении с вариантом 1; в общем сокращение простоя составов составляет 21,5%.

Таблица 4.4 – Простой подвижного состава

№ п/п	Локомотивы			Составы		
	План без приоритетов	План с приоритетами локомотивов	План с приоритетами составов	План без приоритетов	План с приоритетами локомотивов	План с приоритетами составов
1	03:32*	01:00	01:00	00:19	0	0
2	00:00	02:13*	02:13*	00:03	00:03	00:03
3	01:58*	01:05	01:58*	00:01	00:01	00:01
4	0	0	0	00:34	00:00	00:34
5	0	0	0	00:12	00:12	00:12
6	0	00:00	0			
7	0	00:19*	0			
Общий простой для пар поездов	00:00	02:05	01:00	01:09	00:16	00:50
Общий простой подвижного состава	05:30	04:37	05:11	01:09	00:16	00:50

Примечание: * отмечено время простоя локомотивов до конца периода планирования;
жирным текстом отмечен простой подвижного состава с приоритетом отправления

В результате анализа табл. 4.4 можно сделать такие выводы:

- наименьший простой подвижного состава в парах составил при составлении плана работы локомотивного парка без каких-либо приоритетов отправления;
- при наличии приоритетов у локомотивов №1 и №3 их простой уменьшился, и они были отправлены со станции, в отличии от варианта 1;
- при наличии приоритета отправления у состава №2, его простой при этом равен «0».

Таким образом, в результате решения задачи оптимального назначения локомотивов с бригадами на составы грузовых поездов с последующим их отпращиванием с технических станций, получается оперативный план работы локомотивного парка на 4-8 ч. Необходимо отметить, что в результате может быть получено несколько равнозначных планов. В каждом таком плане отсутствуют запрещенные перевозки, учитываются приоритеты отправления составов, обеспечивается периодичность

выполнения технического обслуживания и ремонтов локомотивов, а также соблюдаются нормы продолжительности труда и отдыха локомотивных бригад. Окончательное решение по выбору плана работы локомотивного парка принимает оперативный диспетчерский персонал (ОДП).

Оперативное планирование работы локомотивного парка по указанной методике выполняется каждые 4-8 ч для каждой технической станции железнодорожного направления: на начало периода планирования и с последующий корректировкой плана работы локомотивов и локомотивных бригад с периодичностью Δt с учетом изменения поездного положения на текущий момент. При этом, период повторной корректировки плана Δt зависит от интенсивности входного поездопотока и устанавливается экспериментальным путем. Решение о работе локомотивного парка согласно плану, разработанному в начале периода планирования или на основе откорректированных планов, принимает ОДП.

Пересчет оперативного плана происходит при фактическом прибытии поездов на техническую станцию, при фактической готовности локомотивов и составов к отправлению в том случае, если фактическое время соответствующего эксплуатационного события отличается от его прогнозного значения на определенную величину Δ , которая устанавливается для каждого участка оперативным диспетчерским персоналом.

Анализ любого плана работы локомотивного парка дает возможность выявить причины непроизводительного простоя как составов, так и локомотивов с бригадами. На основе такого анализа можно выявить случаи ожидания локомотивными бригадами готовности составов грузовых поездов и наоборот. В соответствии с этим можно откорректировать время явки бригады, а также можно выявить недостаток или избыток локомотивных бригад и изменить их количество на протяжении периода планирования.

Таким образом, представленная в дипломной работе методика показала свою эффективность и может быть применена на технических станциях Украины для повышения степени интероперабельности грузовых железнодорожных перевозок.

ВЫВОДЫ

На фоне общего уменьшения и значительного износа локомотивного парка Украины проблема повышения эффективности оперативного управления тяговыми ресурсами приобретает особую актуальность. Решение задач рационального оперативного планирования работы локомотивов и локомотивных бригад требует применения современного математического аппарата. Разработанная методика может лечь в основу современной системы поддержки принятия оперативных решений для диспетчерского аппарата железных дорог. Разработка и внедрение такой системы позволит повысить эффективность использования локомотивов и рабочего времени локомотивных бригад, сократить непроизводительные простои составов на станциях в ожидании локомотивов, и, как следствие, снизить эксплуатационные расходы железных дорог.

Выполненный анализ научных работ, посвященных проблеме оперативного управления эксплуатацией локомотивного парка, показал, что она является окончательно нерешенной; существующие методы не в полной мере учитывают современные условия функционирования железнодорожного транспорта, среди которых дефицит исправного тягового подвижного состава для организации грузовых перевозок и значительный уровень изношенности локомотивного парка.

В дипломной работе разработана методика прикрепления локомотивов с бригадами к составам грузовых поездов. Цель задачи – распределить локомотивы с бригадами на составы таким образом, чтобы их простой при этом был минимальным. Кроме ограничений о необходимости проведения планового технического обслуживания и всех видов ремонта, а также соблюдения требований к продолжительности непрерывного труда и отдыха локомотивных бригад, учитывается, в случае необходимости, приоритеты отправления подвижного состава. Приоритет первоочередного отправления может быть, как у составов (для ускорения продвижения определенных грузов), так и локомотивов с

бригадами (для локомотивов – для своевременного выполнения ТО и ремонтов, для бригад – для своевременного отдыха).

В основе данной методики лежит математический аппарат задачи о назначении, для решения которой существует симплекс-метод, метод потенциалов, венгерский метод. В дипломной работе задачу разработки плана работы локомотивного парка предлагается решать с помощью надстройки *Поиск решений* в MS Excel, в основе которого лежит один из указанных выше алгоритмов.

Совершенствование методики планирования работы локомотивного парка позволит рационально распоряжаться наявным парком электровозов и тепловозов, а также повысит качество планирования работы локомотивных бригад, что повлечет за собой сокращение простоя машинистов и их помощников в ожидании отправления со станций.

При использовании предложенной методики для подвижного состава, который имеет приоритет отправления с технической станции можно снизить его простой до 16 %. Снижение непродуктивного простоя локомотивов с бригадами и составов грузовых поездов позволит повысить степень интероперабельности железных дорог, снизить простой поездов на технических станциях в целом, что повлечет за собой снижение эксплуатационных затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Украинская железная дорога разработала стратегию своего развития до 2021 года [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://traffic.od.ua/news/railua/1193339>
2. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>
3. <https://railinsider.com.ua/u-lypni-obig-vantazhnogo-vagona-sklav-743-doby/>
4. https://info.uz.ua/news/tri-prichini-zbilshennya-dilnichnoi-shvidkosti-vantazhnikh-potyagiv-na-8_1585308350
5. Офіційний сайт Укрзалізниці. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>
6. Марценюк, Л.В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів [Текст] / Л.В. Марценюк // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. Зб. наук. праць НАУ. Київ: НАУ. – 2012. – Вип. №33. – с. 141-147.
7. Транспорт і зв'язок України у 2012 році. Статистичний збірник. [Текст] // Київ: ДП “Інформаційно-аналітичне агентство» – 2013 – 269 с.
8. Бутько, Т.В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 22. – С. 18-26.
9. Вернигора, Р.В. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №5/3 (59). – с. 16-19.

10. Козаченко, Д. Н. Перспективы использования частной локомотивной тяги на магистральном железнодорожном транспорте Украины [Текст]/ Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора, Н.И. Березовый // Українські залізниці – 2013. №1. – с.50-55.

11. Громов, Г.Н. Укрупненный метод нормирования парка локомотивов [Текст]/ Г.Н. Громов// Железнодорожный транспорт. - 1972. - №10. - С. 16-17.

12. Некрашевич, В.И. Методика расчета потребности в локомотивах при их оперативном секционировании и кратной тяге [Текст]/ В.И. Некрашевич, А.И. Игнатов // Вестник ВНИИЖТ. - 2008. - №2. - С. 24-30.

13. Бурдонов, С.К. Улучшение использования локомотивов на больших полигонах [Текст]/ С.К. Бурдонов, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. - 1981.- №2. - С. 49-54.

14. Гусев, В.С. Оперативное регулирование локомотивным парком на удлиненных участках обращения [Текст] / В.С. Гусев, Ф.К. Макаев // Железнодорожный транспорт. - 1983. - №10. - С. 20-22.

15. Баврин, Г.Н. Суточное планирование потребности в локомотивах грузового движения [Текст] / Г.Н. Баврин, В.Н. Коротков // Железнодорожный транспорт.- 2008.- №11.- С. 11-13.

16. Котляренко, Ф.М. Маршрутная система эксплуатации локомотивов на больших полигонах [Текст] / Ф.М. Котляренко, И.М. Косиков, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. - 1982. - №5. - С. 10-13.

17. Ременный, А.С. Организация высокопроизводительного использования локомотивов [Текст] / А.С. Ременный, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. - 1972. - №6. - С. 25-29.

18. Горский, А.В. Влияние системы ремонта локомотивов на обслуживание поездов [Текст] / А.В Горский, А.А. Воробьев, В.А. Козырев, В.М. Куанышев // Железнодорожный транспорт. - 1994. - №11. - С.12-16.

19. Жуковицький, І.В. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад [Текст] / І.В. Жуковицький, В.В. Скалзуб, О.В. Ветрова, О.Л. Зіненко // Вісник ДНУЗТ. - Д., 2006. - Вип. 12. - С. 74-78.

20. Жуковицький, І.В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів [Текст] / І.В. Жуковицький, А.Б. Устенко, О.Л. Зіненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. - №5. - С. 51-56.

21. Козлов, П.А. Модель оптимального графика оборота поездных локомотивов [Текст] / П.А. Козлов, С.П. Вакуленко // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. - №2. – С. 15-20.

22. Некрашевич, В.И. Оперативное регулирование локомотивным парком [Текст] / В.И. Некрашевич // Железнодорожный транспорт. - 1981. - №5. - С. 53-56.

23. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич, А.И. Моргунов // Вестник ВНИИЖТ. - 2005. -№3. - С. 20-25.

24. Неплюев, В.А. Автоматизированная система диспетчерского управления локомотивами и локомотивными бригадами на замкнутых полигонах («СИГНАЛ-Л») [Текст] / В.А. Неплюев // Вестник ВНИИЖТ. 2010. №5. С. 40-43.

25. Капустин, Н.И. Система СИГНАЛ-Л: актуальные проблемы и задачи [Текст] / Н.И. Капустин// Железнодорожный транспорт.- 2008.- №11.- С. 22-24.

26. Акулов, А.П. Возможности АСУ локомотивным парком [Текст] / А.П. Акулов// Железнодорожный транспорт.- 2008.- №11.- С. 14-15.
27. Стужук, А.А. Експлуатація автоматизованої системи управління локомотивним парком і локомотивними бригадами [Текст] / А.А. Стужук, В.С. Коновалов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. - Вип. 114. - С. 27-29.
28. Зіненко, Л.О. Впровадження автоматизованих систем управління для поліпшення якості експлуатації локомотивного парку [Текст] / Л.О. Зіненко// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. - №2. – С. 49-57.
29. Жуковицький, І.В. Проблеми та перспективи інформатизації в локомотивному господарстві УЗ [Текст] / І.В. Жуковицький, О.Л. Зіненко, А.Б. Устенко // Локомотив-інформ. - 2008. - № 10. - С. 4-6.
30. Жуковицький, І.В. Проблеми та перспективи автоматизації управління локомотивним господарством УЗ [Текст] / І.В. Жуковицький, А.Б. Устенко, О.Л. Зіненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. - №2. - С. 38-42.
31. Портнов, О. Третий не лишний: кроме машиниста и помощника, в локомотивах появляются навигаторы [Текст] / О. Портнов // Магистраль.- 2012.- №97. – С.4
32. Дементієнко, Р.В. Автоматизована система керування і контролю за тяговим рухом складом залізничного транспорту із застосуванням навігаційних систем [Текст] / Р.В. Дементієнко// Збірник наукових праць Укр.ДАЗТ. – 2010. - Вип. 118. - С. 157-162.
33. Мартиросян, С.Р. Формування моделі визначення раціональних варіантів пропуску поїздів по дільниці [Текст] / С.Р. Мартиросян, О.В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - №4/3(52). – С. 35-37.

34. Вохмінцев, С.В. Концепция информационного обеспечения железнодорожного транспорта [Текст] / С.В. Вохмінцев, Р.В. Семчук, А.Ю. Гуль // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. - №5. – с.27-31.
35. Некрашевич, В.И. Управление эксплуатацией локомотива. Уч. пос. [Текст] / В.И. Некрашевич, В.И. Апатцев // М.: РГОТУПС, 2004. – 257с.
36. Толкачева, М.М. Труды Организация труда локомотивных бригад [Текст] / М.М. Толкачева// Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. - М. : Трансжелдориздат. Вып. 197. - 1960. - 111 с.
37. Бархатный, В. Д. Выбор участков и способов организации работы локомотивных бригад [Текст] / В. Д. Бархатный, В.Д. Крюков // М. : Транспорт, 1974. - 36 с.
38. Некрашевич, В.И. Удлиненные состыкованные участки работы локомотивных бригад и эффективность их применения [Текст] / В.И. Некрашевич, Н.И. Капустин // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №3. - С. 6-10.
39. Давыдов, А.В. Совершенствование организации труда локомотивных бригад [Текст] / А.В. Давыдов, П.Н. Рубежанский // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №4. - С. 20-24.
40. Бутько, Т.В. Обґрунтування доцільності впровадження подовжених пліч оберту локомотивів та локомотивних бригад при пропуску поїздів за «жорсткими» нитками графіка [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, Т.О. Костиркіна // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. - Вип. 119. - С. 25-28.
41. Менжулина, Л. Когда на плечо не давит [Текст] / Л. Менжуліна // Магістраль.- 2012.- № 17-18.
42. Прийняті конструктивні рішення // Придніпровська магістраль. – 2013. - №2. – С. 3.

43. Высоцкий, Ю.Л. Улучшение организации труда локомотивных бригад [Текст] / Ю.Л. Высоцкий // Железнодорожный транспорт. - 1971. - №6. - С. 30-32.
44. Дорошенко, А. А. Нововведения на Приднепровской железной дороге: сокращение накладного времени работы локомотивных бригад [Текст] / А.А. Дорошенко // Локомотив-информ. - 2012. - № 8. - С. 43.
45. Киселев, К.С. Организация вычислительного процесса при составлении годовых планов работы локомотивных бригад с помощью ЭВМ [Текст] / К.С. Киселев, Л.Н. Чумак, А.Г. Евтушенко // Математическое моделирование в задачах железнодорожного транспорта : Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. - Днепропетровск, 1988. - Вып. 265/1. - С. 34-38.
46. Пазойский, Ю.О. Автоматизация составления графика работы локомотивных бригад в пригородном сообщении [Текст] / Ю.О. Пазойский // Вестник ВНИИЖТ. - 1996. - №4. - С. 33-39.
47. Ковалев, Н.В. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад [Текст] / Н.В. Ковалев, В.Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТ. - 2008. - №1. - С. 38-42.
48. Кузьмин, А.В. Планирование работы локомотивных бригад в крупном узле [Текст] / А.В. Кузьмин, А.Н. Ильин, Д.П. Бережонок // Железнодорожный транспорт. - 2004. - №10. - С. 32-36.
49. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивных бригад грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №1. - С. 28-35
50. Кирпичев, Д.А. Сменно-суточное и текущее планирование [Текст] / Д.А. Кирпичев // Железнодорожный транспорт. - 2008. - №11. - С. 30-32.

51. Левин, Д.Ю. Современные принципы и технология оперативного управления поездной работой [Текст] / Д.Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. - 2004. - №4. - С. 27-33.
52. Бачинська, Є.Б. Аналіз технології взаємодії у підсистемах сортувальної станції та локомотивного депо [Текст] / Є.Б. Бачинська, О.А. Малахова// Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. - Вип. 118. - С. 192-197.
53. Атякин, Д.И. Обеспечение беспрепятственного пропуска и своевременного вывоза поездов со станции [Текст] / Д.И. Атякин // Железнодорожный транспорт.- 2008.- №2.- С. 26-27.
54. Волков, В.С. Технология, обеспечивающая организацию движения грузовых поездов по твердому графику [Текст] / В.С. Волков// Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №3. - С. 17-23.
55. Шапкин, И.Н. Твердый подекадный график движения грузовых поездов как одно из решений проблемы адаптации графика к колебаниям вагонопотоков [Текст] / И.Н. Шапкин, Е.М. Кожанов // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №3. - С. 30-33.
56. Кужель, А.Л. Новый подход к управлению вагонопотоками [Текст] / А.Л. Кужель, И.Н. Шапкин, А.Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт.- 2010.- №10.- С. 19-24.
57. Некрашевич, В.И. Автоматизация управления локомотивными парками [Текст] / В.И. Некрашевич, В.Л. Сальченко, В.Н. Ковалев // Железнодорожный транспорт.- 2000.- №5.- С. 30-35.
58. Поплавский, А.А. Сквозное оперативное управление поездной работой на направлениях [Текст] / А.А. Поплавский, А.И. Лизунов // Железнодорожный транспорт.- 2007.- №1.- С. 16-24.

59. Шаров, В.А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию [Текст] / В.А. Шаров, А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. - 2011. - №8. - С. 11-22.
60. Конкуренция на железнодорожном транспорте Германии: 20 лет спустя [Текст] // Железные дороги мира. – 2013. - №7. - С. 11-21.
61. Швейцарская модель управления [Текст] // Железные дороги мира. 2013, №6. С. 9-13.
62. Рынок лизинга локомотивов [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - № 3. - С. 23-28.
63. Kozachenko, D. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule [Текст] / D. Kozachenko, R.Vernigora, V.Balanov, N.Berezovy, L.Yelnikova, Yu.Germanyuk // Transport Problems. – 2016. - Vol. 11, Issue 1. - p. 41-48
64. Стало известно точное количество локомотивов "Укрзалізнички" и сколько из них на ходу (инфографика) [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://cfts.org.ua/news/2018/09/30/stalo_izvestno_tochnoe_kolichestvo_lokomotivov_ukr_zaliznytsi_i_skolko_iz_nikh_na_khodu_infografika_49703
65. В УЗ порахували, скільки треба коштів на оновлення локомотивів [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/01/27/656293/>
66. Вернигора Р.В., Ельникова Л.О. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2012. - №5/3 (59). – С.16-19
67. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України № ЦД-00-52, затверджена наказом № 969-ЦЗ від 15.12.2004.

68. Особливості регулювання робочого часу і часу відпочинку окремих категорій працівників залізничного транспорту, робота яких безпосередньо пов'язана із забезпеченням безпеки руху поїздів і обслуговуванням пасажирів. Затверджено наказом Укрзалізниці від 10.03.1994 р. №40-Ц.

69. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України. Затверджено наказом Укрзалізниці від "5" квітня 2002р. №170-Ц.

70. Інструкція з технічного обслуговування електровозів та тепловозів в експлуатації.

71. Хасин, Л.Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством / Под ред. Л.Ф Хасина: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. – М.: «Желдориздат», 2002. – 452 с.

72. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич, А.И. Моргунов // Вестник ВНИИЖТ. - 2005. - №3. - С. 20-25.

73. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивных бригад грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №1. - С. 28-35.

74. Некрашевич, В.И. Проблема адаптации графика движения грузовых поездов к колебаниям вагонопотоков [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. - 2006. - №4. - С. 23-27.

75. Ковалев, Н.В. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад [Текст] / Н.В. Ковалев, В.Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТ. - 2008. - №1. - С. 38-42.

76. Жуковицький, І. В. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад [Текст] / І. В. Жуковицький, В. В.

Скалозуб, О. В. Ветрова, О. Л. Зіненко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - 2006. - Вип. 12. - С. 74-78.

77. Жуковицький І.В., Устенко А.Б., Зиненко О.Л. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2011. №5. С. 51-56

78. Таха, Хэмди, А. Введение в исследование операций. 6-е издание [Текст] / Хэмди А. Таха – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.