

ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

АЛЁШИНСКИЙ Евгений Семенович

УДК 656.212.5

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА
«СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ - ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ»
ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЕГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

05.22.20 - Эксплуатация и ремонт средств транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Підтверджую ідентичність

*вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 64.820.04*



Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Нагорный Е.В.

Харьков - 2001

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ I. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ УЧАСТКОВ	12
1.1. Анализ отечественного и зарубежного опыта управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки»	12
1.2. Анализ надежности транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	24
1.3. Постановка задачи, цель и методы исследования	28
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИТУАЦИИ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ «СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ -ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ»	31
2.1. Анализ существующих моделей представления производственной ситуации в транспортном комплексе «Сортировочная станция—прилегающие участки»	31
2.2. Теоретические основы сетей Петри для разработки модели представления производственной ситуации комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	42
Выводы	55
РАЗДЕЛ 3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА «СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ - ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ»	57
3.1. Схема логистической системы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	57
3.2. Разработка модели функционирования подсистемы «Входные участки»	59

3.3.	Разработка структурно-логической схемы взаимодействия технологических линий сортировочной станции	78
3.4.	Построение модели функционирования технологической линии обработки вагонов	82
3.5.	Разработка модели технологических линий обработки информации и документов	103
3.6.	Построение модели представления производственной ситуации в технологической линии обеспечения поездными локомотивами	----- 124
3.7.	Разработка модели функционирования подсистемы «Выходные участки»	127
3.8.	Разработка макрбурвневой модели функционирования логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	132
	Выводы	137
РАЗДЕЛ 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА «СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ - ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ»		
		139
4.1.	Общие положения	139
4.2.	Разработка методики экономической оценки основных параметров транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»	140
4.3.	Методика определения параметров целевой функции экономико-математической модели функционирования логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	145
4.4.	Решение задачи оптимизации функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»	154
	Выводы	159

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	161
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	165
ПРИЛОЖЕНИЯ	175
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Краткое руководство пользователя по работе с компьютерной программой Интегрированная система моделирования и формального анализа на базе сетей Петри	— 176
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Анализ результатов моделирования функционирования подсистемы «Прилегающие участки—парк приема»	182
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Результаты моделирования функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Программный продукт для нахождения значений целевой функции и основных показателей работы сортировочной станции	191
В	
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Определение основных показателей работы сортировочной станции	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Оптимизация параметров функционирования сортировочной станции и прилегающих участков	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Структурно-логические схемы технологических линий транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»	199
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Материалы о внедрении результатов исследовательской работы	204

ВВЕДЕНИЕ

Рыночная экономика Украины предполагает высокую динамику экономических связей, в том числе и транспортных потоков. Поэтому на железных дорогах страны продолжается активный поиск новых форм и методов работы, эффективных в рыночных условиях, обеспечивающих взаимовыгодные отношения с регионами и отраслями народного хозяйства, повышение доходности и прибыльности перевозочного процесса, конкурентоспособность с другими видами транспорта. В то же время остро стоит проблема снижения себестоимости перевозок.

В современных условиях транспортного рынка особое место в системе критериев оценки работы железнодорожного транспорта занимает срок доставки грузов. В этих условиях возрастает роль технологического планирования и организации работы по жесткому графику от пункта производства продукции до места ее потребления. Необходимы не только жесткий график поставки продукции, определяемые требованиями потребителей, но и сроки доставки, которые успешно позволили бы конкурировать с другими видами транспорта.

Для клиентуры на первый план выдвигается не оборот вагона и тонно-километры, а сохранность и своевременность доставки груза. Становится очевидной необходимость надежной системы расчета нормативного срока доставки груза, учитывающего процессы неравномерности и колебаний транспортных потоков и другие важные показатели.

В этих условиях железнодорожные станции вынуждены работать по гибкой схеме—при уменьшении потоков временно закрывать сортировочные системы или парки путей, менять число маневровых локомотивов, изменять штатное расписание. В связи с этим для выбора рационального режима работы технической станции нужны специальные методы.

Используемые в настоящее время методы не всегда полностью отвечают требованиям оперативности и точности расчетов. Простые в использовании, как, например, суточный план-график, недостаточно полно

описывают структуру и технологию работы станции. С другой стороны, методы, которые хорошо представляют структуру и технологию, например, имитационное моделирование [51, 52, 55], сложны в применении на практике.

Общим недостатком имеющихся методов расчета—является их трудоемкость построения, большие затраты времени и, как следствие, низкая оперативность результатов. Поэтому в современных условиях очевидна необходимость создания новых автоматизированных методов и моделей как отдельных станций, так и всего транспортного комплекса в целом. При этом, комплекс "Сортировочная станция - прилегающие участки" следует рассматривать не только как совокупность нескольких систем массового обслуживания [12,24, 50, 51], но и как единую логистическую цепь, работа которой должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к транспортному процессу [26, 27, 100, 101]. То есть, технология поездной работы должна быть построена таким образом, чтобы в рамках каждого района местной работы с заданным уровнем надежности выдерживался установленный срок доставки и при этом обеспечивалась нормативная стоимость перевозок.

Уровень надежности соблюдения установленного срока доставки может быть определен как соблюдение перегонных времен хода поездов и уменьшения времени средневзвешенного простоя на технических станциях. При его оценке должно учитываться, что опоздание на одном этапе может компенсироваться на других этапах

Аналогично, исходя из требуемого уровня надежности, определенного для каждого района, должна оцениваться надежность доставки для его элементов — участков, отдельных сортировочных станций и станционных систем. С этих позиций надежность работы станции следует рассматривать как вероятность обеспечения такого уровня обслуживания поездопотока, которое соответствует доставке груза в установленный срок.

В настоящее время согласно Постановлению Кабинета Министров Украины № 821 от 04.08.97 г. ведутся работы по выбору путей и средств адаптации национальной сети железных дорог Украины для работы в условиях функционирования международных транспортных коридоров. Одним из этапов этой программы является совершенствование технологии работы железных дорог по направлениям прохождения транспортных коридоров через комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки».

Учитывая Концепцию создания и функционирования национальной сети транспортных коридоров в Украине, начало сооружения целой сети новых дорог европейского уровня, совершенствования технологии пропуска вагонопотока через транспортный комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» и повышение эффективности функционирования сортировочных станций железных дорог Украины, а также недостаточное исследование этой проблемы, тему диссертации можно квалифицировать как актуальную и направленную на решение важной научно-технической проблемы.

Связь данной работы с научными программами, планами, темами подтверждает:

- Действующее Постановление Кабинета Министров Украины № 821 от 04.08.97 г. об утверждении Концепции создания и функционирования национальной сети транспортных коридоров в Украине;
- Программа компьютеризации Южной железной дороги, создаваемая в соответствии с приказами начальника дороги: «О внедрении информационно-компьютерных технологий на дороге» приказ № 9н от 21.06.96 г., «О разработке концепции по информатизации» приказ № 134с от 26.05.97 г.;
- Концепция и Программа реструктуризации железнодорожного транспорта Украины, принятые государственной администрацией железнодорожного транспорта Украины в 1998 году;

Работа выполнена в соответствии с научно-исследовательской темой «Методологія техніко-економічного обґрунтування комплексного розвитку та перебудови інфраструктури транспортних коридорів залізниць України» (УДК 656.2. 022. 816: 656. 225, гос. регистрация № 01004000822), которая выполняется на кафедре «Железнодорожные станции, узлы и организация таможенного контроля» Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта по заказу Министерства транспорта Украины.

Объектом исследования диссертационной работы является транспортный комплекс «Сортировочная станция—прилегающие участки».

Предмет исследования — модель функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция—прилегающие участки».

Основная цель работы - разработка модели транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» для выбора рациональной технологии его функционирования.

Круг задач, решаемых в диссертации:

1. Выполнить анализ существующих моделей представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»;
2. Обосновать выбор моделей представления производственной ситуации в транспортном комплексе «Сортировочная станция — прилегающие участки»;
3. Сформировать концепцию и разработать принципы формирования модели комплекса;
4. Разработать логистическую систему транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»;
5. Разработать методологию экономической оценки модели управления функционированием и развитием транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки».

Методы исследования поставленных задач состоят в использовании общей теории транспортных систем, теории сетей Петри, приемов и методов

теории массового обслуживания, системы исследования операций на транспорте, моделирования, экономического анализа и теории логистики.

Научная новизна работы заключается в решении следующих задач:

- построение на основании теории сетей Петри моделей функционирования технологических линий сортировочных станций и прилегающих участков. Предлагаемые модели получены впервые;
- разработка новой логистической системы управления транспортным комплексом "Сортировочная станция — прилегающие участки";
- формализация исходных предпосылок, которые следует учитывать при нахождении оптимальных решений для достижения минимального срока доставки при минимальных эксплуатационных затратах;
- выбор целевой функции нахождения оптимального решения задачи повышения эффективности функционирования транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", отличающегося от ранее предлагаемых критериев при решении аналогичных проблем.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что, на основании разработанных моделей функционирования технологических линий сортировочных станций и прилегающих участков, предоставляется возможность моделирования поездной работы в рамках систем АСУСС и АСУЖТ по оперативно рассчитанным нормам на каждый объект управления. Разработанная логистическая система управления транспортным комплексом "Сортировочная станция — прилегающие участки", позволяет оптимизировать параметры технологических линий обработки вагонов, информации, перевозочных документов и обеспечения поездными локомотивами. Целевая функция нахождения оптимального решения задачи повышения эффективности функционирования транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки" дает возможность оперативного поиска оптимальных решений для

достижения минимального срока доставки груза при минимальных эксплуатационных затратах.

Предложенные модели функционирования технологических линий сортировочных станций и прилегающих участков, а также модели нахождения оптимальных параметров целевой функции логистической цепи транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", было рекомендовано использовать при планировании и организации эксплуатационной работы сортировочных станций Одесской железной дороги. При этом технологические, экономико-математические решения, методические приемы и аналитические зависимости использованы при корректировке технологического процесса ст. Одесса-Сортировочная, а также при решении вопросов технического переоснащения станционной техники.

Предложенные модели функционирования технологических линий сортировочных станций и прилегающих участков, а также модели нахождения оптимальных параметров целевой функции логистической цепи транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", использованы в учебном процессе Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта при дипломном проектировании, а также на практических занятиях ИППК.

Личный вклад автора заключается в разработке имитационных моделей функционирования технологических линий транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки», в проведении экспериментальных исследований функционирования технологических линий, в статистическом анализе и обработке наблюдений.

Автором разработана новая система логистической цепи управления транспортным комплексом "Сортировочная станция — прилегающие участки".

Лично автором предложен и обоснован выбор целевой функции нахождения оптимального решения задачи повышения эффективности

функционирования транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", для чего автором произведена форматизация исходных предпосылок, которые следует учитывать при нахождении оптимальных решения для достижения минимального срока доставки при минимальных эксплуатационных затратах.

Апробация результатов диссертационной работы производилась на: научно-технических конференциях и семинарах ХарГАЖТ, Харьков 1997-2000 г.г.;

3-й городской научно-практической конференции «Актуальні проблеми сучасної науки в дослідженнях молодих вчених Харківщини», Харьков, 25 января 2000 г.;

технико-экономическом Совете Одесской железной дороги, Одесса, 28 марта 2000 г.

Полностью диссертационную работу было доложено на расширенном заседании кафедры «Железнодорожные станции, узлы и организация таможенного контроля» ХарГАЖТ 30 октября 2000 года

По теме диссертации опубликовано пять научно-технических статей.

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ УЧАСТКОВ.

1.1. Анализ отечественного и зарубежного опыта управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки»

Станции являются основной производственной единицей железнодорожного транспорта. Поэтому их становление, совершенствование технической оснащенности и организации работы представляют интерес уже более ста лет [1].

К концу XIX века общая сеть железных дорог Российской империи составляла около 52 тыс. км. Кроме того, было около 1200 км подъездных путей частного пользования. Проблемы развития и рационального использования железных дорог широко обсуждались в издаваемых журналах «Железнодорожное дело», «Инженер», «Известия собрания инженеров путей сообщения», «Журнал Министерства путей сообщения» («Железнодорожный транспорт»). История развития науки о станциях и узлах начинается с 1897 года, когда на совещательном съезде инженеров службы пути русских железных дорог были впервые разработаны основные принципы проектирования станций.

Уже в те годы специалисты рассматривали станции, с одной стороны, как внешний орган железных дорог и, с другой стороны, как важнейший элемент, необходимый для обеспечения перевозок грузов и пассажиров. Это определяло основное направление развития технической оснащенности станций в зависимости ее от потребностей экономики страны в перевозках, а также их связь с уровнем развития других хозяйств железных дорог. Отсюда

исходили все проблемы совершенствования конструкций, оснащения и технологии работы станций.

В 1901 году инженер Ф.А. Галицинский констатировал появление «русского типа» расположения станций с учетом климатических условий большей части страны и «большого состава товарных поездов, в особенности порожних». По предложению С.Д. Корейши была разработана схема применения продольного типа станций.

Первой работой по методикам проектирования станций был проект переустройства станции Иваново, разработанный В.Н. Образцовым в 1901 году. В 1904 году им же была опубликована работа по проектированию стрелочных улиц, а в 1905 году большая статья по вопросу о проектировании станций и в 1906 году статья в Трудах 14-го съезда служб пути. Именно академик В.Н. Образцов стал основоположником науки о станциях и узлах.

Ф.А. Галицинский, проведя обзор больших товарных и сортировочных станций заграничных дорог, обобщил отечественный и зарубежный опыт в области техники и технологии станций и сформулировал основные положения дальнейшего развития станционного хозяйства для российских железных дорог. С учетом постоянного прироста объемов работы он поставил вопрос о специализации как отдельных станций, так и их районов и даже путей. Были определены действующие и в настоящее время принципы комплексного проектирования станций с учетом перспективы, разделения маршрутов приема-отправления поездов, маневровой работы, передачи вагонов на грузовые фронты, специализации станций, размещения и оснащенности сортировочных станций и горок, применения схем одно- и двухсторонних станций и т.д. Первыми горочными станциями в России стали Ртищево (1899 г.) и Кочетовка (1901 г.).

С начала XX века в Московском инженерном училище (МИИТ) начала формироваться школа станционников, хотя определением начальной мощности устройств и учетом перспективы развития станций занимался еще П. П. Мельников в связи со строительством железной дороги Москва —

С-Петербург (1851 г.). Вопросам развития станции и узлов посвящены труды русских ученых И.Ф. Рерберга, И.И. Рихтера, В.И. Троицкого, С.Д. Корейши, А.Н. Фролова, Ф.А. Галицинского, Е.А. Гибшмана и др.

Основоположниками теории взаимодействия транспортных систем по праву считаются профессор А.Н. Фролов, И.И. Васильев [3], Н.Р. Ющенко [4], А.Л. Платонов [5]. В разработке отдельных вопросов этой теории также значительную роль сыграли труды профессора В.Д. Никитина, Ф.П. Кочнева, К.А. Бернгарда, А.Г. Угрюмова, В.В. Повороженко, А.Д. Каретникова.

В этот период одной из самых актуальных задач для железнодорожного транспорта становится совершенствование технологии, увеличение пропускной и перерабатывающей способности станций (в том числе и сортировочных) и организация их работы в оптимальном режиме.

Отдельные парк станции, как и станция в целом, тесно взаимодействуют в своей работе с прилегающими участками и с друг другом. Поэтому многие ученые придавали большое значение вопросам взаимодействия станций и участков.

Широкое применение теория взаимодействия станций и участков получила при определении путевого развития станционных приемо-отправочных парков (парков приема и отправления на сортировочных станциях, приемо-отправочных парков сортировочных и участковых станций).

Ранее в работах многих авторов число путей предлагалось определять исходя из суммарного времени занятия их поездами по формуле

$$\underline{a-nt} \tag{1.1}$$

где n —число поездов, обрабатываемых в парке;

t — время занятия пути, равное сумме времени на прием поезда, обработку его по технологическому процессу и освобождение пути при уборке и отправлении, ч;

a - коэффициент (взаимодействие станций и участков).

Д.М. Карамышев предлагал принципиально иную структуру формулы для определения числа путей в периоды сгущенного прибытия поездов

$$\frac{t_{\text{Тег}}}{I_{\text{р}}} \frac{1}{I_{\text{выв}}} \frac{C_{\Gamma} * c_{\Sigma}^1}{I_{\text{выв}}} \quad (2.2)$$

где $T_{\text{ег}}$ - период сгущенного прибытия поездов;

$I_{\text{р}}$ - расчетный интервал прибытия поездов в данный парк за период $T_{\text{ег}}$;

$I_{\text{выв}}$ - интервал вывода поездов из парка;

t - время занятия пути одним поездом по технологическому процессу.

Интерес также представляют работы ряда зарубежных и отечественных специалистов, в которых делается попытка решить задачу о потребном числе путей с использованием теории вероятностей и математической статистики. Однако в этих работах рассматриваются лишь частные случаи (пуассоновское распределение) и сама методика расчетов не имеет подчас законченной аналитической формы.

Профессор Г. Поттгофф [6], например, исходя из показательного распределения интервалов прибытия и показательного распределения интервалов отправления поездов, предложил строить кривые заполнения путей парка и кривые освобождения этих путей и на этой основе определять потребное их количество.

В 1962 году Н.И. Федотов [7] предложил определять потребное число путей в приемо-отправочных парках станции на основе сравнения вариантов путевого развития по годовым приведенным расходам. Недостатком этой методики является то, что число путей ставится в зависимость от стоимости

их укладки и содержания, точно также как и от расходов, связанных с задержками поездов на подходах к станции. При этом, также отсутствует оценка надежности работы станции и прилегающих участков, нет анализа числа поездов, которые будут одновременно задерживаться на подходах и в каких пунктах эти поезда будут размещаться. -----

Несмотря на недостатки рассмотренной методики, заслугой НИ. Федотова является то, что им впервые предложена идея, позволившая по новому подойти к оценке вопроса о возможности задержек поездов. При расчете числа поездов, задержанных на подходе к станции за определенный период, была применена теория вероятностей. Им также была определена вероятность задержки одного поезда

$$P_3 = P_{m+1} P^{\wedge}, \quad (1.3)$$

где P_{m+1} —вероятность подвода $m + 1$ поездов за время T ;

P_Q - вероятность того, что за время T не будет отправлено ни одного поезда;

P_0 - вероятность того, что на момент начала периода T в парке не было ни одного поезда.

Так как принимаемое для расчета вероятностей пуассоновское распределение не являлось универсальной характеристикой распределения прибывающих в парк поездов, то в 1970 году П. С. Грунтов, исходя из заданной вероятности беспрепятственного приема поездов станцией, применил другие приемы определения числа поездов за период сгущенного их прибытия. Аппроксимируя число поездов, прибывающих за период T , функцией плотности вероятностей нормального закона, П.С. Грунтов предлагает находить расчетное число поездов за этот период при заданной надежности p . А в работе [8] предлагается еще один способ расчета

искомых величин. Расчетное число поездов, прибывающих сгущенно за расчетный период G_k , принимается в размере $(M_m + 3a - 1)$.

Из приведенного следует, что попытки использовать в ряде работ отдельных положений теории вероятностей открыли новые аспекты как в расчете числа путей в приемо-отправочных парках, так и во взаимодействии отдельных элементов сортировочных станции и прилегающих участков. Вместе с тем в этих работах содержатся существенные недостатки, потребовавшие дальнейшего совершенствования методики расчетов. Такие возможности были предоставлены в связи с получившей значительное развитие в 70-80-е годы теории массового обслуживания. При этом, на тот период времени определение числа путей на станциях через взаимодействие различных подсистем с применением теории массового обслуживания в работах зарубежных авторов ограничивалось рассмотрением лишь пуассоновского распределения входящего потока поездов. При этом рассматривались лишь вероятностные состояния парка и не приводились выражения для потребного числа путей.

Поэтому в этом разрезе исследований прежде всего следовало бы выделить работы отечественных специалистов Н.Н. Шабалина [9], Г.Е. Казюлина [10] и Сотникова И.Б. [11]. Последним на основе приближенного решения общей задачи для одноканальной системы массового обслуживания были получены выражения для среднего значения и среднего квадратического отклонения числа требований в системе и в очереди. Было сформулировано понятие о надежности работы станции как вероятности беспрепятственного приема поездов и исследовано значение зависимости от числа средних квадратических отклонений, принимаемых в расчете для учета рассеивания числа поездов в парке относительно среднего их значения. Кроме того, в работе [12] методика этих расчетов была изложена более подробно.

Если рассматривать систему парк приема-горка-сортировочный парк как единую систему массового обслуживания, то необходимо отметить ряд

работ отечественных и зарубежных специалистов по определению методик расчета числа путей в сортировочных парках, В этом направлении работали И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страховский [13], Ю.И. Ефименко [14], А.С. Савенко [15], И.Б. Сотников [16], Н.П. Галатченко [17].

Итак становится очевидным, что многие ученые придавали большое значение вопросам взаимодействия станций и участков, особенно при определении путевого развития станционных парков. Как уже отмечалось ранее, первыми работами в этой области следует считать работы Д.М. Карамышева и И.И. Васильева В дальнейшем в работе А.И. Платонова [18] было сформулировано ставшее широко известным основное условие взаимодействия отдельных внутростанционных процессов. Это условие, требующее, чтобы темп обработки составов поездов соответствовал (был равен) или был выше темпа их появления в парке, положило начало теории взаимодействия станционных процессов.

Аналогичные условия были применены И.Г. Тихомировым для исследования взаимодействия других процессов на сортировочных станциях. Предложенное А.И. Платоновым условие взаимодействия оценивалось как интуитивно сформулированное условие стационарного (установившегося) режима работы системы обслуживания, при котором загрузка ее должна быть меньше единицы. Следовательно, стационарный режим является более жестким условием работы системы, нежели условие взаимодействия А.И. Платонова, допускающее также равенство темпов прибытия и обработки поездов, при котором загрузка системы равна единице.

Кроме определения основного условия взаимодействия отдельных станционных процессов, А.И. Платонову принадлежит также заслуга установления взаимосвязи между смежными станционными системами. В частности, он предложил учитывать под накоплением все вагоны данного назначения независимо от того, в каких парках станции они находятся. Из этого предложения, устанавливающего технологическую взаимосвязь между парком приема и сортировочным парком, вытекает практический вывод о

необходимости первоочередной обработки и расформирования составов с замыкающими группами. В дальнейшем И.Г. Тихомировым было установлено условие взаимодействия между горкой и вытяжками формирования, также являющимися смежными станционными системами.

Однако сформулированное А.И. Платоновым условие взаимодействия станционных процессов, равно как и условие стационарного режима работы системы обслуживания, устанавливало лишь качественные соотношения между основными технологическими параметрами отдельных станционных процессов. Количественные же соотношения между НИМИ—должны устанавливаться на основе технико-экономических расчетов и выбора наиболее выгодного варианта обработки составов в отдельных парках.

Однако основным недостатком большинства этих исследований являлось изолированное рассмотрение отдельных станционных систем, а также учет ограниченного числа факторов, влияющих на выбор мощности устройств. Так, например, в отдельных работах предлагалось устанавливать эффективность проведения мер по усилению мощности горки путем сравнения затрат, вызванных этим усилением, и экономии, получаемой за счет снижения простоя вагонов в парке приема. При такой постановке задачи не учитывалась связь между работой парка приема и горки с последующими станционными системами — сортировочным парком и вытяжками формирования.

Как было установлено А.И. Платоновым, на простой вагонов в целом на станции влияет простой не всех составов в парке приема, а лишь составов с замыкающими группами, завершающими накопление в сортировочном парке. Усиление мощности горки должно было рассматриваться в совокупности с возможным перераспределением между горкой и вытяжками работы по окончании формирования поездов. Так В.И. Отпущенковым была приведена постановка задачи, содержащей элементы комплексного подхода к оценке взаимодействия отдельных станционных процессов.

В начале 70-х годов И.Б. Сотниковым [16] была опубликована методика аналитических расчетов по выбору мощности комплекса сортировочных устройств. Более подробно эта методика и результаты расчетов были приведены в [12]. В этой же работе были также подробно рассмотрены и другие теоретические вопросы по-взаимодействию станций и участков железных дорог, такие как исследование надежности работы прилегающих участков, парков и горки; расчеты числа путей и мощности устройств станции; условия взаимодействия различных подсистем сортировочной станции и прилегающих участков и т.д. Основные выводы в данной работе были произведены в результате анализа работы сортировочной станции и прилегающих участков как системы массового обслуживания, с применением вероятностных методов.

Кроме работ И.Б. Сотникова необходимо отметить и работы других специалистов. Так в 80-х годах вопросами развития сортировочных станций и исследованиями их взаимодействия с прилегающими участками занимались В.М. Акулиничев [19, 20], Н.В. Правдин, В.Я. Негрей [21], Е.А. Сотников [22], П.С. Грунтов [23], А.В. Быкадоров [24] и др.

В последние годы вопросами совершенствования технологии работы сортировочных станций, а также вопросами взаимодействия комплекса сортировочная станция — прилегающие участки занимались Т.Н. Сакульева [25], Д.А. Мачерет, А.А. Кузнецова [26,27], Е.В. Нагорный и др.

Б.В. Нагорным в работе [28] проведен подробный анализ всех сортировочных станций Украины с указанием недостатков в технологии работы и техническом оснащении. Проанализировав практику развития сортировочных станций Украины, им было отмечено наличие диспропорций в развитии отдельных звеньев, недостаточное техническое развитие, нерациональное технологическое обеспечение.

Для железных дорог Украины характерна завершенность развития сети дорог в количественном отношении и высокое постоянство транспортно-экономических связей с большим уровнем их замкнутости в пределах

территории государства. Это обеспечивает определенную неизменность плана формирования поездов в течении продолжительного времени, что в свою очередь обеспечивает соответствующее постоянство в размещении сортировочных станций на сети железных дорог Украины.

Отмеченные выше особенности развития и функционирования предопределяют выбор основных направлений развития сортировочных станций, а именно: без пересмотра их размещения на сети, то есть необходимо решать проблему на микроуровне развития станций.

На железных дорогах Украины сортировочные станции размещены:

в районах массовой погрузки-выгрузки угля (Донбасс, Павлоградское месторождение, Львовско-Волынский бассейн), руды (Криворожский бассейн), нефти и нефтепродуктов (Нефтеперерабатывающие заводы и пункты перегрузки из нефтепродуктов на железную дорогу);

на подходах к крупным промышленным центрам (Харьков, Днепропетровск, Днепродзержинск, Киев, Запорожье, Краматорск и др.);

вблизи крупных речных и морских портов;

в железнодорожных узлах, где значительные вагонопотоки между сходящимися линиями и перестраиваются большое число поездов (Киевский, Харьковский, Днепропетровский, Львовский, Одесский, Дебальцевский, Ясиноватский, Иловайский и др.)

Сортировочные станции размещены на сети железных дорог неравномерно. Это объясняется сложившимся расположением промышленных центров и крупных городов. Так на территории Донецко-Приднепровского района размещено почти 50% станций; Юго-Западного — 39%; Южного — 12% станций. Соответственно расстояние между сортировочными станциями равны 397, 538 и 498 км, а в границах Донецкой дороги — 283,5 км.

Наибольшее значение имеют сортировочные станции, обеспечивающие переработку потоков в крупнейших узлах: Харьков, Красный Лиман, Ясиноватая, Дебальцево, Днепропетровск, Запорожье, Кривой Рог, Дарница,

Львов, Одесса. Ряд станций обслуживают узлы с большой местной работой: Дарница, Львов, Клепаров, Апостолово, Запорожье-Левое, Кривой Рог-Сортировочный, Ясиноватая, Никитовна, Красноармейск, Кременчуг и др.

Часть сортировочных станций региона являются одновременно предпортовыми, обеспечивающими перевалку грузов в морских и речных портах. Это станции: Кременчуг, Нижнеднепровск, Запорожье, Керчь, Николаев-Сортировочный, Одесса-Сортировочная, Одесса-Засгава.

В соответствии с общепринятой классификацией на железных дорогах Украины из общего числа сортировочных станций 37% - двусторонних и 63% - односторонних.

Все сортировочные станции Украины оснащены сортировочными устройствами: 95,8% - сортировочными горками, 4,2% - вытяжными путями (станции Киев-Волынский и Черновцы). Из общего числа сортировочных станций Украины только 4% имеют автоматизированные горки; 50% оборудованы механизированными горками; 16,3% — немеханизированными; 29,7% - горками малой мощности и полуторками.

Анализ эксплуатационной работы сортировочных станций показал, что за период 1970-1987 годы характерна неустойчивая работа станций, увеличение времени нахождения вагонов на них и ростом числа задержанных поездов на подходах по неприему.

Аналогичная ситуация в этот период была характерна и для сортировочных станций за рубежом, несмотря на вложение значительных средств на их строительство [29, 30].

После распада Советского Союза работа отечественных сортировочных станций еще более дестабилизировалась [26]. Средний простой под одной технической операцией в период 1991-1996 годов неуклонно снижался (на 8,2%), а без переработки в 1992-1993 гг. возрастал (на 10,6%), но его общую тенденцию за 6 лет также можно охарактеризовать как уменьшение (на 9,1%). Средневзвешенное время нахождения вагона на одной технической станции, соответственно, тоже снижалось. Однако общий

простой на технических станциях за оборот в 1996 году был на 7,8% больше, чем в 1991 году. Время нахождения под операциями с переработкой возросло на 8,8%, а без переработки—на 5,1%

Этот рост был обусловлен увеличением числа технических станций, проходимых вагоном за время полного оборота. Оно составило 13,3%, в том числе с переработкой 21,5%, а без переработки — 9,4%.

Рост числа технических операций с вагоном за оборот следует сопоставить с изменением полного рейса вагона — расстояния, проходимого за время оборота. В 1996 году полный рейс вагона на сети был на 15,5% больше по сравнению с 1991 годом. Таким образом, общее число технических операций возросло в меньшей степени, чем рейс вагона. В то же время число переработок за оборот возросло в значительно большей степени, чем полный рейс вагонов.

Как видно из вышеперечисленных факторов, нынешняя методология распределения работы между сортировочными станциями, а также между сортировочными станциями с прилегающими участками, основанная на минимизации суммарных затрат вагоно-часов на накопление и переработку поездов, не обеспечивает оптимальных показателей, которые особенно важны в жестких условиях транспортного рынка.

На зарубежных железных дорогах, с целью привлечения клиентуры в условиях конкуренции с другими видами транспорта, сегодня наибольшее внимание уделяется таким показателям работы, как скорость и надежность доставки. Поэтому для выполнения этих показателей работа по переработке составов концентрируется на меньшем числе сортировочных станций. При этом, на зарубежных железных дорогах стремятся добиться максимальной пропускной способности участков [31, 32].

Кроме того, на отечественных и зарубежных железных дорогах разрабатываются новые модели управления, основанные на теории игр, теории управления запасами, теории линейного программирования;

разрабатываются имитационные модели управления и новые логистические системы транспортного комплекса.

Исходя из проведенного анализа отечественного и зарубежного опыта взаимодействия отдельных подсистем транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки», необходимо сделать следующие выводы:

1) выполненные исследования по изучению сортировочных станций и их взаимодействия с прилегающими участками имеют большое значение для изучения вопроса выбора моделей представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса;

2) невыполнение транспортным комплексом «Сортировочная станция — прилегающие участки» оптимальных показателей работы требует совершенствования методологии оптимизации функционирования как сортировочных станций, так и прилегающих участков;

3) изменившаяся ситуация на транспортном рынке требует пересмотра сложившихся методик расчета параметров отдельных подсистем транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», с целью повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

1.2. Анализ надежности транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»

Для современного состояния железных дорог Украины характерна общая тенденция спада объемов грузовых перевозок. Несмотря на это, в последние годы Украина прочно удерживает за собой 6-9 места по таким показателям, как годовой грузооборот и количество перевезенного груза [32, 33, 86]. Это обусловлено тем, что общая сеть железных дорог Украины имеет 22563,8 км, на которой расположено 48 сортировочных станций.

Необходимость организации фирменного транспортного обслуживания грузовладельцев в условиях продолжающегося спада перевозок заставляет по-новому оценить проблему взаимодействия сортировочных станций с прилегающими участками и надежность всех элементов транспортного комплекса [25,27,34,35,36,37].

При анализе надежности работы сортировочных станций и прилегающих участков следует учитывать, что фактическая эксплуатация опорных станций все больше подчиняется не столько требованиям сетевых направлений, сколько интересам конкретных дорог. В результате экономия от сокращения переработки поездов в пути следования получают одни дороги, а дополнительные издержки на станциях формирования и выгрузки несут другие.

Неменяющаяся в течение многих десятилетий технология перевозочного процесса практически «заморозила» скорость продвижения вагонов, хотя наблюдается некоторое повышение технической и участковой скорости. Это связано с тем, что растущее на Украине число производителей и потребителей продукции, расширяющиеся регионы размещения пунктов погрузки и выгрузки, меняющиеся транспортные связи и неравномерность перевозок не вписываются в детерминированную модель организации перевозочной работы, которая отражается в плане формирования поездов. Действующая методика расчетов исходит из среднесуточных плановых вагонопотоков и не учитывает их колебаний. В то же время расчетный среднесуточный вагонопоток, по которому составляется план формирования, редко совпадает с действительным.

Эти факты являются одной из главных причин не оптимальности схемы распределения сортировочной работы между станциями, вызывающей либо непредвиденные задержки вагонопотоков, либо — недоиспользование технических возможностей станций и прилегающих участков. Кроме того, по причине отступлений от технологического процесса, предоставления «окон» для ремонта пути и сбоев в движении остаются значительными задержки

поездов на подходах к сортировочным станциям. А время задержек по приему станциями напрямую влияет на такой важный показатель, как вагонооборот.

В связи с этим сеть железных дорог (или отдельный полигон) с эксплуатационной точки зрения нужно представить как совокупность районов местной работы, то есть железнодорожных направлений, расположенными между крупными сортировочными станциями. Каждый район местной работы будет включать малые сортировочные и участковые станции, которые будут являться границами поездоучастков, на которых находятся грузовые и промежуточные станции. Технология поездной работы должна быть построена таким образом, чтобы в рамках каждого района местной работы с заданным уровнем надежности выдерживался установленный срок доставки грузов и при этом обеспечивалась нормативная) стоимость перевозок.

Уровень надежности соблюдения установленного срока доставки может быть определен как соблюдение перегонных времен хода поездов и уменьшения времени средневзвешенного простоя на технических станциях. При его оценке должно учитываться, что опоздание на одном этапе может компенсироваться на других этапах. Тогда заданный уровень надежности доставки в рамках каждого района будет определяться на основе требуемой вероятности доставки груза в течении нормативного срока. Таким образом, уровень надежности для конкретного района может быть меньше д рассчитанного только в том случае, если для другого района он будет выше настолько, чтобы в целом на всем пути следования обеспечивалась достаточная надежность доставки.

Аналогично, исходя из требуемого уровня надежности, определенного для каждого района, должна оцениваться надежность доставки для его элементов — участков, отдельных сортировочных станций и станционных систем. С этих позиций надежность работы станции следует рассматривать

как вероятность обеспечения такого уровня обслуживания поездопотока, которое соответствует доставке груза в установленный срок.

Таким образом, хотя вероятностный подход к работе сортировочных станций не отбрасывается, она должна рассматриваться не как цепь случайностей, а как процесс, управляемый исходя из общих целей транспортного процесса.

Если к управлению взаимодействием сортировочной станцией и участков применять целевой подход, то следует выявить и устранить причину сверхнормативных простоев ^{тмед<Ж.....В^.}УЧ№П®. То есть оптимизации технологии работы сортировочных станций и прилегающих участков должны предшествовать поиск и выявление ограничивающих элементов, которые в дальнейшем потребуют усиления. Нахождение таких элементов представляет собой трудоемкую задачу, так как в сложных системах, к которым относится транспортный комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки», очередь перед каким-либо элементом и его низкая эксплуатационная надежность являются следствием недостаточной мощности не только данного элемента, но и следующих.

Если же в краткосрочном периоде невозможно полностью ликвидировать все задержки на ограничивающих элементах, то надо добиться компенсации колебаний времени на участке при сортировке вагонов, с тем чтобы общая надежность продвижения вагонов через транспортный комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» была на расчетном уровне.

Предлагаемый подход позволит обеспечить согласованное взаимодействие всех элементов сети на основе нисходящего управления, исключив моделирование ее работы исходя из представлений о случайном характере поездопотоков.

1.3. Постановка задачи, цель и методы исследования

По результатам анализа отечественного и зарубежного опыта взаимодействия отдельных подсистем транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки», а также из результатов анализа надежности его работы определены следующие недостатки:

1. В условиях спада объемов перевозок не достаточно внимания уделяется постановке и решению задач по реорганизации отрасли;

2. В условиях транспортного рынка не всегда усилия направлены на удержание и привлечение клиентуры. Это снижает конкурентоспособность железной дороги по отношению к другим видам транспорта;

3. Не соблюдается оптимальный уровень обслуживания поездопотоков, вследствие чего не обеспечивается сохранность перевозок и доставка груза точно в срок;

4. Недостаточное внимание уделяется надежности перевозок, то есть надежности работы отдельных транспортных систем и их взаимодействию;

5. Проблема взаимодействия сортировочных станций и прилегающих участков не решена, большое число не подлежащих прогнозированию операций нарушает ритмичность обработки поездопотока;

6. Взаимодействие сортировочных станций и участков рассматривается лишь с позиции соответствия пропускных способностей участков и перерабатывающей способности станции в целом и отдельных станционных подсистем;

7. Транспортный процесс рассматривается как цепь случайных событий, хотя он регламентируется организованными составляющими (технологическими процессами грузовых и технических станций, планом формирования, графиком движения поездов и т.д.);

8. Комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» представлен в виде сети, состоящей из нескольких систем массового обслуживания, взаимодействующих между собой, а не из одной;

9. Каналы обслуживания имеют ряд недостатков, которые заключаются в краткосрочных изменениях обращения потребителей, а также времени обслуживания. Это ведет или к избыточной пропускной способности в определенные моменты времени, или к появлению очередей;

10. Недостаточное внимание уделяется разработке новых моделей управления транспортным комплексом «Сортировочная станция — прилегающие участки».

Таким образом, введение в практику новой методологии управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки», технологических и экономических показателей, основанных на теоретических разработках данной диссертационной работы, позволяет квалифицировать ее как актуальную, направленную на решение важной научной задачи — повышение эффективности управления транспортным комплексом «Сортировочная станция — прилегающие участки» железных дорог.

Целью диссертационной работы является разработка модели транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» для выбора рациональной технологии его функционирования.

Цель исследований определила круг задач, решаемых в диссертации:

1. Выполнить анализ существующих моделей представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»;
2. Обосновать выбор моделей представления производственной ситуации в транспортном комплексе «Сортировочная станция — прилегающие участки»;

3. Сформировать концепцию и разработать принципы формирования модели комплекса;
4. Разработать логистическую систему транспортного комплекса «Сортировочная станция—прилегающие участки»;
5. Разработать методологию экономической оценки модели управления функционированием и развитием транспортного комплекса «Сортировочная станция—прилегающие участки».

Общий методический подход к решению поставленных задач состоит в использовании общей теории транспортных систем, теории сетей Петри, приемов и методов теории массового обслуживания, системы исследования операций на транспорте, моделирования, экономического анализа и теории логистики.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИТУАЦИИ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ «СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ - ПРИЛЕТАЮЩИЕ УЧАСТКИ»

2.1. Анализ существующих моделей

представления производственной ситуации в транспортном комплексе «Сортировочная станция - прилегающие участки»

Как отмечалось в п. 1.1 настоящей работы, традиционно взаимодействие сортировочных станций и участков рассматривалось с позиции соответствия пропускных способностей участков и перерабатывающей способности станции в целом и отдельных станционных подсистем. Исходя из этого проводились расчеты числа путей в приемо-отправочных парках; определялись эффективность усиления мощности горки и сокращения горочного интервала, количество горочных и маневровых локомотивов; осуществлялся комплексный выбор технического оснащения участков и станций

В настоящее время уже существует ряд математических методов и моделей оптимального управления транспортным комплексом «Сортировочная станция—прилегающие участки» [42,43].

В последние годы математические методы исследования работы транспортного комплекса развивались в основном в двух направлениях: детерминистском и вероятностном. В первом случае процесс взаимодействия сортировочных станций и участков рассматривается как своеобразный конвейер, а его составные части — парки станции, прилегающие участки и направления — как его звенья. При этом, связи между элементами представляются в виде жестких аналитических зависимостей. Во втором случае отдается предпочтение предположениям, что эксплуатационные

процессы носят вероятностный, корреляционный, а не однозначно детерминированный характер. Часто оба этих подхода сочетаются в форме, например, средневзвешенных величин (длина поезда, время обслуживания, интервалы и т.п.) и эксплуатационных констант (коэффициенты съема, параметр накопления и т.п.), значение которых устанавливается на основании наблюдений и вероятностных представлений о процессах. Такой метод более обоснован, так как транспортный процесс, включающий элемент случайности, не представляет собой чисто случайный процесс. В нем исключительно высока роль «организованной» составляющей — графика движения поездов на прилегающих участках, технологических процессов и особенностей схем сортировочных станций. Поэтому формулы, разработанные на основании только вероятностного или детерминистского подхода к процессу работы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки», часто не соответствуют существующей системе работы транспорта.

Из математических методов на транспорте в последнее время большое распространение получили различные разновидности метода линейного программирования [44]. В задачах линейного программирования условия, налагаемые на область допустимых значений переменных, определяются системой линейных неравенств или равенств, при этом искомая величина является также линейной функцией тех же переменных.

Сущность линейного программирования достаточно характеризует решение так называемой «транспортной задачи» [45], (частью которой является комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки»):

Из m пунктов отправления, в каждом из которых имеется по a_i единиц груза, необходимо перевезти в n пунктов назначения по b_j единиц однородного или взаимозаменяемого груза ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$). Математически задача сводится к нахождению таких неотрицательных значений x_{ij} , удовлетворяющих уравнениям

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = a_j; \quad (2.1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = b_i, \quad (2.2)$$

где X_{ij} — количество груза, и «мого из г в j;
 C_{ij} - стоимость перевозки единицы груза.

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} = \min,$$

В связи с тем, что нельзя мгновенно перераспределить грузопотоки и перенести пути сообщения, построенные на первом этапе, на новые трассы, линейное программирование дает лишь оптимум данного статистического состояния, а не оптимум процесса изменения или развития. Кроме того, себестоимость перевозок C_{ij} не является постоянной величиной, а меняется с изменением X_{ij} , поэтому задача фактически является нелинейной.

Выход из создавшегося положения с применением теории «транспортной задачи» линейного программирования на реальном транспорте некоторые специалисты видят в дальнейшем усовершенствовании методов математического программирования, в разработке методов параметрического, стохастического, целочисленного программирования и т.п. [46,47].

С использованием метода целочисленного программирования решаются фактически те же статические задачи, в которых переменные по своему физическому смыслу могут принимать лишь ограниченное число дискретных значений и выражаться только в целых числах.

Параметрическое программирование используется не столько для отражения динамики процессов, сколько для учета влияния вариации отдельных параметров задачи в некоторых пределах. Частным случаем параметрического программирования является теория управления запасами,

суть которой заключается в нахождении оптимального решения, при котором суммарные затраты на вложения в новые технологии и развитие технического оснащения комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» (Y_t) и хранение запасов (St) за период t будут наименьшими

$$\sum_{r=1}^2 St + Yt = \min, \quad (2.4)$$

$$\dots b \sim \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \quad \blacksquare \text{ --- } \blacksquare \blacksquare \text{ ----- } \Gamma \quad (2.5)$$

где e — параметр изменения по Yt ;

a — стоимость нововведений на ед иницу измерения;

b - стоимость хранения запасов за единицу времени.

Широкое распространение получили также сетевые графики теории графов [48, 49], которые могут эффективно служить управлению сложными разветвленными процессами, достаточно длительными по своей продолжительности. С помощью сетевых графиков можно достигнуть согласованности отдельных операций и процессов по длительности и очередности. Но рассчитывать на выход в конце цикла на какой-то, заранее вычисленный, показатель здесь также не приходится. Действие многих объективных факторов может повести процесс совсем не по тому руслу, что намечалось.

Некоторые недостатки, свойственные линейному программированию, устраняются применением так называемых комбинаторных методов. Современный уровень разработанности комбинаторных методов для решения задач транспорта (план формирования поездов, размещение устройств на сортировочных станциях и др.) не дает развертывающейся во времени картины развития процесса или объекта, так как комбинируемые элементы, как правило, находятся в статичном, наперед заданном, состоянии.

Сегодня следует заметить, что в настоящее время пропускные и перерабатывающие способности, как правило, не лимитируют перевозочный процесс. Важнейшее значение приобретает надежность перевозок, а значит — надежность работы отдельных транспортных систем и их взаимодействия.

Под надежностью работы станции обычно понималась вероятность беспрепятственного пропуска поездов. Причем поездопотоки и время их обработки рассматривались как вероятностные величины, подчиняющиеся какому-либо закону распределения случайных величин (Пуассона или Эрланга). Сам комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» представлялся в виде сети, состоящей из нескольких систем массового обслуживания, взаимодействующих между собой [12,50,51,52].

Основная причина недостатка в каналах обслуживания, по мнению ряда зарубежных специалистов, заключается в краткосрочных изменениях обращения потребителей, а также времени обслуживания. Это ведет или к избыточной пропускной способности в определенные моменты времени или к появлению очередей, хотя пропускная способность могла бы быть достаточной, если бы осуществлялся полный контроль за поступлением требований. Следовательно, на сегодняшний день нельзя останавливаться только на моделировании вероятностного характера работы сортировочных станций и продвижения поездопотоков. Нужно управлять ими таким образом, чтобы сделать сортировочную работу и продвижение вагонов более предсказуемыми и надежными.

Из методов, основанных на теории вероятностей, необходимо также отметить теорию игр и решений [53], которая изучает математические модели, где участники (различные виды транспорта и клиентура) имеют определенные интересы и располагают для достижения своих целей более или менее свободно выбираемыми путями (стратегиями). Каждый из участников может воздействовать на исход, но не может его определить. С другой стороны, исход не может быть чисто случайным. Теория игр рассматривает задачу выбора оптимального поведения с учетом возможных

действий всех участников и случайных факторов. В качестве стратегий часто принимаются функции времени. Между тем процессы развития в системах не всегда могут быть заранее заданы какими-либо функциями.

Вопрос оптимального управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки» затрагивался также в такой науке, как кибернетика [54], которая в основном сосредоточила свое внимание исключительно на управлении различными объектами.

Преодолением затруднений, которые возникли при кибернетическом подходе, занимается теория систем. Теория систем исходит из того, что управление любым транспортным комплексом нельзя изучать в отрыве, изолированно от управляемой системы, и стремится изучать не управление как таковое, а всю совокупность процессов жизнедеятельности системы, для которой управление — лишь одна из важных ее сторон.

В этой связи возникает ряд вопросов, связанных с применением математики, которая нашла широкое применение не только в технических, но и в экономических науках. Как известно, математика является своеобразным инструментом, специально приспособленным для работы с отвлеченными понятиями всех типов. Математическим путем можно доказать определенные свойства или черты реальных объектов. Доказать же строго математически, например, что комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» должен развиваться в каком-то определенном направлении, невозможно, так как развитие любого транспортного комплекса не относится к абстрактным математическим законам. Математика дает лишь соответствующую абстрактную структуру, пригодную для создания моделей тех или иных реальных объектов, предопределяя тем самым высокую степень общности их понимания. Таким образом, каждая математическая зависимость является лишь приближенным отображением реальных процессов, происходящих на станциях и прилегающих участках.

Реальный транспортный процесс нельзя также рассматривать как цепь случайных событий, так как он регламентируется организованными

составляющими — планом формирования и графиком движения поездов, технологическими процессами грузовых и технических станций и т. д.

Таким образом, не пренебрегая вероятностными и математическими методами моделирования, нельзя сводить процесс функционирования станций и участков к случайному, а наоборот, нужно повышать роль его организационной составляющей.

Поэтому комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» следует рассматривать не только как абстрактную математическую модель или совокупность нескольких систем массового обслуживания, но и как единую систему. При этом, работа этой системы должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к транспортному процессу, которые, в основном, можно свести к двум основным: сохранная доставка к заданному сроку и приемлемая стоимость перевозки.

Недостатки большинства описанных моделей связаны с невозможностью полного описания структуры и технологии работы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки». В значительно большей степени поставленным требованиям отвечают математический метод имитационные модели [42,45, 55, 56].

Отличительной особенностью имитационного моделирования является полное отсутствие каких-либо реальных взаимодействий между моделью и оригиналом. В процессе моделирования устанавливается только контролируемая информационная связь с моделью. Имеющийся запас знаний об оригинале переносится на модель, испытание которой, в свою очередь, дополняет информацию об интересующих сторонах структуры или функций объекта.

Имитационное моделирование имеет большие возможности для решения следующих задач:

- научно обоснованного прогнозирования и нормирования простоя вагонов на станциях;

- выполнение подробного и глубокого анализа работы системы при существующих нагрузках, технологии и управлении с целью выявления ограничивающих элементов, потерь и разработки предложений по их устранению;
- сравнения и выбора наилучших технических, технологических и схемных решений в диалоговом режиме по схеме: предлагаемый вариант технического и технологического усовершенствования — прогноз основных эксплуатационных показателей и т. д.

Для разработки модели комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» необходимо в процессе имитации воспроизводить не только нагрузки на станцию с прилегающими участками как систему, а также осуществлять соответствующее управление поведением системы. То есть посредством изменения определенных параметров воздействовать на поведение системы и на выходные данные процесса моделирования. Для этих целей необходимо задать вектор управляющих переменных

$$J = (J_{\text{н пр}}; J_{\text{тгг о п}}; J_{\text{пхо п}}; J_{\text{док}}; J_{\text{г}}; J_{\text{в}}; J_{\text{тгг о}}, J_{\text{пхо о}}; J_{\text{о}}; J_{\text{уп уд}}) \quad (2.6)$$

В этом векторе начальным компонентом является интервал поступления поездов на станцию. Одним из главных компонентов является интервал работы бригад ПТО, зависящий от числа бригад Бпто и времени обработки поезда бригадой $t_{\text{пго}}$. При этом последняя величина может, в свою очередь, имитироваться как некоторая случайная величина. Кроме того, в число управляющих переменных входит также интервал работы каналов ПКО, зависящий от числа звеньев работников ПКО, обрабатывающих поезда ПО прибытию, $B_{\text{пко}}$ И Времени обработки документов $t_{\text{док}}$, которое также может имитироваться. Таким образом, в целом работа на каждой технологической линии комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» интерпретируется как функционирование многофазовой и многоканальной системы массового обслуживания. В число компонентов

вектора управления входят также интервалы по каналам ПТО и ПКО по отправлению (J_{p0} , J_{n0}), ЗаВИСЯЩИС соответственно ОТ Бпто, тiрго И Бпко, тtiКО.

При этом временные составляющие могут рассматриваться как случайные величины и имитироваться на ЭВМ в соответствии с заданными функциями распределения.

При моделировании особая роль отводится таким управляющим переменным, как горочный технологический интервал J_g и интервал перестановки составов в парк отправления J_v . Горочный интервал формируется в зависимости от взаимного расположения парков приема и сортировочного, числа одновременно работающих горочных локомотивов M_g , времени роспуска составов t_p , которое также может имитироваться в соответствии с заданным законом распределения или определяться для каждого рассматриваемого варианта схемы и числа одновременно работающих локомотивов как некоторая стандартная величина. То же самое относится и к интервалу перестановки составов, который определяется задаваемым в числе исходных данных числом параллельно работающих локомотивов по окончанию формирования составов и временем выполнения операций по окончанию формирования, перестановки, возвращению локомотива в сортировочный парк. Временные значения также, в свою очередь, могут нормироваться для каждого канала и задаваться постоянными или имитироваться в ЭВМ по заданным распределениям с помощью датчика псевдослучайных чисел.

Начальное состояние системы имитационной модели комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» определяется числом подходов к станции, а также положением парков прибытия, отправления, сортировочного и транзитного на начало периода моделирования. В большинстве моделей парки принимаются полностью свободными, а показатели системы начинают учитываться лишь после перехода системы в стационарный режим, на что достаточно одних суток. Достоинством этого

распределения числа вагонов и составов на начало моделирования, а также сокращение объема исходной информации.

Основные параметры работы системы изменяются под воздействием нагрузки и управления на имитационную модель. Эти параметры в модели играют роль фазовых переменных, которые могут изменяться, например, в зависимости от величины транзитного и перерабатываемого потока, числа и мощности назначений плана формирования, неравномерности прибытия и отправления поездов. То есть в зависимости от нагрузки на систему.

Кроме нагрузки на изменение показателей влияет и воздействие управления: управляющих воздействий оперативных работников (ДСЦ, ДСП и др.), числа и мощности бригад ПТО и ПКО, числа маневровых локомотивов на горке и вытяжных путях, технического оснащения и путевого развития. Путем изменения этих факторов возможно управление показателями работы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки». Продолжительность технологических операций (t_{mo} ; Бш ; Б^* ; t_p ; Юф и т.д.) и время технологических интервалов работы вышеперечисленных каналов определяют управляющие переменные. Воздействие факторов нагрузки и управления определяет величину количественных и качественных показателей (фазовых переменных системы).

Представление комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» в виде композиции взаимодействующих элементов системы — участков приближения, бригад ПТО и ПКО парка прибытия, каналов горки, вытяжных путей формирования и т.д. позволяет создавать модели на основе типовых операторов. При этом каждое требование предыдущего канала является входным для последующего. Тем самым учитываются прямые и обратные связи между обслуживаемыми каналами. К тому же отпадает необходимость дополнительных статистических исследований для каждого канала в отдельности. Достаточно промоделировать лишь входные потоки, так как все остальные внутростанционные потоки образуются путем

трансформации в обслуживающих каналах входного потока. Это достигается путем решения уравнения баланса работы подсистем

$$N_{ik} = N_{(i-1)k} + N_{ina} - N_{iBMB}, \quad (2-7)$$

где N_{ik} — число вагонов в на конец i -го шага моделирования;

$N_{(i-1)k}$ -то же, на конец $i-1$ шага;

N_{ina} - число вагонов, поступивших на обслуживание за i -й шаг;

N_{iBMB} - число вагонов, завершивших обслуживание за i -й шаг.

Таким образом видно, что комплекс «Сортировочная станция - прилегающие участки» представляет собой сплошную систему, включающую несколько технологических линий, а также значительное число взаимодействующих подсистем и их элементов, объединенных в одно целое множество функциональных технологических прямых и обратных связей, возникающих при реализации технологического процесса

В случае расчленения такого сложного комплекса на составляющие элементы и их изолированного исследования с последующим суммированием результатов, при наличии отказов в работе подсистем, происходит существенное искажение выходных данных. Такое искажение наблюдается не только при использовании аналитического аппарата для расчета показателей подсистем, но и при разработке независимых для отдельных подсистем имитационных моделей. Это связано с тем, что в силу сложности системы не всегда удается осуществить ее полное адекватное аналитическое описание.

Таким образом, видно, что, несмотря на то, что имитационное моделирование имеет большие возможности по детальному представлению структуры и технологии работы транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки», оно сложно в применении на практике. Основным недостатком метода имитационного моделирования является

трудоемкость построения модели, большие затраты времени и, как следствие, низкая оперативность результатов.

Поэтому в современных условиях очевидна необходимость создания новых автоматизированных методов и моделей как отдельных станций, так и всего транспортного комплекса в целом. - .. _

2.2. Теоретические основы сетей Петри для разработки модели представления производственной ситуации комплекса «Сортировочная станция—прилегающие участки»

Из результатов анализа существующих моделей оптимального управления работой комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» видно, что используемые в настоящее время методы не всегда полностью отвечают требованиям оперативности и точности расчетов.

Главная причина сложности задач проектирования и создания новых моделей уже не столько связана с большим числом элементов, входящих в проектируемую систему, сколько в усложнении причинно-следственных связей в комплексе взаимодействующих, взаимосвязанных и взаимозависимых компонентов. Возникает качественно новая задача по установлению, описанию и последующему воспроизведению причинно-следственных связей и взаимодействию между элементами системы. К решению этой задачи позволяют прийти системы параллельной обработки информации и системы параллельно действующих объектов. Одной из наиболее передовых и современных систем этого профиля является теория сетей Петри [38,57,58].

Сети Петри представляют собой графическое и математическое средство моделирования, применимое к системам самых различных типов: вычислительной техники, социологии, юриспруденции, химии, экономики,

транспортным системам и т.д. Сети Петри представляют собой перспективный инструмент описания и исследования мультипрограммных, асинхронных, распределенных, параллельных, недетерминированных и (или) стохастических систем обработки информации [39].

Понятие сетей Петри было впервые введено в 1962 году в диссертации К. А. Петри [40], представленной к защите на физико-математическом факультете Дармштадского технического университета, Германия. На сегодняшний день сети Петри уже применимы в любой области для любой системы, где возможно графическое изображение объекта в виде блок-схемы и где требуется средство представления параллельных процессов.

Сеть Петри представляет собой некоторую разновидность ориентированного графа с заданным начальным состоянием, которое называется начальной маркировкой (или разметкой) M_0 . Граф N сети Петри является ориентированным взвешенным двудольным графом и включает узлы (вершины) двух типов, называемые позициями (местами) P и переходами T , дуги в котором ведут либо из позиции в переход, либо из перехода в позицию. В графическом представлении позиции изображаются кружками, а переходы - жирными черточками (рис. 2.1). Дуги помечаются соответствующими весами (целыми числами), и дугу с весом k можно считать эквивалентной k параллельным дугам. Маркировка (состояние) приписывает каждой позиции целое неотрицательное число $M(P)$ равное числу фишек в позиции P .

Таким образом, формальное представление сети Петри имеет вид

$$PN = (P, T, F, W, M_0), \quad (2.8)$$

где $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ - конечное множество позиций;

$T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ - конечное множество переходов;

F — множество дуг (потокосов отношений);

$$F_c(P_x T) U(r_x P), \quad (2.9)$$

$W:F \rightarrow (1,2,3,\dots)$ — весовая функция;

$M_0:P \rightarrow (0,1,2,3,\dots)$ — начальная маркировка.

В задачах моделирования, где применяются понятия условий (состояний) и событий, позиции соответствуют условиям, а переходы — событиям. Каждый переход (событие) связан с определенным числом входных и выходных позиций — аналогов соответственно предусловий и постусловий этого события. Наличие фишки в некоторой позиции интерпретируется как истинность условия, соответствующего данной позиции, а также указывает на наличие в позиции k элементов данных или соответствующего количества ресурсов.

Фрагмент сети Петри приведен на рис. 2.1.

Сеть Петри функционирует путем срабатывания переходов, ведущих к изменению разметки сети. При моделировании динамики системы состояние (маркировка сети Петри) сменяется согласно правилу запуска перехода [59]:

1. Переход разрешен если все входные позиции P перехода помечены не менее чем $W(P, I)$ фишками, где $W(P, T)$ — вес дуги, ведущей из P в T ;
2. Запуск разрешенного перехода носит случайный характер (в зависимости от наступления или ненаступления соответствующего события);
3. Запущенный переход T изымает $I(P, T)$ фишек из каждой своей входной позиции и добавляет $W(T_f P)$ фишек в каждую свою выходную позицию; здесь $W(T, P)$ — вес дуги, ведущей из T в P .

Формальное определение процесса срабатывания перехода имеет вид

$$\forall p_i \in P, M(P) - F(P_i, T_i) > 0 \quad (210)$$

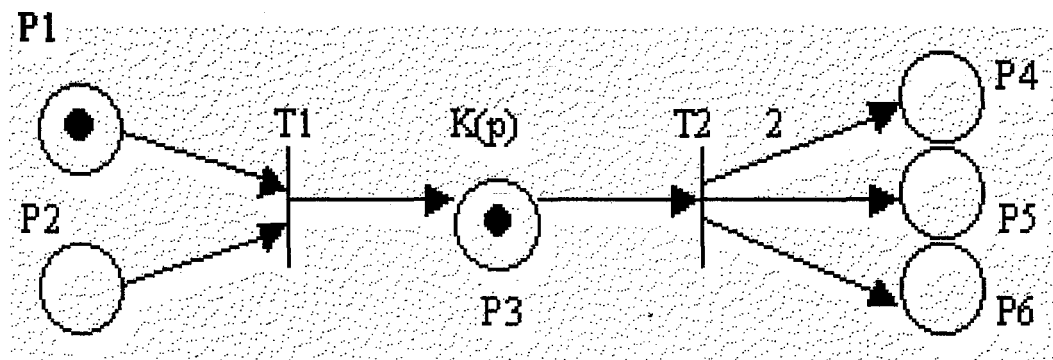


Рис. 2.1 — Фрагмент сети Петри

В результате срабатывания перехода T_i при разметке M последняя сменяется разметкой M' по правилу

$$\forall p \in P, M'(P_i) = M(P_i) - \wedge P_i T_i + P \text{Щ } P_i \quad (211)$$

Рассмотренное условие разрешения запуска перехода предполагает возможность отметить любую позицию неограниченным числом фишек (сеть с неограниченной емкостью). При моделировании многих реальных систем естественно вводить верхний предел числа фишек, которые могут находиться в каждой позиции (сеть с ограниченной емкостью). В сети (N_f, M_0) с ограниченной емкостью каждой позиции P ставится в соответствие максимальная емкость $K(P)$ - максимальное число фишек, которое одновременно может находиться в этой позиции. Разрешенный переход T в сети с ограниченной емкостью должен удовлетворять жесткому правилу перехода (дополнительному условию, согласно которому число фишек в каждой выходной позиции P перехода T не должно после его запуска превосходить $K(P)$)

Переход, не имеющий ни одной входной позиции, называется истоком, а переход, не имеющий ни одной выходной позиции — стоком. Если сеть не имеет петель (позиция P одновременно служит входной и выходной позицией перехода T), то она является однородной. Сеть Петри называется ординарной (простой) если вес любой ее дуги равен 1.

Переход сети от одной разметки к другой разметке изменяет условия в системе, моделируемой данной сетью. Изменение условий приводят к изменениям действий (событий). Срабатывание перехода удаляет фишки, представляющие выполнение предусловия, и образуют новые фишки, представляющие выполнение (наличие) постусловий, и т.д. При этом срабатывание перехода может произойти как мгновенно ($t = 0$), так и через заданный пользователем отрезок времени.

Модели на основе сетей Петри позволяют исследовать два вида свойств: определяемых начальной маркировкой (поведенческие свойства) и не зависящих от нее (структурные свойства).

К поведенческим свойствам относятся:

- 1. *Достижимость* (Маркировка M_n достижима от маркировки M_0 если существует последовательность запусков, приводящих от M_0 к M_n)

$$M_0 \xrightarrow{a} M_n \quad (2.12)$$

где последовательность запусков

$$\& = \quad (2.13)$$

- 2. *Ограниченность* (Сеть Петри является k -ограниченной если для любой маркировки, достижимой от маркировки M_0 , количество фишек в любой позиции не превышает некоторого числа k)

$$M(p) < k \quad (2.14)$$

- 3. *Активность* (Сеть Петри активна, если, независимо от достигнутой от M_0 маркировки, для любого перехода существует последовательность дальнейших запусков, приводящая к его запуску);
- 4. *Обратимость в базовое состояние* (Сеть Петри обратима, если в сети всегда можно вернуться к начальной маркировке);
- 5. *Покрываемость* (Маркировка M в сети Петри (N, M_0) покрываема, если существует маркировка M' из $R(M_0)$, такая что для любой позиции P сети справедливо отношение

$$W(p) > M(p); \quad (2.15)$$

6. Устойчивость (Сеть Петри — устойчива, если для двух любых разрешенных переходов запуск одного из них не приводит к разрешению срабатывания другого);

7. Совершенство (Два перехода 77 и 72 связаны отношением _____ ограниченной совершенности, если максимально возможное число запусков одного перехода при запуске другого ограничено. При возможности вхождения каждого перехода в последовательность запусков бесконечное число раз — сеть абсолютна совершенна).

Таким образом, видно, что сети Петри обладают целым рядом свойств, являющих собой мощный математический инструмент для исследования любой системы. Кроме того, большим достоинством сетей Петри является возможность анализа с их помощью целого ряда свойств и задач, связанных с параллельными системами, и, имеющих причинно-следственный характер, к числу которых и относится моделирование функционирования транспортного комплекса «Сортировочные станции — прилегающие участки».

При разработке модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» необходимо учитывать:

- качественные особенности путевого развития станции и участков;
- технологию работы;
- взаимодействие случайных процессов;
- управление на станции и участках.

В работе сортировочных станций существуют постоянные технологические и информационные взаимосвязи между элементами: входными и выходными участками, парками, сортировочными устройствами и т. д. [41]. Поэтому, создавая модель комплекса и его технологических линий по транзитным, перерабатываемым и местным вагонопотокам, а также технологии каждого элемента, необходимо учитывать функциональные связи

между ними, а также функционально обосновывать композицию всех элементов комплекса в линиях, системах и подсистемах.

Учитывая функциональные связи между элементами, можно построить укрупненную модель сеги Петри (рис 2.2), описывающую работу комплекса «Сортировочная станция—прилегающие участки».

На данной схеме позиции $P1$ и $P4$ символизируют соответственно нечетный и четный подходы (перегоны) к сортировочной станции 72, а $P2$ и $P3$ — соответственно входящий и выходящий поездопотоки станции. Переходы $T1$ и $T6$ показывают работу по приему поездов соответственно с нечетных и четных подходов ($P1$ и $P4$), а $T7$ и $T3$ - отправление в соответствующем направлении. Если же поезд следует без захода на станцию, то происходит срабатывание переходов $T4$ или 75.

Согласно теории [38, 39], сети Петри делятся на элементарные (наличие входного, выходного мест и перехода между ними) и регулярные, строящиеся с помощью операций над элементарными сетями. Так сеть, приведенная на рис. 2.2, является регулярной, соединяющей в себе несколько элементарных сетей (сети приема, отправления, обработки составов на станции и др.). Аналогичным образом полученная сеть может быть присоединена к другим сетям (сетям перегонов и сетям других станций), образуя при этом новую сеть (сеть узла). Сети узлов подобным образом могут объединяться в более сложные сети (сети дорог, транспортных коридоров и т.д.).

В целях укрупнения структуры и упрощения анализа любая произвольная сеть Петри, имеющая какую-то законченность (функциональную, логическую и т.п), может в указанном смысле рассматриваться как известная и сворачиваться (замыкаться) в элементарную. Операция замыкания используется для целей структурирования сетей и позволяет производить свертку произвольной сети в элементарную, упрощая таким образом графическое представление сетей и укрупняя анализируемые модели.

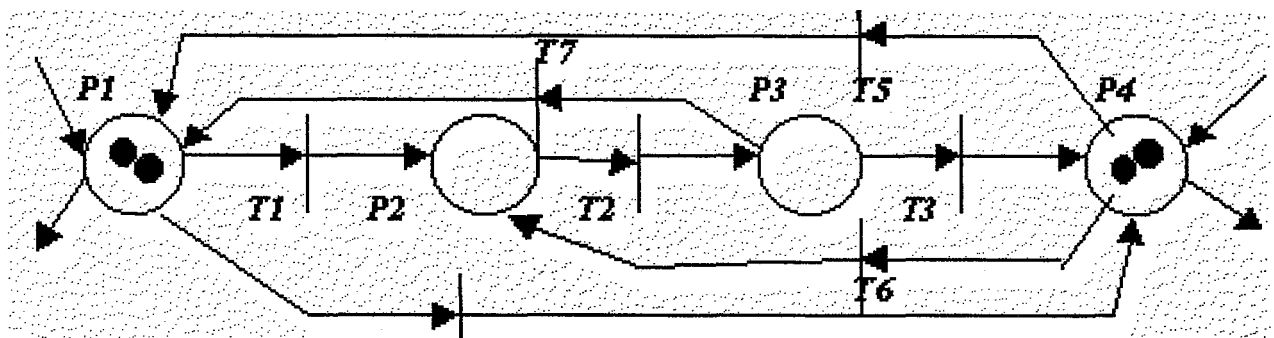


Рис. 2.2 — Схема модели функционирования комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»

Таким образом, сеть N , представленная на рис. 2.2, может быть свернута в элементарную N' (с головным PG и хвостовым $P4^*$ местами) и трактоваться как переход T действие которого моделируется первоначальной сетью N (рис. 2.3).

Если любую произвольную сеть можно свернуть в один-переход элементарной сети, то аналогичным образом можно любой переход развернуть в самостоятельную сеть Петри. Тогда каждый переход может быть как простым (иметь конкретное числовое значение t), так и сложным (содержать внутри себя самостоятельную сеть).

В этом случае любой из переходов T сети, приведенной на рис. 2.2, можно развернуть в самостоятельную сеть. Рассмотрим переход $T2$, характеризующий работу сортировочной станции.

Сортировочная станция как технологическая система состоит из ряда регулярно взаимодействующих элементов: входных участков (VxY), парка прибытия (Π), сортировочной горки (Γ), сортировочного парка (C), вытяжных путей формирования ($ВФ$), парка отправления (O) и выходных участков ($ВыхY$). Все эти элементы объединяются в ряд взаимосвязанных подсистем, которые имеют четко очерченные функции таких подсистем, как $VxY-\Pi-\Gamma$, $\Gamma-C-ВФ$, $ВФ-O-ВыхY$ (для технологической линии по перерабатываемому вагонопотоку).

Согласно условиям взаимодействия отдельных подсистем сортировочной станции между собой и прилегающими участками, на рисунке 2.4 приводится укрупненная модель сети Петри, описывающая работу станции

В этой модели позиции $P1VLP7$ идентичны позициям $P2$ и $P3$ (рис. 2.2) и символизируют входящие и выходящие поездопотоки станции. Переходы $T1, T2, T3, T4$ описывают обработку составов соответственно в парке приема, на горке, в сортировочном парке и в парке отправления, а $T6$ и $T7$ — в транзитных парках. В позициях $P2$ — $P6$ отражается состояние системы (наличие поездов, вагонов и т.д.) по каждой из подсистем станции.

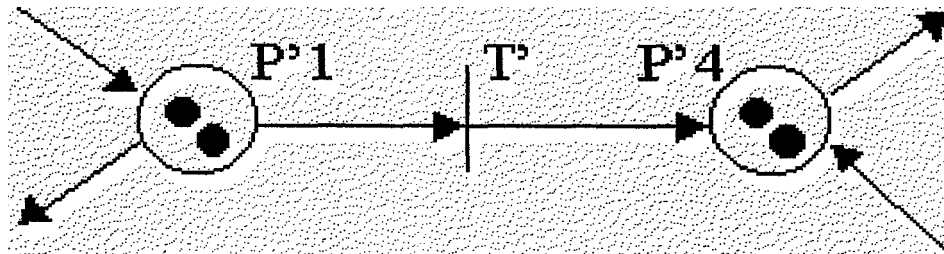
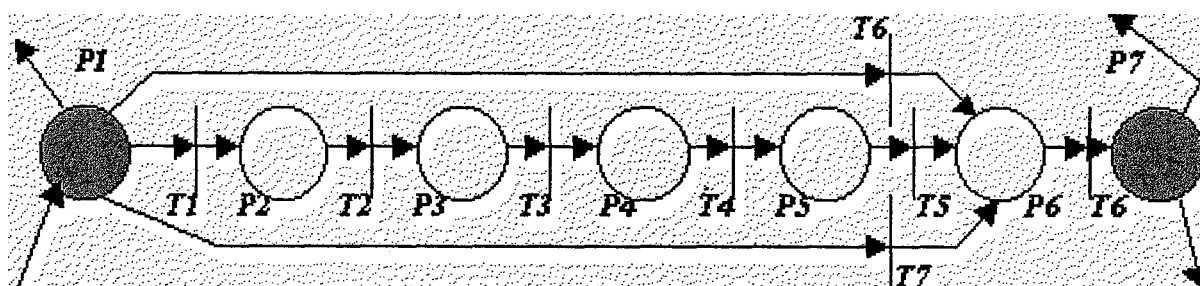


Рис. 2.3 — Представление регулярной сегмента Петри в виде элементарной



Рис, 2,4 - Модель работы сортировочной станции

Между подсистемами станции и их элементами существуют функциональные связи, которые разделяются на прямые и обратные. При прямых связях предыдущие элементы изменяют состояние последующих. Такие взаимосвязи характеризуются передачей требований от одного обслуживаемого элемента к другому и проявляются по потоку. К обратным связям относятся такие, которые приводят к изменениям состояния предыдущих элементов (подсистем) под воздействием последующих. Обратные связи являются результатом отказа в работе последующих элементов или подсистем и проявляются против потока. Проявление обратной связи вызывает задержку выполнения технологических операций, возрастание простоя вагонов, составов, поездов и нарушение поточности выполнения технологического процесса.

Так в модели, приведенной на рис 2.4, между отдельными позициями (состояниями системы) и переходами, характеризующих работу отдельных элементов, осуществляются преимущественно прямые связи. В то же время, при моделировании сетями Петри, происходит отслеживание и обратных связей, которые характеризуются задержками при срабатывании переходов в или их блокировкой.

Целью задачи моделирования сетями Петри является изучение динамики функционирования исследуемой системы и ее поведения для различных начальных условий. Однако популярность сетей Петри обусловлена не только их высокой моделирующей способностью, но и хорошо развитым формальным аппаратом анализа свойств построенной модели.

Проведение анализа свойств сетей Петри с использованием формальных методов позволяет достаточно глубоко исследовать поведение моделируемой системы и получить информацию о наиболее важных ее характеристиках.

Для организации диагностирования сетей Петри возможно применение теории инвариантов [60]. В качестве инвариантов будут использоваться

позиционные и переходные инварианты сети. При этом позиционные инварианты позволяют организовывать режим функционального диагностирования объектов контроля, а переходные — используются для их тестовой проверки.

В модели, приведенной на рис. 2.4, также, как и в предыдущих, каждый переход можно задать либо числовым значением (вероятностное значение времени срабатывания перехода, то есть время обработки состава в данной подсистеме), либо представить его в виде новой сети. Так, если развернуть переход $T2$ в новую сеть, то получится модель работы парка приема.

Аналогично модели парка приема можно составить и другие (модель работы горки, вытяжек формирования, транзитных и отправочного парков, локомотивного хозяйства, линии обработки информации и документооборота, участков приближения и удаления, перегонов и т.д.). При этом, в каждой из моделей любые переходы можно детализировать до бесконечности, разворачивая их в самостоятельные сети Петри. Также, как отмечалось выше, можно отдельные сети соединять между собой, укрупняя таким образом структуру до создания моделей по описанию функционирования любого подразделения железной дороги.

Выводы

1. Проанализированы существующие модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки». Определено, что математические методы исследования работы транспортного комплекса развивались в основном в двух направлениях: детерминистском и вероятностном.
2. Доказано, что процесс функционирования станций и участков нельзя сводить только к случайному, а наоборот, нужно повышать роль его организационной составляющей.

3. Результаты анализа существующих моделей показали, что комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» необходимо рассматривать как единую систему, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к транспортному процессу, которые сводятся к сохранной доставке груза точно в срок. _
4. Выявлены недостатки применения имитационного моделирования, которые заключаются в трудоемкости построения моделей и низкой оперативности получения результатов.
5. Определено, что взаимодействие подсистем транспортного комплекса «Сортировочные станции — прилегающие участки» носит причинно-следственный характер. Поэтому к решению задач взаимодействия отдельных элементов комплекса позволяют прийти системы параллельной обработки информации и системы параллельно действующих объектов, наилучшими из которых являются модели, основанные на теории сетей Петри.
6. Произведен анализ теоретических основ сетей Петри и обоснована адекватность их применения для моделирования транспортных процессов.
7. С помощью сетей Петри между подсистемами сортировочной станции и прилегающих участков выявлены функциональные связи, которые подразделяются на прямые (по потоку) и обратные (против потока).
8. Выбрана основные принципы разработки модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки». Показано, что сети Петри позволяют достаточно глубоко исследовать поведение моделируемой системы и получить информацию о наиболее важных ее характеристиках.

РАЗДЕЛ 3
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА
«СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ - ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ»

**3 Л. Схема логистической системы комплекса «Сортировочная станция -
прилегающие участки»**

Переход к рыночным отношениям и изменение инфраструктуры процесса перевозок влекут за собой необходимость в изменении подхода в изучении и построении моделей управления транспортным комплексом. Это связано с тем, что неменяющаяся в течении многих десятилетий технология перевозочного процесса практически "заморозила" скорость продвижения вагонопотоков. Нынешняя методика не учитывает потери вагоно-часов на прилегающих участках, вызванные неприемом поездов станциями, в том числе теми, где не требуется переработка.

В связи с этим возникает необходимость в создании новой логистической модели управления транспортным комплексом «Сортировочная станция — прилегающие участки» (рис. 3.1).

В связи со сложной структурой пропускаемых и перерабатываемых вагонопотоков логистическую систему комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» следует рассматривать не только как совокупность нескольких моделей, но и как единую многофункциональную систему, работа которой должна удовлетворять основным требованиям, предъявляемым к транспортному процессу.

В разрабатываемой системе комплекс основных средств и устройств, обеспечивающих пропуск и переработку входящих X и выходящих Y грузо-14 вагонопотоков, можно представить в качестве взаимодействующих агрегатов [61]. При этом состояние каждого агрегата Z , как функция времени t определяется нахождением в нем поездов, вагонов и может оцениваться

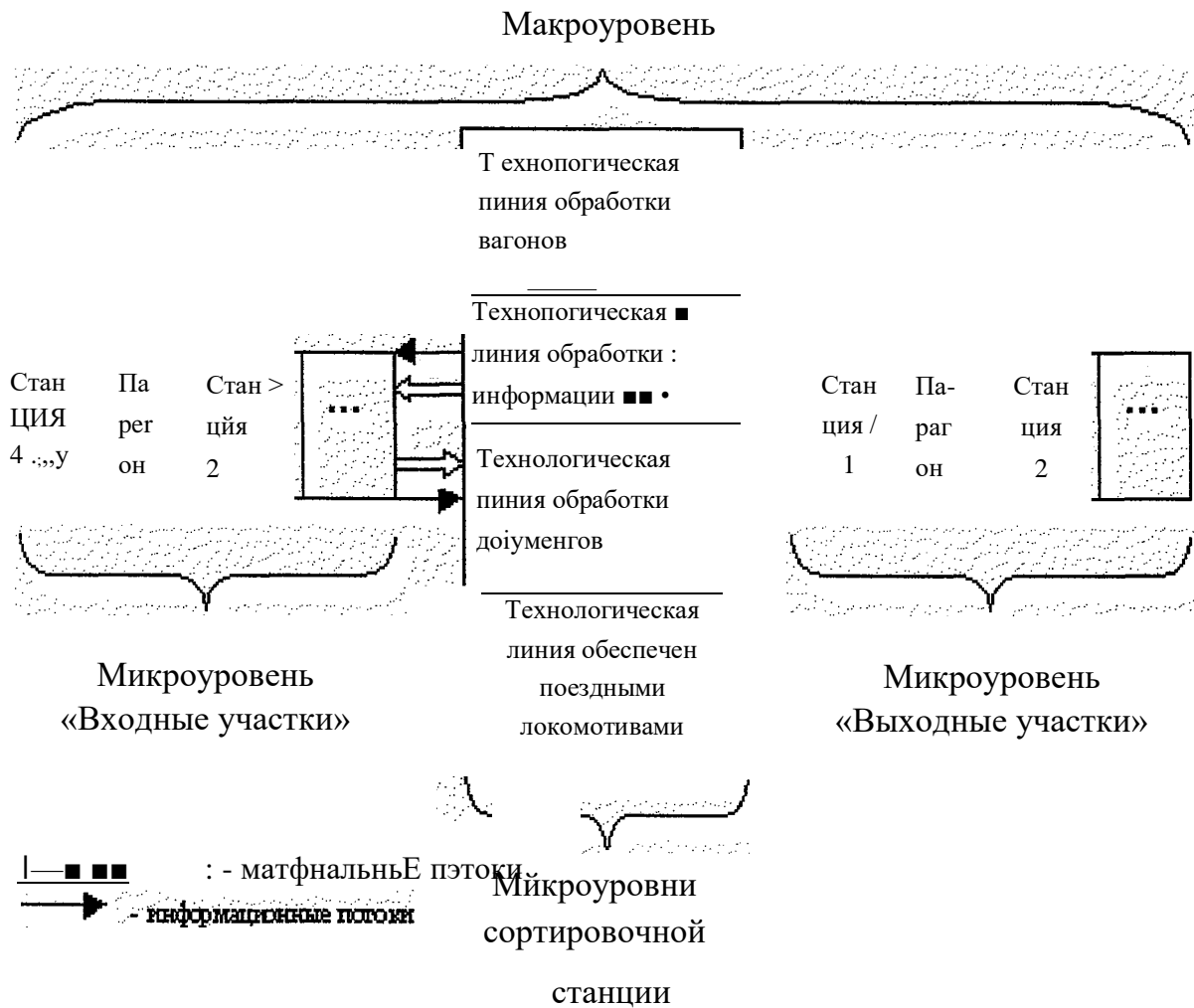


Рис. 3.1 — Схема логистической системы комплекса «Сортировочная станция—прилегающие участки» железнодорожного направления

количественными и качественными показателями работы. Применение агрегирования, а также разработка систематизированных логистических цепей и моделей, построенных на основе теории сетей Петри, для различных категорий вагонопотока, проходящего через комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки», позволит создать унифицированную автоматизированную технологию управления транспортным комплексом.

Для этого комплекс «Сортировочная станция — прилегающие участки» целесообразно рассматривать не только на микроуровнях (входные участки — сортировочная станция—выходные участки), но и на макроуровне.

Технология работы на макроуровне логистической системы комплекса должна быть построена таким образом, чтобы в рамках каждого микроуровня с заданной степенью надежности выдерживался установленный срок доставки, и при этом обеспечивалась нормативная стоимость перевозки.

Из вышесказанного становится очевидным, что основной целью разработки модели управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки» является достижение минимального срока доставки при минимизации общих затрат на транспортировку грузов.

3.2. Разработка модели функционирования подсистемы «Входные участки»

Из п. 3.1 следует, что в настоящее время на первое место в работе транспорта вышел такой показатель как доставка груза «точно в срок». Несмотря на эти требования, срок оборота вагона за последнее время существенно вырос, особенно выросла его доля приходящаяся на пребывание вагона в узле в качестве местного [62]. Это прежде всего связано с так называемыми «пассивными» простоями вагонов на станциях в пути следования. Из-за этих «пассивных» простоев теряется самый главный

общесистемный ресурс — время и ухудшается важный транспортный критерий—скорость.

Работу по увеличению скорости доставки груза можно облегчить путем концентрации переработки материальных потоков на хорошо оснащенных сортировочных станциях. Но в таком случае технология работы сортировочных станций должна быть пересмотрена на основе логистического планирования поездопотоков по дням недели и часам суток, а также интенсификации пропуска всех категорий поездопотоков.

Интенсивность входящего на станцию потока вычисляется как

$$\lambda = \frac{N_p}{24}$$

где N_p —число поездов, прибывающих за сутки в расформирование.

Значительное влияние на показатели работы сортировочной станции оказывает характер распределения входящего поездопотока. Неравномерность прибытия поездов в парк приема в расформирование вызывается неравномерностью зарождения поездопотоков в пунктах формирования и условиями их продвижения к станции расформирования, прокладкой пассажирских поездов на графике, наличием в обращении на участках и расположением транзитных поездов, следующих через данную станцию без переработки, числом направлений, с которых поезда поступают в парк приема для расформирования, качеством регулировки движения поездов диспетчером и др.

Для изучения влияния неравномерности на законы распределения входящего вагонопотока целесообразно микроуровень «Входные участки» логистической системы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки»(см. рис. 3.1) представить в виде дискретно-событийной системы распределения поступающих требований различных входящих потоков по нескольким возможным станциям [63].

Связи в этой системе имеют причинно-следственный характер и, следовательно, поддаются моделированию с помощью сетей Петри [64]. Модель функционирования участков приближения приведена на рис. 3.2.

Данная модель показывает взаимодействие в работе рассматриваемой сортировочной станции с соседними станциями А, Б, В, Г, Д и Е (соответственно позиции $P1$, $P2$, $P3$, $P4$, $P5$ и $P6$). Число фишек в позициях $P1$ — $P6$ отражает число поездов на выходе с соответствующей станции назначением на сортировочную станцию С. Переходами $T1$ — $T6$ задаются вероятности интервалов отправления и перегонные времена хода (по нормальному закону распределения). Позиции $P7$ и $P8$ символизируют, соответственно, занятость нечетного и четного блок-участков у входных светофоров. Задавая число фишек и предельную вместимость $K(P)$ позиций $P7$ и $P8$ можно корректировать как максимально возможное число поездов на заданном перегоне, так и число поездов на момент моделирования на подходе к станции. На переходах $T7$ и $T8$ производится разделение поездопотока на транзитный с переработкой (позиция $P9$ - прибытие в парк приема) и транзитный без переработки (позиции $P10$ и $P11$ — транзитные нечетный и четный парки).

Следует отметить, что переходы T бывают разных типов (Ti , TU , TX , TD , $T7$, $T8$, TE) [59, 60]. Каждый тип перехода на основе иерархии имеет свои поля данных и выполняет свойственные ему процедуры. В соответствии с этими правилами для объектов выше по иерархии доступны любые поля данных и процедуры нижележащих объектов, кроме того, для них могут быть введены новые поля данных и процедуры. В связи с этим в рассматриваемой модели целесообразно ввести новые типы переходов. Тогда переходы $T7$ и $T8$ можно представить как переходы типа TX (переход-переключатель). Все же остальные переходы относятся к простым (Ti).

Согласно статистическому анализу показателей работы ряда сортировочных станций Укрзалізниці [86], в течение суток на сортировочной станции появляется несколько периодов сгущения (Teg) или возмущения

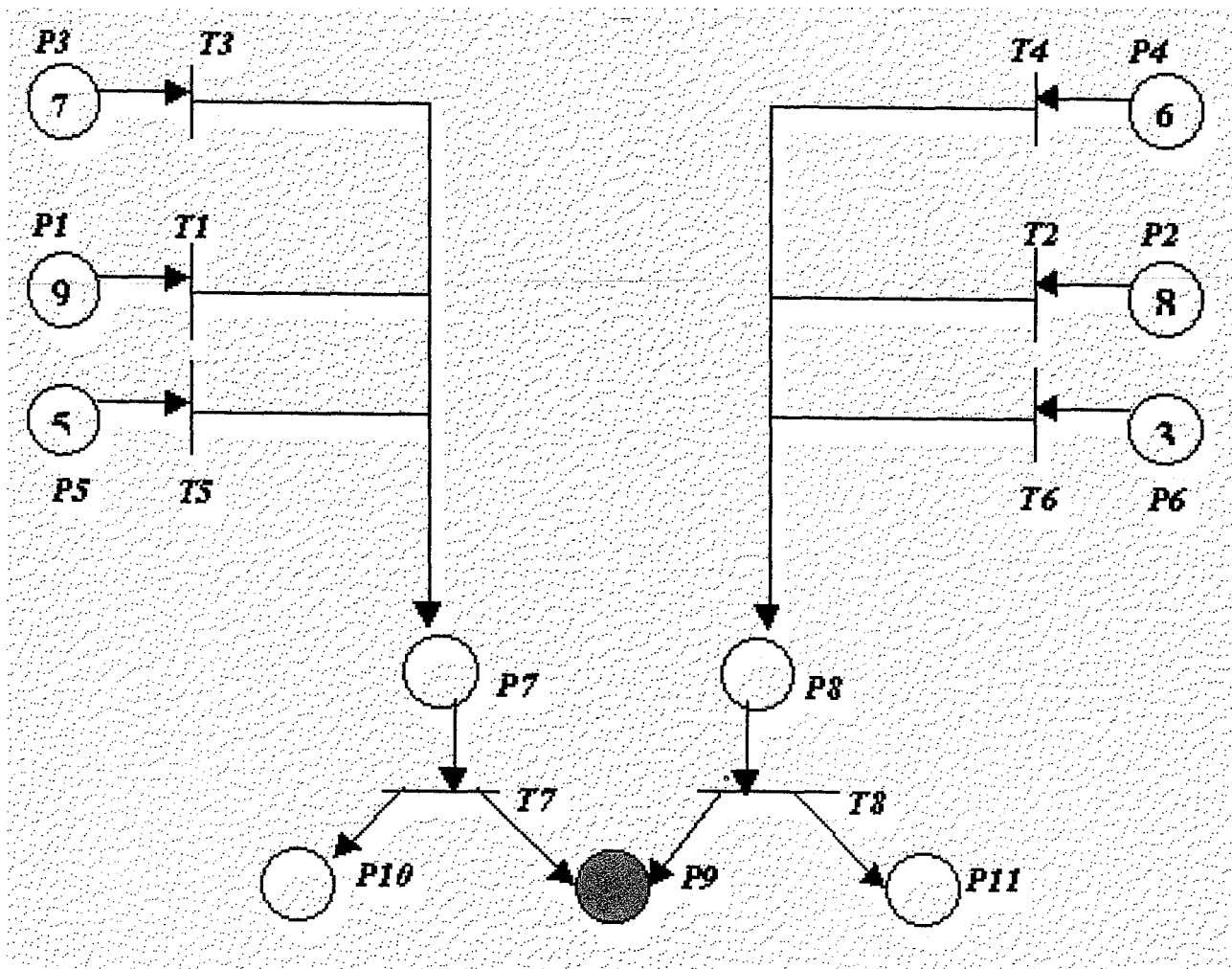


Рис. 3.2-Модель функционирования участков приближения
сортировочной станции

системы (Тв) [65]. При анализе взаимодействия сортировочных станции и прилегающих участков, промежуточные временные участки между периодами сгущения и возмущения играют меньшую роль, чем сами периоды Тег и Тв. Следовательно более глубокому исследованию следует подвергнуть периоды Тег и Тв. Основная задача — это поиск путей преодоления этих всплесков системы. То есть создание условий стационарности функционирования комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» в нестационарных (переходных) режимах.

При произведении анализа набора интервалов между прибывающими поездами на сортировочную станцию в течении определенного числа суток по традиционным методикам, получаем ряд законов распределения. В зависимости от размеров движения на примыкающих подходах и их технической оснащенности законы распределения в обобщенном потоке будут иметь вид от экспоненциального

$$= \quad (3.2)$$

до Эрланга 3-го порядка

$$Z.Z \text{ ч Г} \quad K-1 - \lambda K J \quad e dt \text{ и,}$$

При этом, закон Эрланга переходит в экспоненциальный при $K=1$

$$\frac{K (M(x))^2}{D(x)} \quad (3.4)$$

Графически получатся зависимости частоты поступления вагонопотока на сортировочную станцию, приведенные на рис. 3.3.

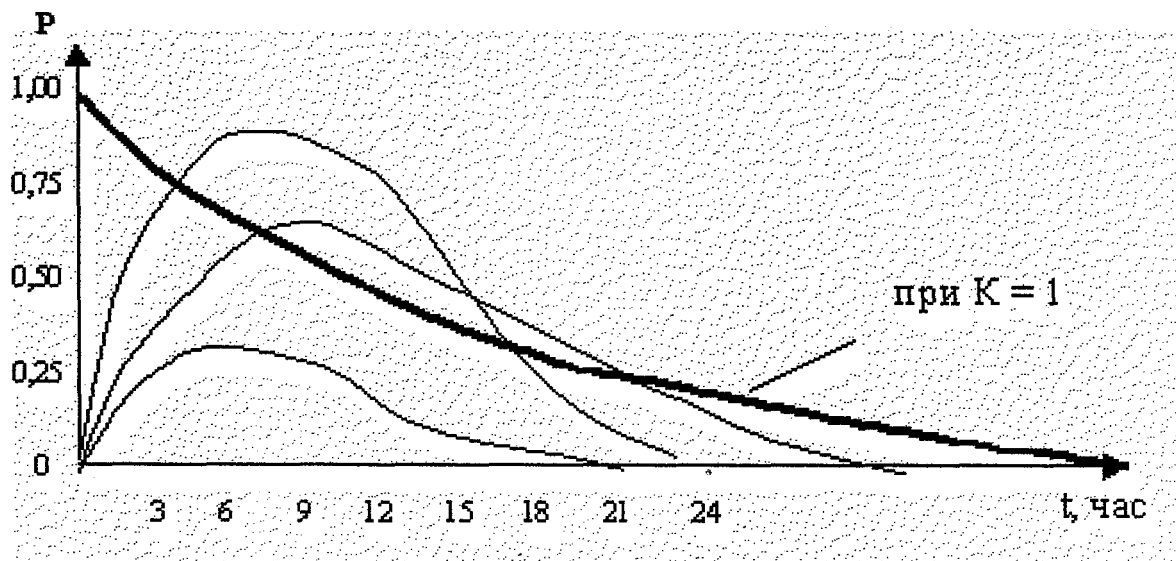


Рис. 3.3 - Залежності частотні поступлення вагонопотоків на сортировочную станцію

Однако такая характеристика не выражает истины при выявлении закономерностей только за определенные сутки, причем с делением их на трех-, четырех- и шестичасовые периоды.

Тогда распределение принимает вид кривой с несколькими точками экстремума. Таким образом, получаем многомодальное распределение (рис. 3.4).

Так как одни сутки не дают полной картины кривой и ее поведения в различных условиях работы комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», то необходимо сравнивать аналогичные кривые за несколько суток.

Статистические наблюдения показали, что при одних и тех же размерах движения экстремальные точки все время смещаются вдоль оси абсцисс. То есть, не постоянны во времени и смещаются относительно предыдущих суток. Поэтому из-за постоянных отклонений этой кривой, относительно аналогичным кривым в предыдущие сутки, возникает трудность в установлении среднего фиксированного положения и в выводе уравнения многомодальной кривой. По существу, такой кривой и не будет (из-за суточных отклонений), что не дает права на применение ее в дальнейших расчетах.

Кроме того, в данных расчетах нахождения среднего фиксированного значения за определенный период времени не возникает необходимости. Потому-что более важное значение имеет отклонение этой кривой в высоту, а не вдоль оси абсцисс, то есть вероятность экстремального потока при входе на сортировочную станцию важнее, чем отклонение во времени от среднего значения. Но поскольку кривая отклоняется в высоту в нескольких экстремальных точках, то более логично рассматривать функцию не целиком, а разбив ее на равные части (временные отрезки), но с обязательной увязкой с положением на временной оси.

Для этого следует суточную кривую разделить на ряд кривых с центрами в точках перегиба (точках экстремума). Но эти кривые не должны

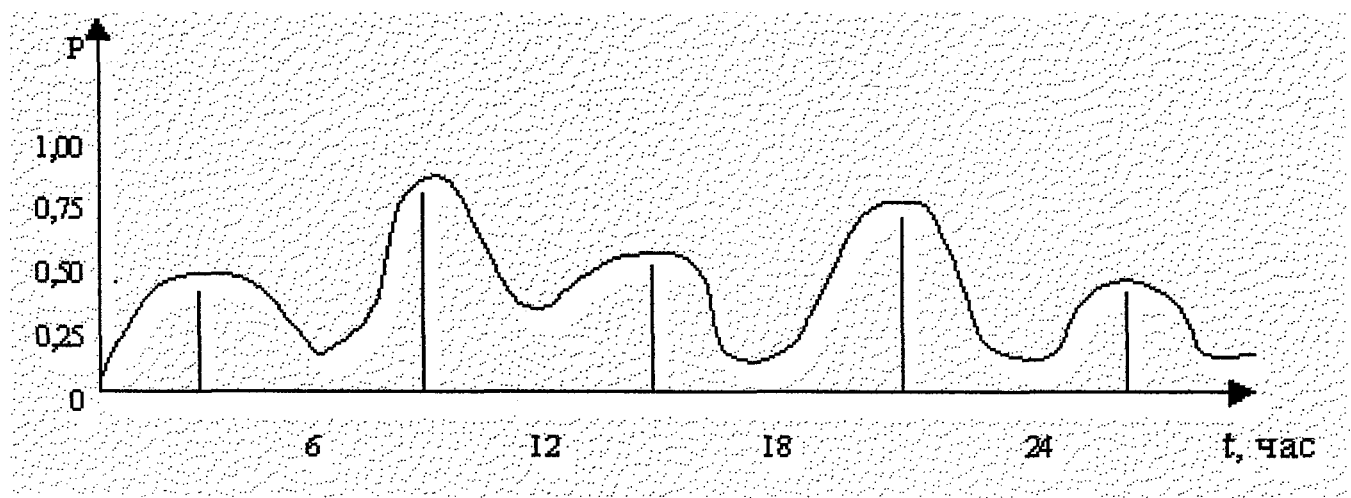


Рис. 3.4 - Многомодальное распределение входящего вагонопотока

рассматриваться как множество независимых кривых. Их необходимо ставить в зависимость от времени появления точки экстремума. Тогда, при сравнении за несколько суток, необходимо сопоставлять только те кривые, которые находятся в области взаимного нахождения (рис. 3.5).

Так первая кривая расположена на временной оси от 0 до 4 часов, вторая — от 4 до 8, третья — от 8 до 12 и т.д. В следующие сутки первая кривая появится с 1 до 6, вторая — с 6 до 9 ит.д.

Чтобы построить эти кривые, необходимо брать периоды времени и считать вероятности, принимая $\frac{\Delta n_i}{D} = p_i$ и $P_i = \frac{1}{n_i}$ — Сначала рассматривается первый период времени ($t = 0-6$), затем второй ($t = 6-12$) и т.д.

Если же разбивать сутки не на четыре временных отрезка, а на другое количество (2, 3,....., 6, 8, 12,....), то графики поменяют свой внешний вид и экстремумы сместятся как по оси ординат, так и по оси абсцисс.

Разбив сутки на интервалы времени с 0 до 12 и с 12 до 24, получим новые графические зависимости (рис. 3.6)

И естественно за полные сутки (не разбитые на периоды) получаем уже упомянутые выше кривые (см. рис. 3.3), для которых характерно распределение от экспоненциального до Эрланговского 3-го порядка.

Из вышеописанного можно сделать вывод, что с уменьшением деления периода, характер распределения будет теряться. То есть, чем больше временной отрезок, тем сложнее определить характер распределения. И, соответственно, чем мельче выбираемые отрезки времени, тем определенной вырисовывается как экстремальная точка, так и общий характер распределения.

Таким образом, используя данный подход, получаем возможность более определенно предсказывать интенсивность поступления и неравномерность прибытия поездов на станцию в разрабатываемой модели.

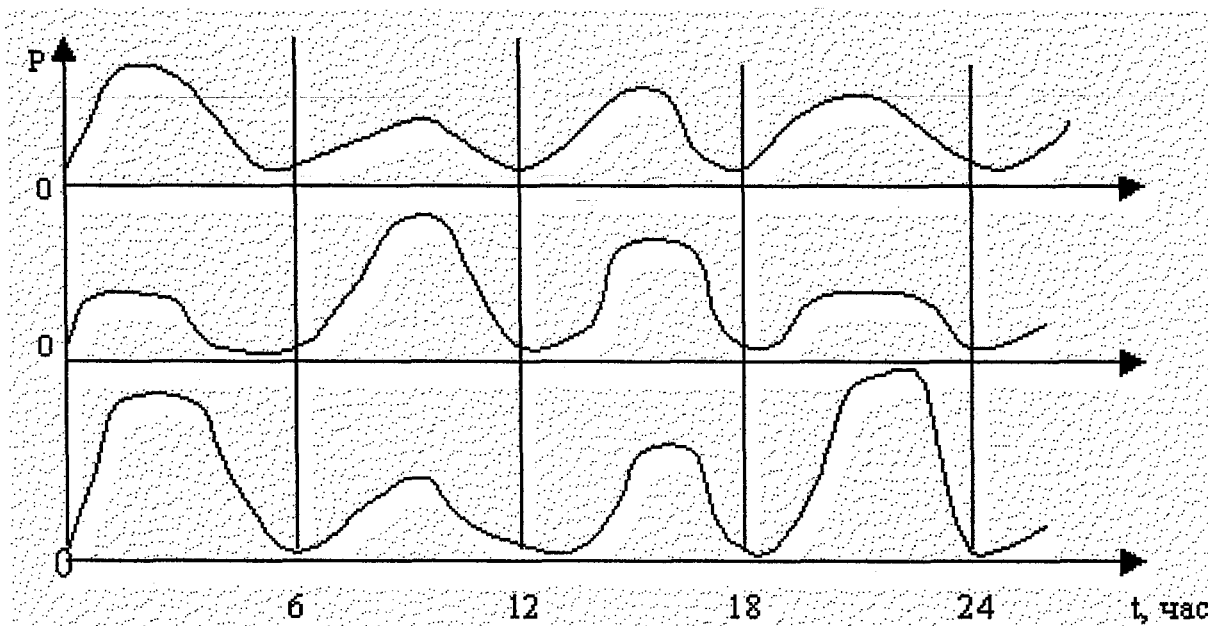


Рис. 3.5—Колебание вагонопотоков за несколько суток при разбиении суток на 6- часовые периоды

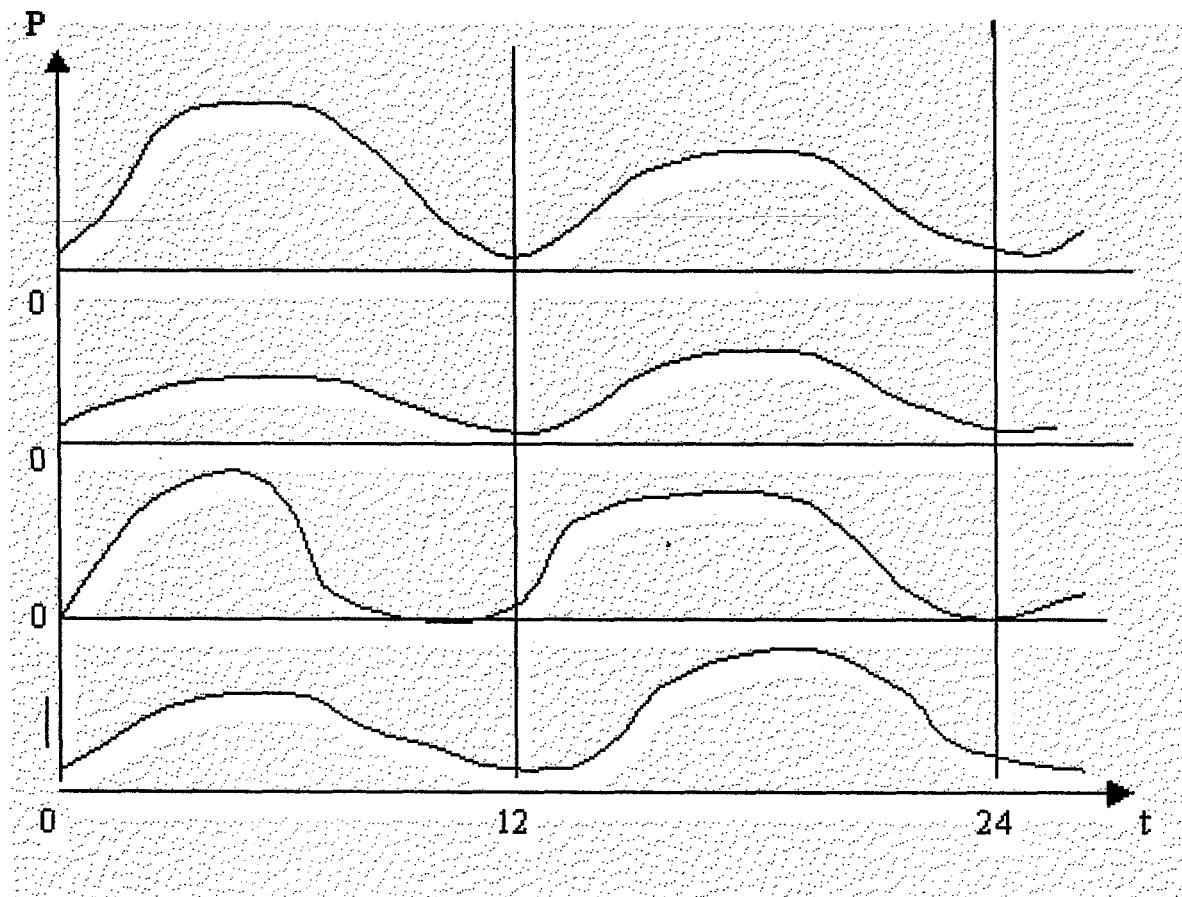


Рис. 3.6—Колебание вагонопотока за несколько суток при разбиении суток на 12-часовые периоды

Кроме того, при построении модели микроуровня «Входящие участки» необходимо использовать системный подход, согласно которому модель должна быть единой и учитывать как задержки, так и энергетические расходы на передвижение поездов [66]. В связи с этим необходимо также учитывать топологическую и геометрическую структурные модели. Топологическая модель участков отображает состав и взаимосвязи ее элементов (блок-участков, рельсовых цепей, светофоров), конфигурацию путевого развития. В геометрической модели содержатся данные о плане и продольном профиле линий для моделирования движения поездов.

Целью моделирования движения поездов на перегоне является имитация сигналов о занятии и освобождении рельсовых цепей для управления светофорами, а также расчет расходов, связанных с пробегом поездов. Состояние поезда характеризуют фазовые координаты x_1, \dots, x_n (путь, скорость, сила тока, сила тяги, тормозная сила и др.), которые изменяются во времени и могут быть определены на основе решения дифференциального уравнения движения

$$S'' = f(x, u), \quad (3.4)$$

где u — вектор управляющих воздействий (сила тяги, тормозная сила) [67].

При моделировании микроуровень «Входные участки» (см. рис. 3.1) можно представить в виде модели конвейерного типа (рис. 3.7) [38]. Здесь $I-1, i, i+1$ — станции (технические или промежуточные), находящиеся на одном из подходов к рассматриваемой сортировочной станции. При этом, каждая из станций имеет свои входные (Вх) и выходные участки (Вых).

Аналогичную структурную схему может иметь и транспортный коридор, с той лишь разницей, что в нем под $i-1, i, i+1$ будут задаваться крупные технические станции сети железных дорог. Принцип работы остается одинаковым и заключается в следующем: $i-1$ -я станция может послать поезд на i -й прилете ай участок после завершения обработки

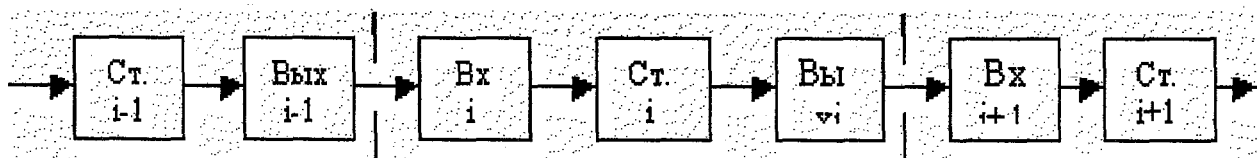


Рис. 3.7—Структурная схема микроуровня «Входные участки»

поезда (то есть выполнения всех необходимых операций) на $i-1$ -й станции при условии свободноеTM 1-го прилегающего участка. С i -й станции поезд следует на $i+1$ -ю, с $i+1$ -й на $i+2$ -ю и т.д.

Сеть Петри, описывающая функционирование участков сети железных дорог приведена на рис. 3.8.

В данной модели переходы $T1$ и $T5$ символизируют работу (продолжительность обслуживания) на станциях $i-1$ и i (Ст. $i-1$ и Ст. i), соответственно. Переходы $T2$ и $T6$ - перемещение поездов по соответствующим выходным участкам, то есть продолжительность занятия участков (Вых. $i-1$ и Вых. i). Передвижение на входных участках (Вх. i и Вх. $i+1$) задано переходами $T4$ и $T8$, Переходы $T3$ и $T7$ несут в себе больше информационный характер и символизируют обмен между $i-1$ -м и i -м, а

$P9$, $P10$ и $P12$ отражают состояние модели, показывая, путем последовательной смены разметки, передвижение поездов по перегону. А позиции $P5$, $P8$, $P11$ и $P13$ создают условия для срабатывания соответствующих переходов, символизируя команду на разрешение проследования поезда по следующему участку при полном освобождении предыдущего. Все позиции 1-й группы могут иметь предельную вместимость $K(P)$ для задания максимально допустимого числа поездов на путях участка или перегона. А все переходы могут задаваться как конкретным числом (вероятностью времени занятия путей станции или участка), так и представлять собой некие вложенные самостоятельные сети более низкого уровня (например, сети парков технической станции или последовательности нескольких блок-участков пути).

В связи с тем, что данная модель не способна самостоятельно учитывать всего многообразия возможных ситуаций, в ней предусмотрено два режима работы: автоматический и интерактивный, в котором управление моделью осуществляет пользователь. Таким образом, можно самостоятельно вносить изменения в модель, меняя, например, перегонные времена хода или

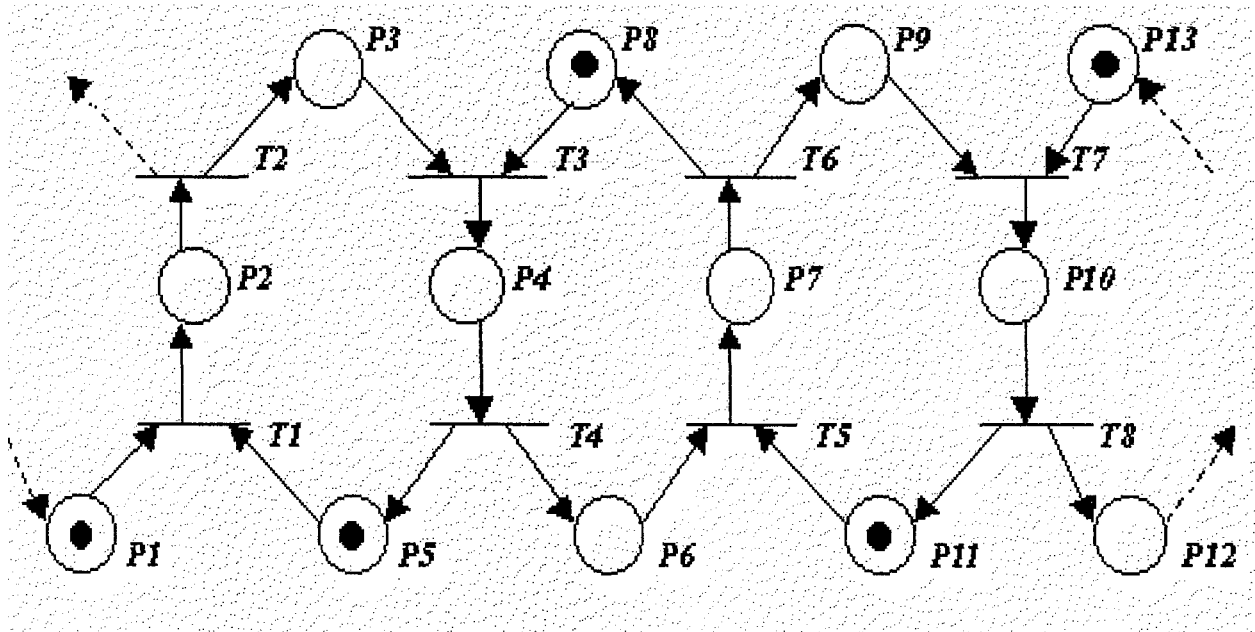


Рис. 3.8 — Модель функционирования участ ков сети

число станций на прилегающих участках.

При построении модели необходимо вести учет одновременно всех поездов, находящихся на участках. В связи с этим движение одного поезда целесообразно описывать дифференциальным уравнением второго порядка $S'' = f(t, S, S')$, в котором в качестве независимой переменной выбрано время

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = \frac{g}{1 + \gamma} \cdot (f - w_k), \quad (3-4)$$

где g — ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся

масс;

f — удельная сила тяги локомотива в режиме тяги, либо удельная тормозная сила поезда B_t в режиме торможения (в режиме холостого хода $f = 0$);

w_k — общее удельное сопротивление движению поезда.

Передвижение поездов на участках можно представить в виде модели конвейерного типа и описать дифференциальными уравнениями второго порядка.

Из логистической модели управления транспортным комплексом «Сортировочная станция — прилегающие участки» (рис. 3.1) видно, что перемещение материальных потоков в исследуемой логистической системе происходит во взаимодействии с информационными потоками.

Управление информационными потоками на полигоне железных дорог осуществляют подсистемы различного уровня, которые оснащены как морально устаревшей вычислительной техникой и аппаратурой связи, так и постоянно совершенствующейся на основе новейших программно-вычислительных комплексов и средств телекоммуникаций.

Создание перспективной информационно-управляющей системы выдвигает новые задачи, характерные для процесса проектирования сети

ЭВМ [68], Постановка и решение этих задач усложняется существованием (и функционированием) достаточно мощной и разветвленной сети, обслуживающей решаемые в настоящее время задачи. Существующая вычислительная сеть состоит из вычислительных сетей, созданных в разное время для решения разнообразных как по назначению, так и по структуре данных и используемым протоколам обмена, задач. Вновь создаваемые локальные вычислительные сети (ЛВС) должны, с одной стороны, сопрягаться с существующими, а с другой — использовать современные программно-технические комплексы и средства [72]. В связи с этим, на основании проекта Концепции государственной политики информатизации Украины [69], реализуется ряд комплексных целевых программ в области вычислительной техники, информатики и компьютеризации железнодорожного транспорта.

Все автоматизированные рабочие места (АРМ) должны разрабатываться на основе единого методологического подхода, строиться на единой информационной основе и базе знаний, обладать свойствами, позволяющими их объединение в ЛВС персональных ЭВМ [70]. ЛВС ПЭВМ относятся к сетям с селекцией информации, суть которой заключается в отборе из проходящего по каналу потока данных блока информации по адресам их назначения. При этом прием информации из канала осуществляется только в том случае, когда адрес, содержащийся в передаваемом пакете, совпадает с адресом данного пункта [71].

Предлагаемая модель для потока передачи информации о поездном положении на технической станции и прилегающих участках при подключении ПЭВМ к локальной сети представлена на рис. 3.9.

Линейные ПЭВМ, устанавливаемые на станции любого назначения, связаны с системой диспетчерской централизации участка (АРМ ДНЦ) и электрической централизации станции (АРМ ДСП). АРМ включаются в локальную сеть в качестве терминалов участка или парка; ПЭВМ технической станции и узловая ПЭВМ организуют обработку и пересылку

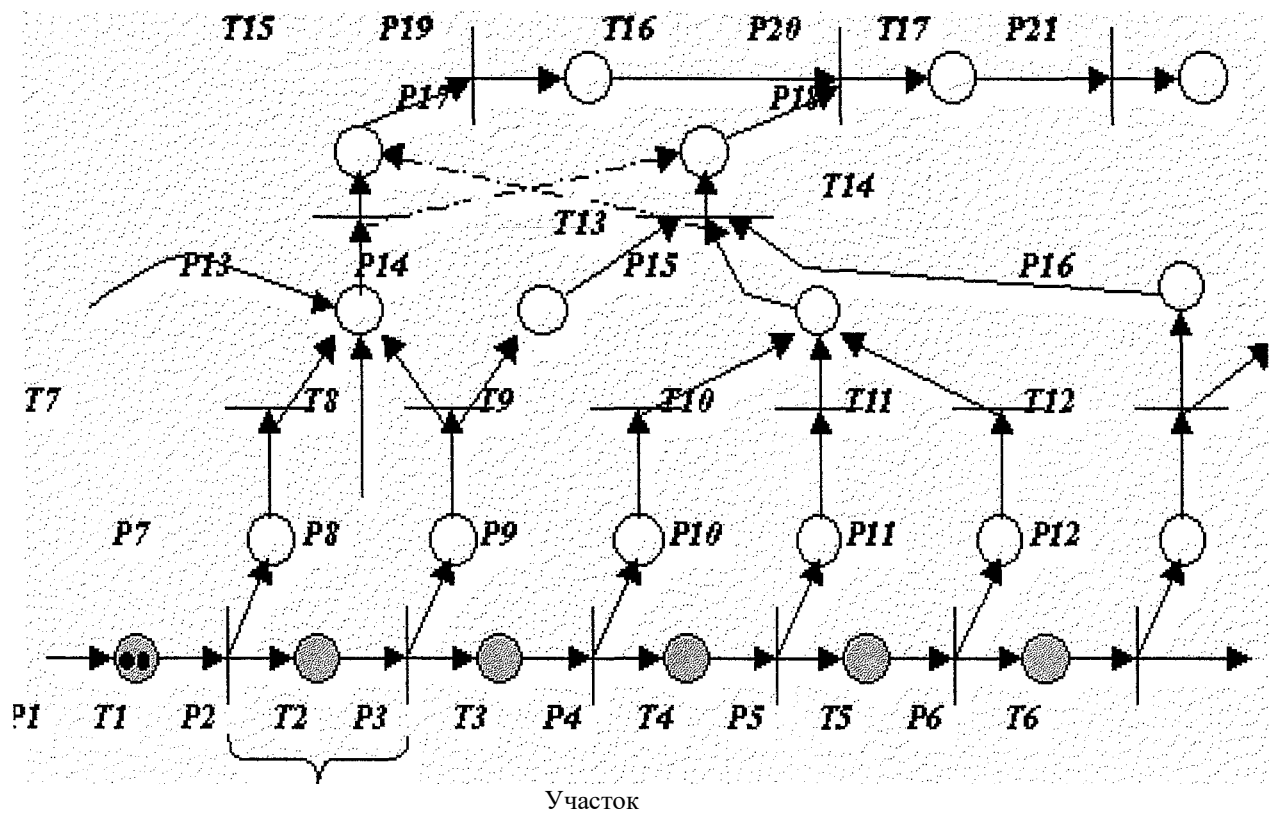


Рис. 3.9—Модель локальной сети ЭВМ для потока передачи информации о поездном положении на технической станции и прилегающих участках

сообщений в сети, выдают решения дорожному автоматизированному диспетчерскому центру управления (ДАДЦУ) и информационно-вычислительному центру (ИВЦ).

В данной модели серым цветом (позиции *P1-P6*) обозначено перемещение и обработка материального потока (поездотока), соответственно на технической станции (77), промежуточных (*T2* и *T6*) и в парках сортировочной станции (парк приема — *T3*, горка и сортировочный парк — *T4*, парк отправления — 75).

Отражение перемещения информационного потока производится через позиции белого цвета (*P7-P21*). Информация по обработке поездов {*P7-P12*} передается на АРМ ДСП соответствующей станции или парка (*T7-T12*), откуда по каналам связи (*P13-P16*) поступает в узловую ПЭВМ и ПЭВМ технической станции (773 и *T14*). После обработки и пересылки сообщений в сети (*P77* и *P18*), выдаются решения (*P19-P21*), соответственно, ИВЦ (775), ДАДЦУ (*T16*) и на АРМ ДНЦ (777).

В связи с тем, что перемещение информационного потока в локальной сети ЭВМ происходит в обоих направлениях, существует сеть Петри, моделирующая передачу информации с верхних уровней ЛВС на нижние. Она будет иметь вид аналогичный сети, представленной на рис. 3.9, с той лишь разницей, что все стрелки в модели для информационного потока приобретают взаимнообратное направление. То есть, все выходные позиции для соответствующих переходов становятся входными, а входные — выходными.

Технологически объединение АРМ в информационно-управляющую сеть позволит реализовать достоверное текущее планирование и на его основе оперативно управлять операциями на сортировочных станциях и прилегающих участках.

При таком подходе перемещение материального и информационного потоков через микроуровень «Входные участки» логистической системы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» (рис. 3.1) будет

соответствовать поставленной цели в достижении минимального срока доставки при минимизации общих затрат. В этом случае пропускная способность станции и участков будет определяться исходя из максимального графика движения грузовых поездов на прилегающих участках. Тогда задержки на подходах к сортировочной станции будут иметь место лишь при недостаточной для беспрепятственного приема поездов мощности технологических линий непосредственно сортировочной станции.

3.3. Разработка структурно-логической схемы взаимодействия технологических линий сортировочной станции

Обеспечение оптимального срока доставки при минимизации общих затрат может быть достигнуто за счет повышения пропускной способности сортировочной станции, что возможно лишь при условии достижения слаженной работы всех ее технологических линий.

Продолжительность времени нахождения на сортировочной станции является основным элементом оборота вагона. В результате анализа показателей работы за 1991-1998 г.г. [26, 86] выявлено, что в последние годы значение доли оборота вагона возросло. Это происходит за счет увеличения простоев с переработкой и без переработки. Поэтому важным фактором в ускорении оборота вагона и скорости доставки груза будет являться сокращение времени на технические и другие операции на сортировочной станции. Для достижения поставленной цели и принятия верных управленческих решений требуется проведение детального анализа работы всех технологических линий микроуровня «Сортировочная станция» логистической системы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» (рис. 3.1).

Работа сортировочной станции представляет собой взаимосвязь четырех технологических линий:

- переработки вагонопотока;
- информационного обеспечения функционирования станции;
- обработки перевозочных документов;
- обеспечения поездными локомотивами.

То есть работа станции представляет собой функционирование четырех взаимосвязанных элементов.

В связи с этим возникает необходимость в исследовании взаимодействия этих технологических линий (рис. 3.10,3.11).

Ограничивающим элементом для большинства сортировочных станций является линия обработки вагонов, так как основное время уделяется техническому и коммерческому осмотру. Обслуживание поездных локомотивов, обработка документов и подготовка необходимой информации обычно проходят параллельно операциям технической подготовки вагонов и доля времени выполнения этих операций не превышает времени обработки вагонов. Исключением из данного правила являются пограничные передаточные станции (Харьков-Сортировочный, Купянск-Сортировочный и др.), в связи с тем, что на них происходит добавление ряда технологических операций по обработке экспортно-импортного вагонопотока [73].

Несмотря на то, что для большинства сортировочных станций определяющим звеном обычно является технологическая линия обработки вагонов, в каждом конкретном случае элемент, ограничивающий скорость обработки может находиться в любой из четырех перечисленных технологических линий.

В связи с этим возникает необходимость в построении моделей каждой из технологической линии в отдельности и в комплексе (структурно-логические схемы моделей приводятся в Приложении Ж) для определения ограничивающих звеньев микроуровня «Сортировочной станции» в различных условиях работы. Это в свою очередь должно привести к обеспечению условия минимальности срока доставки при минимизации

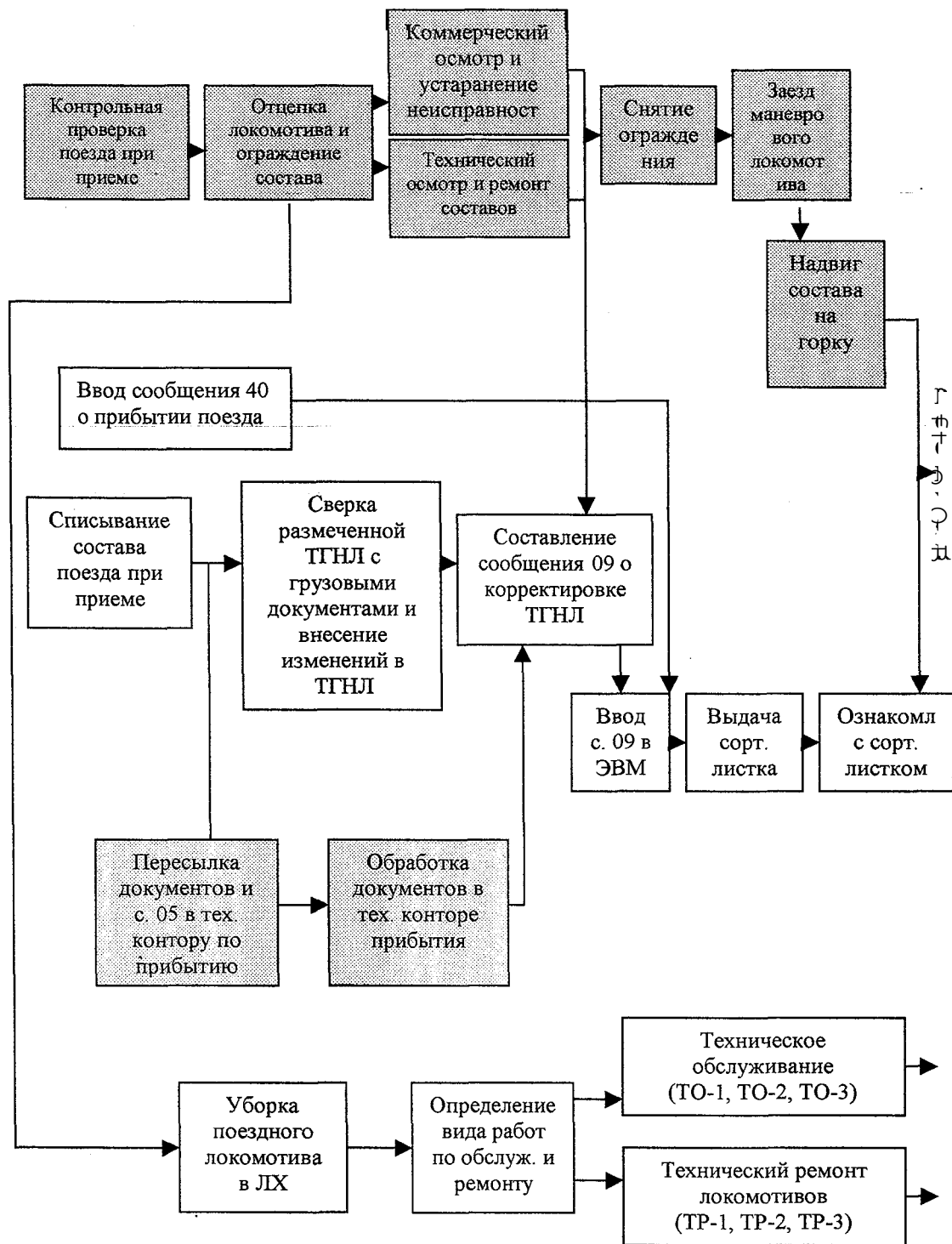


Рис. 3ЛО — Структурно-логическая схема взаимодействия технологических линии сортировочной станции в подсистеме расформирования

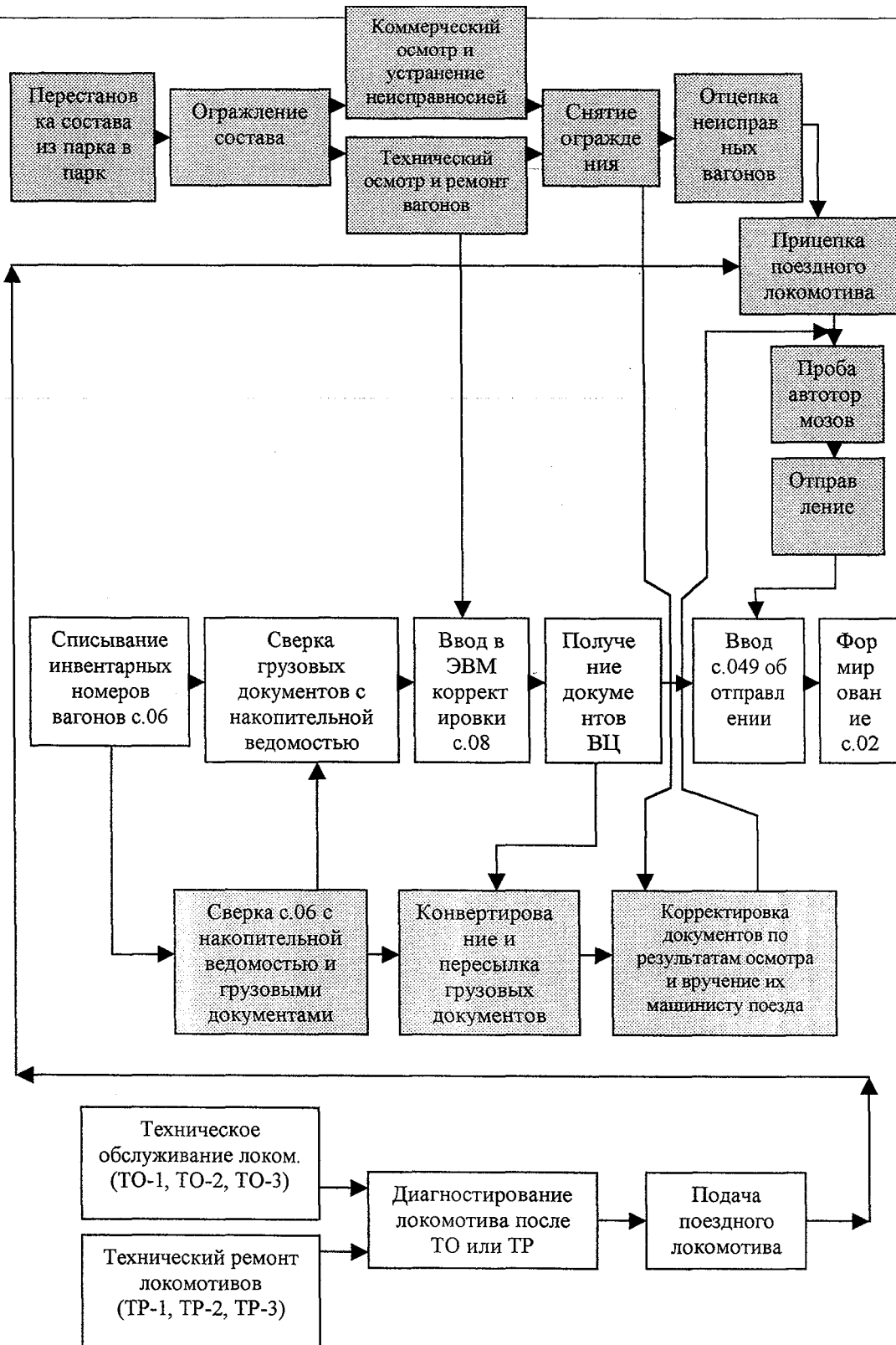


Рис. 3.11 Структурно-логическая схема взаимодействия технологических линий сортировочной станции в подсистеме формирования

суммарных экономических затрат, связанных с дополнительным простоем вагонов и обслуживающего персонала.

3.4. Построение модели функционирования технологической линии обработки вагонов

В результате проведенных в МГУПСе (Москва) исследований были разработаны и развиваются новые принципы организации поездной работы на сортировочных станциях в рамках автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ-2) [74].

Принципиально новым в автоматизированной системе управления сортировочной станции второй очереди (АСУСС-2) является моделирование поездной работы не по средним или технологическим, а по оперативно рассчитываемым нормам на каждый технологический процесс и конкретный объект управления. Поэтому принципиальной особенностью АСУСС-2 является предварительный оперативный расчет времени выполнения операции для каждого конкретного поезда и для каждого отдельно взятого процесса в зависимости от влияющих факторов.

Таким образом, в настоящее время происходит переход к построению моделей транспортного комплекса, позволяющих производить оперативное (на 3-6 часов вперед) управление процессом обработки вагонов на сортировочных станциях. Соответствию с данными требованиями как нельзя лучше отвечают модели, составленные на основе сетей Петри, которые, кроме наглядности и простоты в применении, позволяют фиксировать состояние системы в любой момент времени [64, 75].

3.4.1. Построение модели процесса обработки вагонов в поездах, поступивших в расформирование

До прибытия поезда на станцию операторы при ДСП (дежурных по станции) берут информацию о движении поезда на участке и извещают о его прибытии работников, причастных к обработке поезда.

Поезд, поступающий в расформирование, принимается в парк приема (или приемо-отправочный парк).

Группа осмотра (приемосдатчики, работники ПТО) встречают прибывающий поезд на пути приема. После остановки поезда состав закрепляют тормозными башмаками в порядке, установленном ГРА станции, поездные документы поступают в С ГЦ, локомотив отцепляется от поезда, после чего ДСП, по согласованию с оператором ПТО, включает сигналы ограждения. Оператор ПТО уведомляет по парковой связи всех причастных работников об ограждении состава.

В процессе осмотра выявляются вагоны, на которые неверно оформлены реквизиты или требующие ремонта в коммерческом или техническом отношении, а также пригодность порожних вагонов под погрузку. Старший приемосдатчик смены уведомляет старшего оператора технической конторы прибытия о наличии таких вагонов, а также по телефону сообщает агенту горки эти данные и дает ему указание на составление акта формы ГУ-23. Возврат вагонов организовывается после расформирования состава.

Средняя длительность технического и коммерческого осмотра

$$x_{mo}$$

$$I_{x_{KO}}^{m_{KO}m} \quad (3.6)$$

где $T_{то}$ и $T_{ко}$ — время осмотра одного вагона в техническом и коммерческом отношении;

m - количество вагонов в составе;

$X_{то}$ и $X_{ко}$ - число групп осматривающих в одной бригаде.

После обработки в парке приема прибывшего поезда горочный локомотив заезжает в хвост состава, надвигает состав на горку и производится роспуск в очередности, согласованной с маневровым диспетчером.

Величина горочного интервала (без учета времени технологических перерывов и времени работы горки по окончанию формирования) определяется как сумма времен на выполнение всех элементов горочного цикла (заезд ($Iз$), перестановка ($Бер$), надвиг ($БД$), роспуск ($тр$), осаживание ($тое$))

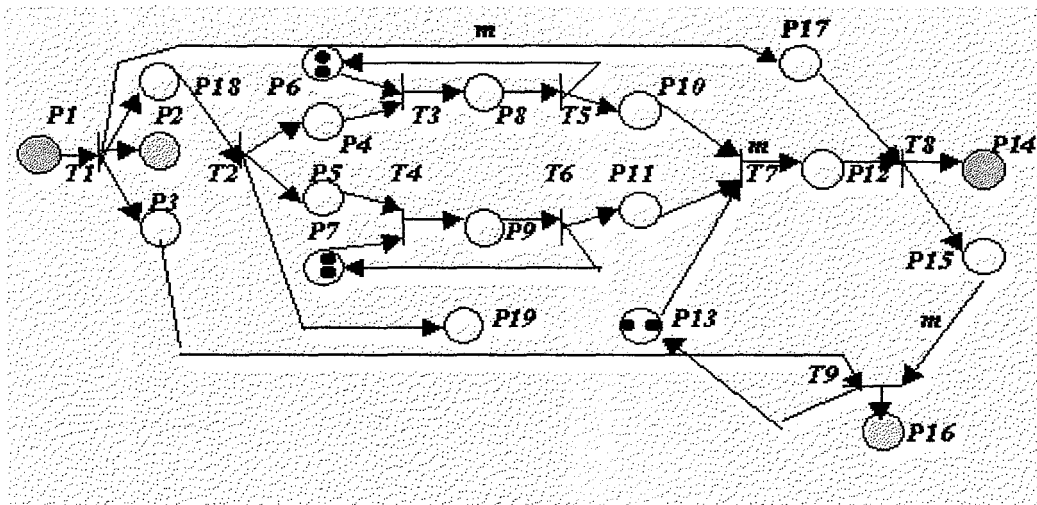
$$t_{г} = Б + (tiicp) + I_{над} + tr + toe; \quad (3-7)$$

Все значения продолжительности выполнения отдельных операций принимаются либо оперативно персонально для каждой конкретной станции, либо берутся из технологического процесса работы станции или вычисляются по соответствующим формулам [12, 76, 77] с учетом всех влияющих факторов.

Структурно-логическая схема технологической линии обработки вагонов в поездах, поступивших в расформирование, приведена на рис. Ж. 1, а модель функционирования парка приема - на рис. 3.12.

Модель обработки составов в парке приема функционирует следующим образом.

Поезда, поступающие в расформирование на моделируемую сортировочную станцию, со всех прилегающих участков попадают в позицию $P1$. В данной модели позиция $P1$ идентична позиции $P9$ модели работы участков



Рис, 3,12 — Модель обработки составов в парке приема

- P1** — занятость блок-участков у входных светофоров;
P2 - счетчик прибывших составов;
P3 - занятость путей парка приема ($K(P) = Nn$);
P4 - наличие составов готовых к техническому осмотру;
P5 - наличие составов готовых к коммерческому осмотру
P6 - число свободных бригад ПТО;
P7 - число свободных бригад ПКО;
P8 - работа бригад ПТО;
P9 - работа бригад ПКО;
P10 - ТО окончен, состав готов к роспуску;
P11 - КО окончен, состав готов к роспуску;
P12 - число вагонов в распускаемом составе ($K(P) = 60$);
P13 — число свободных горочных локомотивов;
P14 - число распущенных вагонов (всего);
P15 - счетчик распущенных вагонов (в распускаемом составе);
P16 — счетчик распущенных составов;
P17 - линия обработки информации и документооборота;
P18 - число вновь поступивших в парк приема поездов ($K(P) = Nn$);
P19 - число убранных поездных локомотивов в ЛХ;
T1 - занятость горловины парка приема;
T2 - отцепка локомотива, ограждение состава;
T3 - время на подход бригад ПТО к составу, начало ТО;
T4 - время на подход бригад ПКО к составу, начало КО;
T5 - простой под ТО;
T6 - простой под КО;
T7 - время на заезд локомотива и надвиг состава на горку;
T8 - продолжительность роспуска состава (повагонно);
T9 - окончание роспуска состава.

приближения (см. рис. 3.2).

Провдя через горловину $T1$, поезд попадает на пути парка приема $P3$, Позиция $P3$ имеет предельную вместимость $K(P)$, равную числу путей, свободных для приема поездов. Если все пути будут заняты, то переход $T1$ будет заблокирован и прибытие поезда в парк приема не возможно (на переходе фиксируется задержка) до освобождения одного из путей. Аналогично будут заблокированы переходы $T3$ и $T4$, если в позициях $P6$ и $P7$ не будет фишек (то есть не будет свободных бригад НТО и ПКО). После окончания ТО и КО, фишки автоматически через переходы $T5$ и $T6$ возвращаются в позиции $P6$ и $P7$, а состав готов к роспуску. При наличии свободного горочного локомотива (фишка в позиции $P13$) и сортировочного листка ($P17$) можно производить роспуск состава с горки (TS) на пути сортировочного парка ($P14$). При этом здесь уже ведется повагонный учет (а не учет состава в целом), так как из переходов $T1$ и $T7$ соответственно в позиции $P17$ и $P12$ ведут дуги весом m . Где m — число вагонов в составе. По окончании роспуска через переход $T9$ из позиции $P3$ автоматически изымается фишка, символизирующая освобождение пути в парке приема, а в позицию $P13$ - добавляется (освобождение горочного локомотива). Одновременно ведется статистика по числу прибывших и переработанных на станции поездов (позиции $P2$ и $P16$).

Для большей достоверности описуемого процесса и для задания интервалов поступления поездов в парк приема, работу данной модели необходимо рассматривать во взаимодействии с моделью работы на участках приближения (рис. 3.2). Поэтому при моделировании функционирования технологической линии обработки вагонопотока (раздел 4 настоящей работы), эти модели необходимо соединить последовательно друг с другом.

3.4.2. Построение модели процесса расформирования-формирования поездов

После выполнения всех необходимых технологических операций в парке приема с составом поезда, прибывшим в расформирование, горочный локомотив заезжает в хвост состава, надвигает состав до горба горки и производит его роспуск.

При роспуске состава с горки вагоны направляются на пути сортировочного парка по разработанному диспетчером плану (сортировочному листку) таким образом, чтобы в процессе накопления на них одновременно формировались бы составы новых поездов, то есть в процессе роспуска составов совмещаются операции по расформированию и формированию поездов.

Для уменьшения простоев в парке приема составов поездов в ожидании расформирования необходимо, чтобы интенсивность поступления в расформирование (λ) не превышала интенсивности работы горки (μ). Загрузка горки в течении суток определяется как

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{N_p t_r}{24}$$

где N_p - число поездов, прибывающих за сутки в расформирование со всех направлений.

На организацию работы горки большое значение оказывает ее путевое развитие (число путей надвига и роспуска), а также число горочных локомотивов. Кроме того, горка может работать в нескольких режимах (автоматическом с предварительным набором маршрутов скатывания по сортировочному листку, полуавтоматическом с набором маршрутов в процессе роспуска составов и ручном с индивидуальным управлением стрелками).

При составлении модели процесса расформирования-формирования влияние технического оснащения (путевое развитие и число локомотивов) на организацию работы горки можно задать, изменяя некоторые параметры модели обработки составов в парке приема (см, рис, 3.12), Так число горочных локомотивов задается разметкой позиции $P13$. а возможность выполнения параллельного надвига и роспуска — предельной вместимостью позиции $P12$ (увеличив, например, ее в 2 раза).

Режим работы горки может задаваться изменением типа перехода Γ , отвечающего за сортировку вагонов по путям парка B модели, представленной на рис, 3,13, таким переходом является $T1$,

Модель процесса сортирования вагонов расформированных составов по путям подгорочного парка функционирует следующим образом.

После окончания роспуска состава в позицию $P33$ попадает m фишек, где m — число вагонов в данном составе. Данная позиция идентична позиции $P14$ модели обработки составов в парке приема (см. рис. 3.12). После чего, через переход TL производится сортировка вагонов по назначениям плана формирования на пути сортировочного парка № 1,1 - 4,8 $\{P1-P32\}$. Каждый путь в зависимости от полезной длины имеет свою предельную вместимость $K(P)$. равную максимальному числу вагонов, способных вместиться на данный путь.

Режим сортировки может задаваться как ручным, так и автоматическим.

При ручном режиме переход $T1$ будет представлен как переход типа TE (простой переход). В этом случае маршрут скатывания (путь сортировочного парка, на который должен быть направлен вагон) будет задаваться последовательно (по мере поступления на горб горки) и для каждого вагона индивидуально. Но при таком режиме пользователю модели при появлении нового вагона необходимо будет изменять вес ($W(P)$) каждой из дуг, ведущих из перехода $T1$ в позиции $P1-P32$. При этом $W(F) = 1$ только для

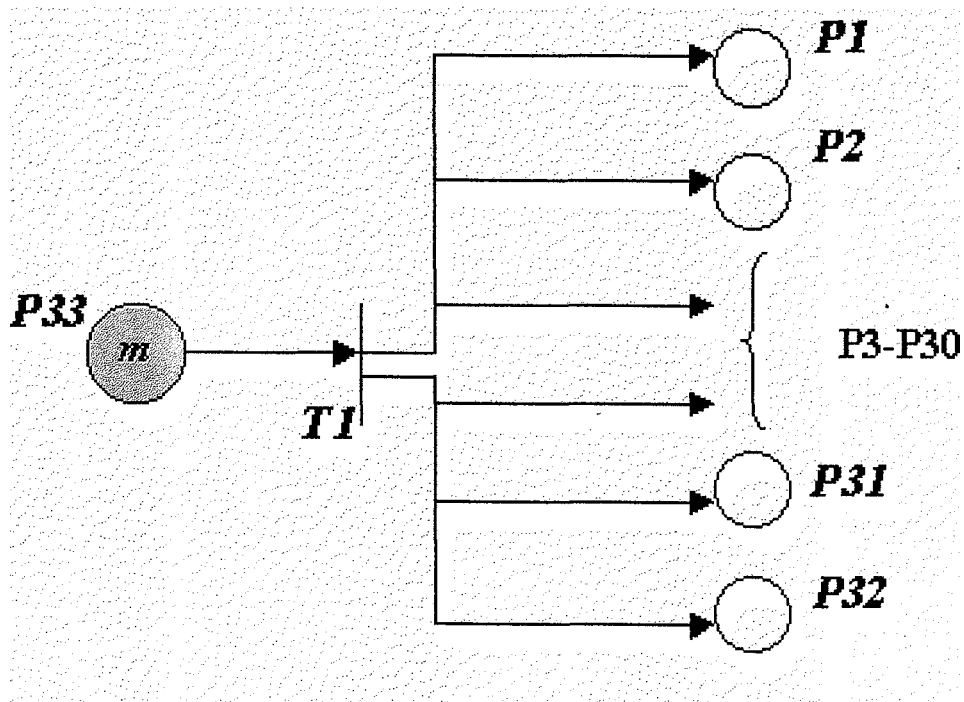


Рис. 3.13 — Модель сортировки вагонов по путям подгорочного парка

для того пути (соответствующей позиции), на который будет производиться роспуск, а для остальных - $W(F) = 0$.

Для облегчения работы пользователя, более целесообразным является применение модели с автоматическим режимом сортировки. Для этого переход $T1$ необходимо представить в виде перехода типа TX (переход-переключатель). При этом появляется возможность имитирования предварительного задания маршрутов скатывания по сортировочному листку, путем задания вероятности попадания распускаемых вагонов на каждый из путей. Так, например, если на путь № 1.1 (позиция $P1$) необходимо распустить 3 вагона, а на путь № 4.7 (позиция $P31$) - 12, при общем числе вагонов в составе 50, то соответственно вероятности попадания составят $P(1.1) = 3/50 = 0.060$ и $P(4.7) = 12/50 = 0.240$. Кроме того, появляется возможность учитывать особенности путевого развития для любой моделируемой станции (число пучков горочной горловины, число путей в каждом из пучков и, соответственно, общее число путей сортировочного парка). Это достигается путем задания нулевой вероятности ($P(p)=0$) для тех дуг, которые ведут к позициям, символизирующим отсутствующие на заданной станции пути.

При автоматическом режиме также появляется возможность моделирования процесса роспуска любого количества распускаемых составов за длительный промежуток времени (час, сутки, месяц и т.д.). В этом случае вероятности ($P(p)$) задаются в зависимости от суммарной суточной мощности назначений плана формирования для каждого из путей сортировочного парка.

При роспуске вагонов с горки происходит одновременное накопление составов на путях сортировочного парка. После накопления составов в сортировочном парке необходимо выполнять операции по окончанию формирования и перестановке в парк отправления. Операция по окончанию формирования заключается в подборке групп вагонов по техническим признакам и по назначениям вагонов в соответствии с требованиями ПТЭ

[78] и планом формирования поездов. Окончание формирования производится локомотивами, работающими на вытяжных путях в хвосте сортировочного парка.

Модель взаимодействия сортировочного парка и вытяжек формирования в упрощенном виде для отдельно взятого нуги приведена на рис. 3.14.

В данной модели позиция $P1$ и переход $T1$ аналогичны позиции $P33$ и переходу $T1$ модели сортировки вагонов по путям подгорочного парка (см. рис. 3.13). Маршрут скатывания задается вероятностью попадания фишек по соответствующим дугам, ведущим из $T1$ (переход типа TX) в позицию $P2$ и др. Число таких дуг и соответствующих позиций равняется числу путей в сортировочном парке.

После прохождения вагона через горочную горловину ($T2$), вагон попадает на соответствующий путь подгорочного парка. В позиции $P3$ отражается процесс накопления состава до m_i вагонов, после чего маневровому диспетчеру и составителю поступает сигнал об окончании накопления (срабатывание перехода $T3$), а накопленный состав переходит в режим ожидания окончания формирования (позиция $P5$). При наличии свободного маневрового локомотива (фишка в позиции $P9$), производится осаживание и окончание формирования состава ($T4$), после чего сформированный состав в позиции $P7$ ожидает перестановки в парк отправления (позиция $PЮ$). Позиция $PЮ$ имеет предельную вместимость $K(P)$, равную числу эксплуатируемых путей в данном парке.

При наличии свободных путей в парке отправления производится перестановка состава ($T5$) из парка в парк. При срабатывании перехода $T5$ автоматически изымается n_i количество фишек (равное числу вагонов в сформированном составе) из позиции $P4$, в которой ведется учет заполнения пути. С целью недопущения переполнения пути (то есть роспуска вагонов на уже заполненный путь), позиция $P4$, также как и позиция $P3$, имеет предельную вместимость, которая подчиняется условию $K(P) > m$. После

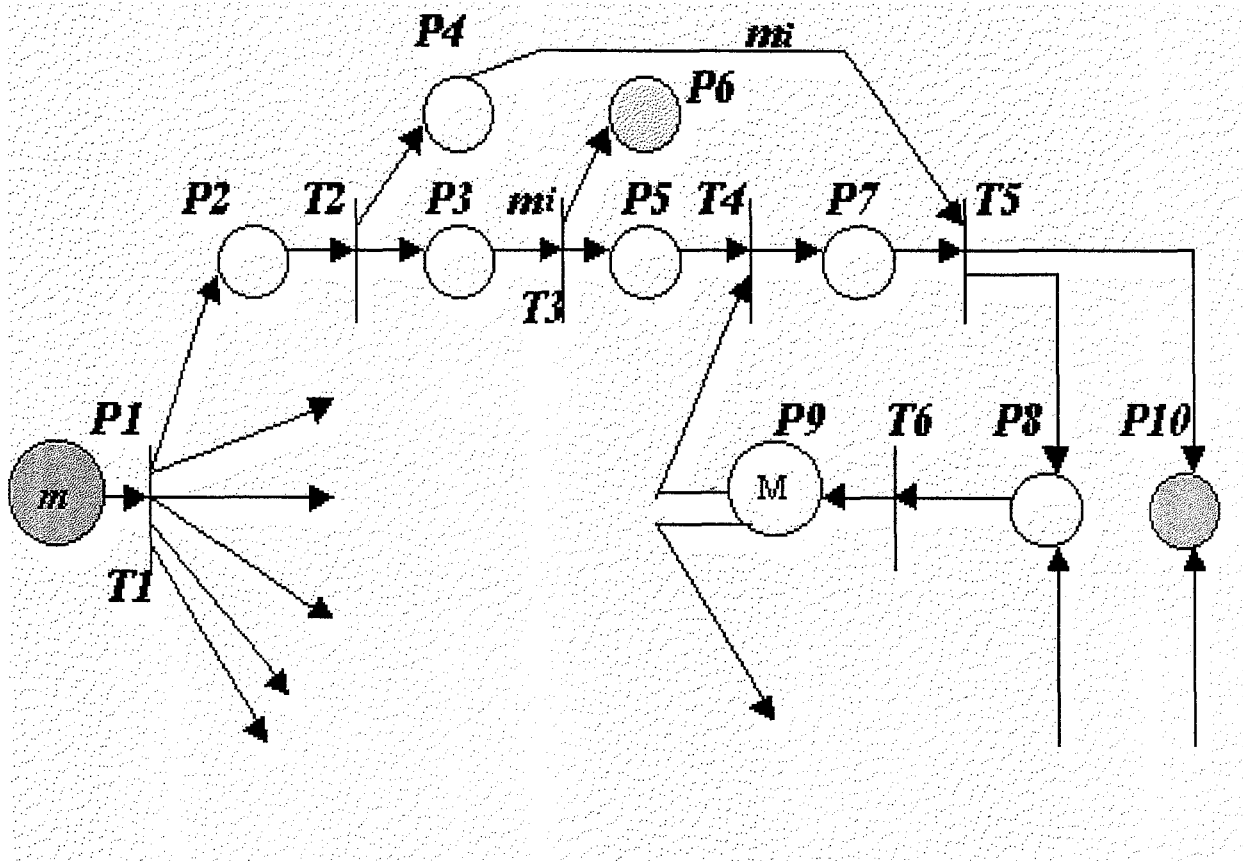


Рис. 3.14 — Упрощенная модель взаимодействия путей сортировочного парка и вытяжек формирования

перестановки состава в парк отправления, производится отцепка локомотива ($P8$) и возвращение его ($T6$) в сортировочный парк или на вытяжку формирования ($P9$), где он находится в режиме ожидания запроса при накоплении нового состава. Учет накопленных составов ведется в позиции $P6$

Аналогичный вид будут иметь модели для других путей сортировочного парка. Тогда в общей модели взаимодействия сортировочного парка с вытяжками формирования для всех путей позиции $P/$, $P8$, $P9$, $PЮ$ и переходы $T1$, $T6$ будут общими. А часть модели, включающая позиции $P2-P7$ и переходы $T2-T5$, будет повторена N_c раз, где N_c - число путей в сортировочном парке.

Полученная, таким образом, модель позволит полностью контролировать работу сортировочного парка и вытяжек формирования, а также вести учет вагонов на всех путях данного парка в любой момент времени.

Но у этой модели есть недостаток, который заключается в ее громоздкости. В связи с тем, что модель позволяет вести учет вагонов сразу на большом количестве путей (до 32-х, а при небольших коррективах системы и больше), она становится очень громоздкой (130 переходов T_i около 200 позиций P). Из-за этого при составлении модели всего транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» возможно столкновение с проблемой переполнения системы, связанной с недостатком оперативной памяти. Поэтому, с целью избежания перегрузки и уменьшения громоздкости системы, модель, представленную на рис. 3.14, при моделировании комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» в целом можно представить в упрощенном виде (рис. 3.15).

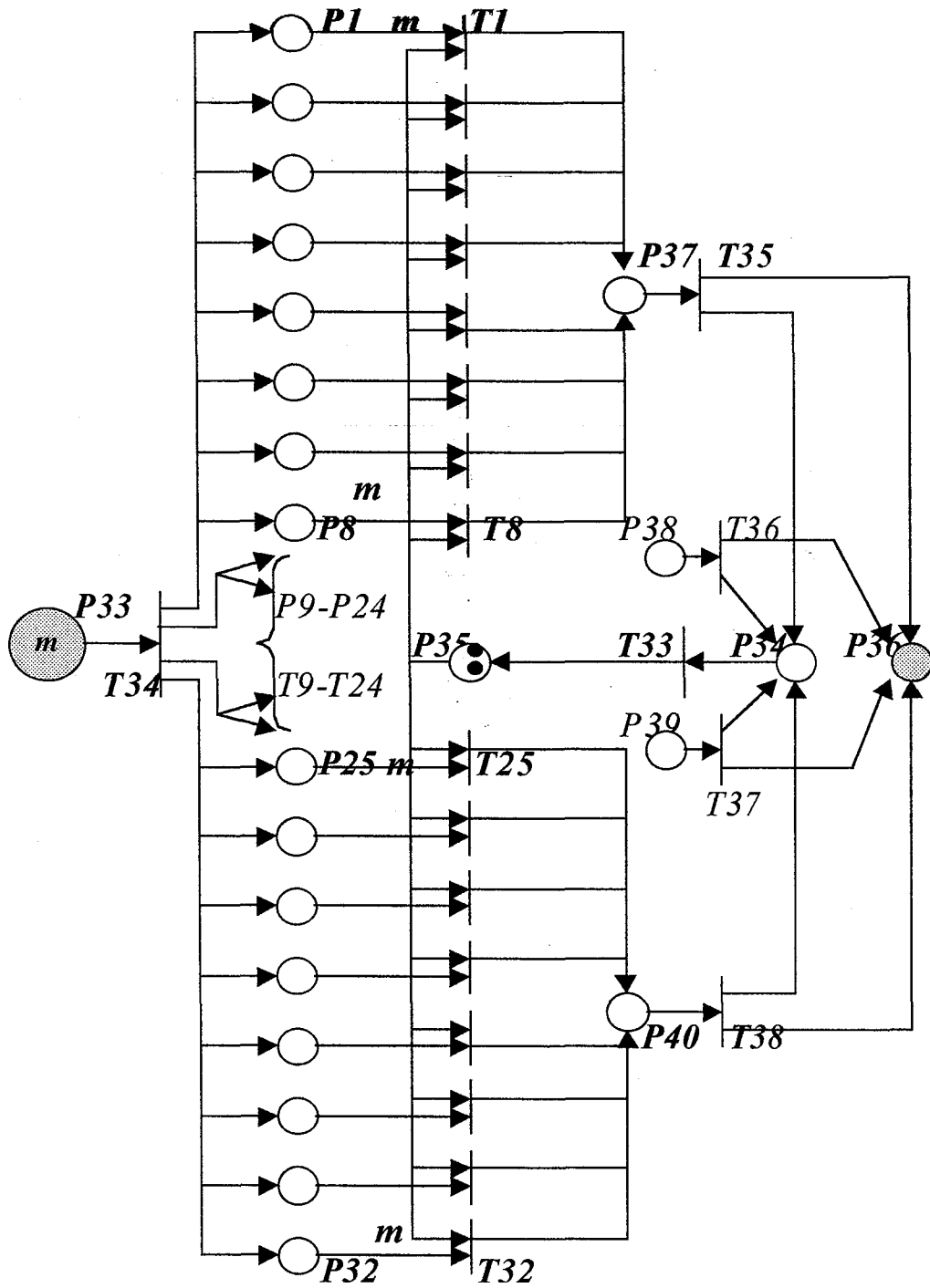


Рис. 3,15 — Модель іфоцесса расформирования-формирования поездов

Данная модель взаимодействия путей сортировочного парка (*P1-P32*) и вытяжек формирования (*P37-P40*) аналогична, приведенной на рис. 3.14, но в несколько раз менее громоздка. Этот факт позволяет избежать проблему нехватки оперативной памяти при моделировании всей технологической линии обработки вагонов.

3.4.3. Построение модели линии обработки вагонов в поездах своего формирования

После выполнения операций, связанных с окончанием формирования, составы поездов из сортировочного парка выставляются в парк отправления, где подвергаются техническому и коммерческому осмотру, а затем отправляются на участок.

При предъявлении состава для обработки маневровый диспетчер уведомляет работников, участвующих в обработке поезда, о номере, индексе, пути и парке, в который переставлен состав. Оператор ПТО согласовывает ограждение состава с ДСП (или ДС1Ш) и уведомляет по парковой связи всех работников, причастных к обработке состава, об ограждении.

Параллельно с обработкой документов на сформированный состав производится осмотр вагонов в техническом и коммерческом отношении. Результаты осмотра докладываются маневровому диспетчеру, сообщающему старшему оператору СТЦ о коммерческом браке. Маневровый диспетчер производит маневры по извлечению вагонов с техническими, коммерческими и другими неисправностями и сообщает в техническую контору отправления номера неисправных вагонов, причины неисправности, номер пути парка, с которого выставляются неисправные вагоны, и номер пути и парк, в который переставляются эти вагоны.

Если же ремонт производится непосредственно на путях парка отправления, то длительность обработки одного состава может достигать

$$\hat{m}_{\text{рем}}^{-t} \square_{2x}^{-i_l} \quad (3.9)$$

а средняя ішодолжигельность обработки всех составов

$$\Gamma_{\text{го}} = (1-a)^{\wedge} + a(\Gamma_{2x} \quad 2x) \quad (3.10)$$

где a - доля составов от их общего числа, требующих безотцепочного ремонта вагонов;

$t_{\text{рем}}$ - средняя длительность безотцепочного ремонта.

По окончании работ, связанных с техническим и коммерческим осмотром, производится снятие ограждения и прицепка к составу поездного локомотива. После прицепки и опробования автотормозов производится отправление поезда на перегон соответствующего назначения (см. Прилож. Ж, рис. Ж.3)

Модель функционирования парка отправления приведена на рис. 3.16.

В данной модели под позициями и переходами обозначены:

- P1** — число сформированных поездов, ожидающих перестановку в парк отправления;
- P2** - занятость путей парка отправления ($K(P) = N_0$);
- P3** - счетчик сформированных составов;
- P4** - наличие составов готовых к техническому осмотру;
- P5** - наличие составов готовых к коммерческому осмотру
- P6** - число свободных бригад ПТО;
- P7** - число свободных бригад ПКО;
- P8** - работа бригад ПТО;
- P9** - работа бригад ПКО;
- РЮ** — ТО окончен, состав готов к отправлению;

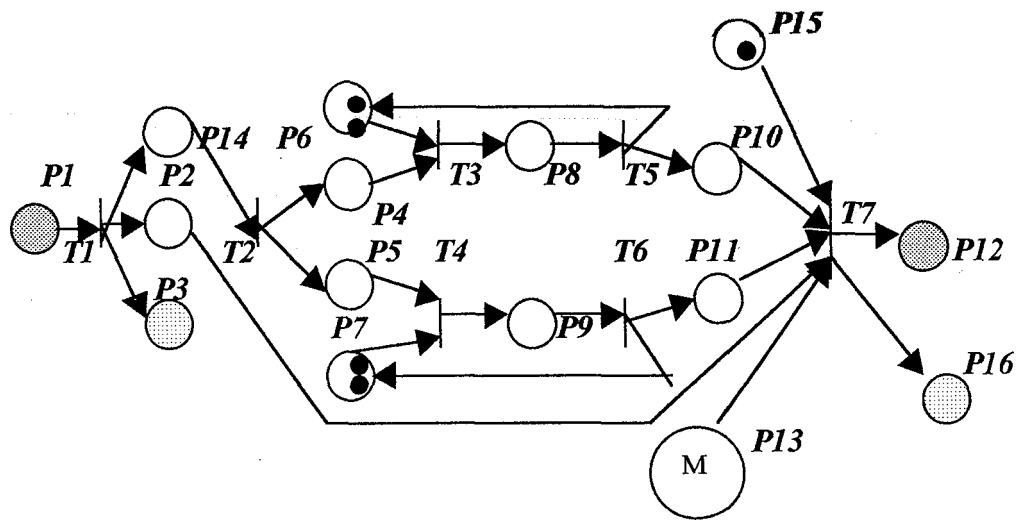


Рис. 3,16 — Модель обработки составов в парке отправления

Р1 1 - КО окончен, состав готов к отправлению;

Р12 - занятость выходных блок-участков;

Р13 - число готовых к отправлению поездных локомотивов;

Р14 — число поездов только что переставленных из сортировочного парка в парк отправления;

Р15 - линия обработки информации и документооборота;

Р16 - счетчик отправленных поездов с переработкой;

Т1 - занятость горловины парка отправления;

Т2 - ограждение состава;

13 - время на подход бригад ПТО к составу, начало ТО;

14 - время на подход бригад ПКО к составу, начало КО;

Т5 - простой под ТО;

Т6 - простой под КО;

17 - прицепка поездного локомотива, опробование автотормозов, отправление.

Модель обработки составов в парке отправления функционирует по тому же принципу, что и аналогичная модель обработки поездов в парке приема (см. рис. 3.12).

3.4.4. Построение модели обработки транзитного вагонопотока

Вагонопоток, поступающий на станцию, делится на транзитный с переработкой и транзитный без переработки. Транзитный с переработкой включает в себя поезда, поступающие в расформирование. Поезда этой категории принимаются в парк приема и дальше обрабатываются станцией по технологии, описанной в п. 3.4.1-3.4.3 настоящей работы.

Прием транзитных поездов без переработки на станцию производится на пути транзитного парка, секции которого (соответственно для четных и

нечетных поездов) в зависимости от особенностей технического оснащения станции могут располагаться параллельно путям парка приема или парка отправления.

По прибытию поезда на станцию оператор при ДСП получает информацию о движении поезда на участке и извещает о его прибытии работников, причастных к обработке поезда.

Группа осмотра встречает прибывающий поезд и размещается на пути приема. После остановки состав закрепляют тормозными башмаками в порядке, установленном ТРА станции, пакет документов передается в СТЦ, локомотив отцепляется от поезда и производится централизованное ограждение состава. В процессе осмотра выявляются вагоны, требующие ремонта в техническом или коммерческом отношении. В результате осмотра маневровый диспетчер дает указание дежурному по станции о подготовке маршрута перестановки отцепляемых вагонов.

При подходе поезда, требующего пополнения, ДСЦС дает команду ДСЦ на формирование группы вагонов для пополнения поезда. Формирование этой группы должно быть закончено до прибытия поезда.

При отцепке от транзитного поезда вагонов с неисправностями по указанию маневрового диспетчера производится пополнение состава до установленной массы или длины согласно с планом формирования поездов.

После осмотра поезда и пополнения состава производится прицепка поезда локомотива, машинисту вручается пакет перевозочных документов через дежурного вспомогательного поста по отправлению, производится проба автотормозов и заполняется справка о тормозах с вручением ее машинисту. После чего производится отправление поезда с путей транзитного парка на перегон соответствующего направления.

Структурно-логическая схема линии обработки вагонов в транзитных поездах имеет следующий вид

Модель обработки транзитного вагонопотока в соответствии со структурно-логической схемой приведена на рис. 3.17.

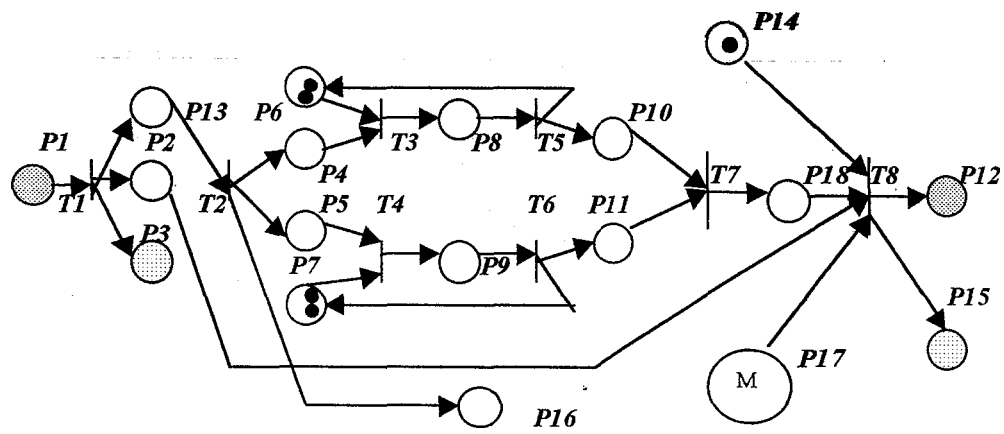


Рис. 3.17 — Модель обработки составов в транзитном парке

В данной модели под позициями и переходами обозначены:

- P1 - занятость блок-участков у входного светофора;**
- P2 - занятость путей транзитного парка ($K(P) = N_T$);**
- P3 — счетчик составов, поступивших в транзитный парк;**
- P4 - наличие составов готовых к техническому осмотру;**
- P5 - наличие составов готовых к коммерческому осмотру**
- P6 - число свободных бригад ПТО;**
- P7 - число свободных бригад ПКО;**
- P8 - работа бригад ПТО;**
- P9 - работа бригад ПКО;**
- PЮ - ТО окончен, ожидание отцепки-прицепки вагонов;**
- P1 1 — КО окончен, ожидание отцепки-прицепки вагонов;**
- P12 — занятость выходных блок-участков;**
- P13 — число только поступивших в транзитный парк поездов;**
- P14 — линия обработки информации и документооборота;**
- P15 - счетчик отправленных поездов без переработки из транзитного парка;**
- P16 - число убранных поездных локомотивов в ЛХ;**
- P17 - число годных к отправлению поездных локомотивов;**
- P18 - окончание отцепки прицепки вагонов, ожидание отправления;**
- T1 - занятость горловины транзитного парка;**
- T2 - отцепка локомотива, ограждение состава;**
- T3 - время на подход бригад ПТО к составу, начало ТО;**
- T4 - время на подход бригад ПКО к составу, начало КО;**
- T5 - простой под ТО;**
- T6 - простой под КО;**
- T7 - время на отцепку-прицепку вагонов;**
- 18 - снятие ограждения, прицепка поездного локомотива, опробование автотормозов, отправление**

Данная модель описывает работу объединенного транзитного парка (для четных и нечетных поездов). Если же секции для обслуживания четного и нечетно транзитного вагонопотока находятся не в одном парке, то аналогичные модели (см, рис, 3,16) строятся для каждого парка (секции) Т1 и Т2 в отдельности.

Принцип работы модели обработки транзитного поездопотока идентичен моделям обработки составов в парках приема и отправления (см. рис. 3.12 и 3.16).

3.4.5. Особенности построения модели работы сортировочной станции без парка отправления

Работа сортировочной станции без парка отправления имеет свои специфические особенности. Они вытекают из того факта, что при данной схеме станции все технологические операции по подготовке к отравлению и отправлению поездов на участки должны выполняться в сортировочном парке.

В связи с этим, модель работы сортировочно-отправочного парка имеет более сложную конструкцию, чем изложенная в п. 3.4.2 настоящей работы модель процесса расформирования-формирования поездов в сортировочном парке (см. рис. 3.15). Последняя должна быть дополнена имитацией операций по обработке составов, ожиданию локомотивов, ожиданию отправления и др. Таким образом, становится очевидным, что в модели работы сортировочно-отправочного парка должны быть сконцентрированы все операции, перечисленные в п. 3.4.2 - 3.4.3, за исключением операции перестановки из сортировочного парка в парк отправления.

Специализированная модель работы сортировочно-отправочного парка в сокращенной форме (для одного пучка путей) приведена на рис. 3.18.

Модель функционирует следующим образом. После расформирования состава через переход Т77 (*T77* — переход типа *TX*) вагоны, находящиеся на вершине горки (метки в позиции *P16I*) распускаются на пути сортировочного парка (Например *P1* - путь 1.1). В позиции *T1* ведется общий подсчет всех вагонов распущенных на заданный путь. В позиции *P2* ведется учет накопления вагонов ($K(P2) = \text{гл}$) до полного состава т. После накопления состава при свободности маневрового локомотива производится осаживание и окончание формирования (*T18*), Затем фишка (состав) возвращается в *P4*, где ожидает ТО и КО (*T77*), после которых в *P5* ожидает подачи поездного локомотива (*P165*) и выдачи документов на отправление (*P166*у Переходы *T17* и *T18* относятся к переходам типа *TD* (*TD* - разделяемый ресурс), что обеспечивает, при их срабатывании, возвращение фишек (состава) строго на тот путь, с которого поступила заявка на их обработку. После прицепки локомотива и опробывания тормозов (72) через выходную горловину (77S) производится отправление поезда (*P162*) на перегон (*P163У* Учет отправленных со станции поездов своего формирования ведется в позиции *P164*. Накопление и обработка составов на остальных путях сортировочно-отправочного парка происходит аналогичным образом.

3.5. Разработка модели технологических линий обработки информации и документов

Функционирование технологических линий обработки информации и документов занимает важное место в общем процессе переработки вагонопотоков на станциях. На железных дорогах Украины нашли широкое применение автоматизированные системы управления технологическими процессами, прежде всего на технических станциях. На решающих сортировочных станциях сетевого значения функционируют

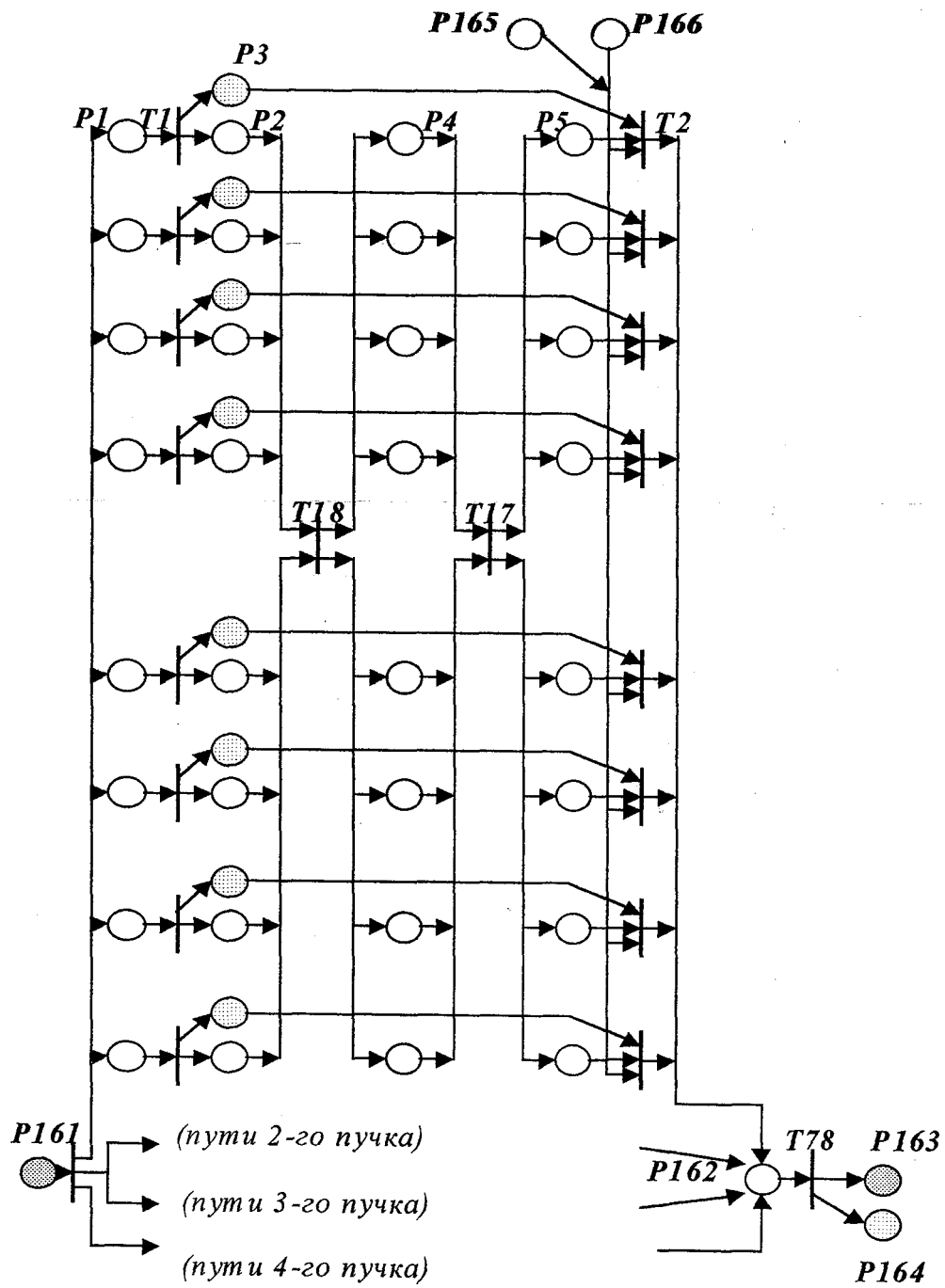


Рис. 3.18 - Модель работы сортировочно-отправочного парка.

автоматизированные системы управления (АСУСС) и развиваются АСУСС второй очереди (АСУСС-2), а также внедряются системы комплексных автоматизированных рабочих мест [79].

В связи с этим, возникает необходимость в более детальном рассмотрении технологических линии обработки информационных потоков и обработки документов, а также разработки их моделей функционирования для логистической системы комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки».

Обработка информации о поездах, поступающих в расформирование происходит в следующей последовательности.

Станционный технологический центр (СТЦ) связан дальнейшей межстанционной связью с соседними сортировочными станциями передачи телеграмм-натурных листов (ТГНЛ) [80]. Поэтому предварительная информация о составе поезда поступает в ПЭВМ по стандартным запросам не позднее 0,5 часа до начала его обработки в АРМ.

По прибытии поезда на станцию операторы при дежурных по станции:

- берут информацию по диспетчерской связи у поездного диспетчера о движении поезда на прилегающих участках и отмечают в журнале формы ДУ-3 (настольный журнал движения поездов) название станций, на которых поезд имел стоянку;

- извещают о прибытии поезда, о номере, индексе, пути и парке приема, времени прибытия, наименовании участка, с которого прибыл поезд:

- по телефонной прямой связи операторов СТЦ постов списывания;

- по телефонной прямой связи операторов технической конторы прибытия;

- по телефонной прямой связи оператора пункта технического осмотра (ПТО).

Оператор поста списывания печатывает номера вагонов прибывающего состава и передает сообщение 0005 непосредственно в ЭВМ и оператору технической конторы прибытия.

Оператор технической конторы прибытия на основании информации, полученной от ДСП, производит соответствующую запись в размеченной ТГНЛ для оператора ЭВМ, который составляет и вводит в ЭВМ сообщение 0040: «Информация о фактическом прибытии поезда на станцию», до ввода сообщения 0009 (о корректировке ТГНЛ на поезд).

При обработке сообщения 0005 в ЭВМ производится сверка номеров вагонов, указанных в сообщении 0005, с переданными в сообщении 0002 (предварительная ТГНЛ).

При наличии несоответствия в составе прибывшего поезда с переданным ранее, формируется массив расхождений, информация которого выдается на печать в техническую контору прибытия в виде заготовки сообщения 0009. Вслед за заготовкой сообщения 0009 выдается технологический документ: ВЦ-60 - телеграмма-натурный лист, размеченный по назначениям плана формирования.

После поступления в техническую контору грузовых документов на прибывший поезд, старший оператор выясняет причины расхождений, выявляет другие несоответствия, обнаруженные при списывании, вносит изменения в документ ВЦ-60 и заготовку сообщения 0009 для ввода в ЭВМ с.0009 о корректировке состава оператором ЭВМ.

Старший оператор технической конторы прибытия при подготовке с.0009 для вагонов, требующих отцепки по техническому или коммерческому браку в размеченной, а затем откорректированной ТГНЛ отражает вручную в примечании путь приема к ремонту, а также согласовывает с ДСП номер пути сортировочного парка, куда будет выброшен этот вагон, и составляет информационную фразу в с.0009 с кодом 06 (перестановка вагонов с пути на путь), где отражает этот номер пути сортировочного парка.

В случае отсутствия ТГНЛ в ЭВМ старшим оператором по прибытию после получения с.0005 и грузовых документов на данный поезд составляет

с.0002 и передает его оператору ЭВМ по прибытию для ввода в ЭВМ (по телетайпу).

При отсутствии необходимости корректировки ТГНЛ в ЭВМ вводится только служебная фраза с.0009. После окончательной корректировки предварительной ТГНЛ, то есть после ввода с.0009, оператор ЭВМ технической конторы прибытия вводит запрос с.0060 на получение откорректированной ТГНЛ и получает документ ВУ-60 в трех экземплярах с распечаткой, вручает их старшему оператору технической конторы прибытия, предварительно убедившись в правильности внесения изменений в с.0009

После завершения обработки с.0009 в технической конторе прибытия и после ввода маневровым диспетчером с.0053 производится выдача в автоматизированном режиме сортировочного листка на телетайпах:

- маневровому диспетчеру и дежурному по горке — в трех экземплярах;
- составителям-расцепщикам — в двух экземплярах.

Структурно-логическая схема линии обработки информации о поездах, поступивших в расформирование приведена в приложении Ж (см. рис. Ж.5)

Эффективность функционирования системы АСУСС в большой степени зависит от технических средств сбора первичной информации и их оптимального применения в технологических процессах. В связи с этим для улучшения ряда показателей работы сортировочных станций эффективно применение новых технологий по идентификации номеров вагонов на станциях [68, 81].

Во многих странах мира внедрение систем автоматизированной идентификации номеров вагонов носит все более массовый характер. Например, в Германии средства электронной обработки данных в сочетании с устройствами автоматической идентификации подвижного состава (AFI) позволяют сравнивать заданные значения параметров, характеризующих перевозки с фактическими, получаемыми при реальном отслеживании грузов [82]. Кроме AFI известно множество других систем подобного рода

(автоматизированные системы, основанные на применении инфракрасного излучения с активными и пассивными датчиками; системы считывания информации о подвижных единицах железнодорожного транспорта через космос и др). Основным недостатком большинства систем является то, что их эффективно применять лишь на замкнутом перегоне (например, в метрополитене).

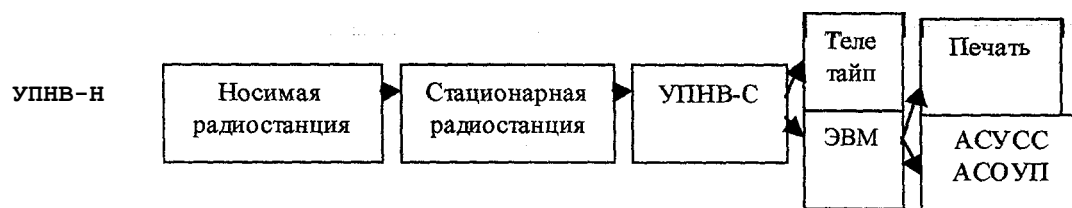
В связи с этим более рациональным является рассмотрение применения системы автоматизированной идентификации номеров вагонов на станции (НИВА) [83, 84], для которой подобные ограничения не существенны (рис. 3.19).

Система состоит из устройств УПНВ-Н (носимое устройство передачи номеров вагонов) и УПНВ-С (стационарное устройство передачи номеров вагонов), а также носимой и стационарной радиостанции, к которым подключаются внешняя ЭВМ и телетайп.

Списывание номеров вагонов осуществляет оператор технической конторы. Непосредственно списывание состоит из этапов: передачи информации о начале списывания, списывания состава, передачи информации об окончании списывания. Затем информация через УПНВ-С передается в системы АСУСС и АСОУП.

Модель описания процесса списывания состава при прохождении поездом входной горловины парка приема приведена на рис. 3.20.

При прохождении входной горловины парка приема ($T1$ 0) состав начинает рассматриваться как совокупность из m вагонов. После списывания номера вагона ($T7$) фишка попадает в позицию $P2$ (готовность к передаче информации). После передачи сообщения ($T2$) в буфер ($P5$), при готовности технической конторы к приему (фишка в позиции $P7$), происходит прием сообщения ($T4$) об инвентарном номере вагона. Если сообщение принято (фишка в позиции $P8$), то через переход $T5$ и буфер ($P6$) производится подтверждение ($T3$) о приеме сообщения. После чего производится списывание следующего вагона ($T7$) и т. д. по циклу. Одновременно



Рис, 3,19 — Функциональная схема системы НИВА

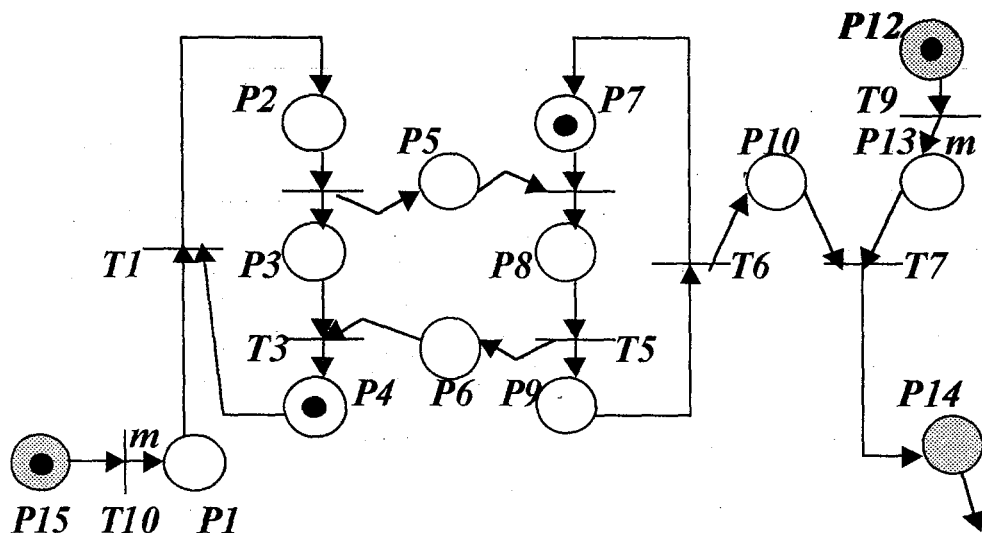


Рис. 3.20 - Модель передачи данных при входе состава в парк приема

производится сверка информации о вагонах с ТГНЛ (Тб), полученной с соседней станции (P12), После чего составляется сортировочный листок (T7 и P14) для расформирования состава на горке, В данной модели позиции P15 и P14 идентичны аналогичным позициям P1 и P17 модели обработки составов в парке приема, а переход T10 аналогичен переходу T1 (рис, 3,12),

Система автоматизированной идентификации номеров вагонов на станции внедрена в опытную эксплуатацию на ряде сортировочных станций России [84], Кроме того, проведенное в [85] для станции Харьков-Сортировочный, сравнение вариантов существующей технологии обработки информации о вагонах с системой НИВА показало существенное преимущество второй.

На основе постоянно входящей информации о вагонах в системе НИВА оперативно ведется база данных расположения вагонов, представляющая собой описание станционных путей и перемещающихся по ним вагонов. Данная база данных позволит вести повагонную модель работы станции, предназначенную для решения информационных задач по обеспечению процессов управления.

Технологическая линия обработки информации для комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» напрямую связана с линией обработки документов.

Обработка документов на поезда, поступающие в расформирование, на сортировочной станции происходит следующим образом.

После захода поезда на станцию документы доставляются оператору технической конторы, который выясняет причины расхождений, выявляет другие несоответствия, обнаруженные при списывании, вносит изменения в документ ВЦ-60.

Оператор технической конторы должен изъять из комплекта поездных документов документы на вагоны отцепляемой группы, а в натурном листе поезда проставить штампель станции в графах, содержащие сведения об отцепляемых вагонах.

После обработки грузовых документов в технической конторе прибытия они передаются оператором технической конторы грузовым операторам, которые осуществляют: проверку документов, изъятие дополнительной дорожной ведомости, таксировку дорожной ведомости и проверку правильности взыскания платежей за провоз груза по железным дорогам Украины. После чего документы вручаются оператору технической конторы отправления.

Если информация о неисправных вагонах поступила после выдачи сортировочного листка, то маневровый диспетчер устно сообщает исполнителям роспуска об изменениях в сортировочном листке (рис 3.21).

По отправлению поездов с соседних технических станций составляются телеграммы-натурные листы (появление фишек в позициях *P3* и *P4*), которые посредством межстанционной связи передаются (77) в СТЦ, соответственно для нечетных (*7*5*) и четных (*P6*) поездов. При этом разделение поездопотока на четный и нечетный производится для отдельного рассмотрения поступления, списывания и обработки информации о поездах, прибывающих на станцию с разных направлений. Для этого *T1* задается переходом TD-типа. После получения ТГНЛ производится ее разметка и пересылка (*T4* и *7*5*) в техническую контору (ТК) (*РЮ* и *P12*) и в ПТО (*РИ*). Все эти операции выполняются до прибытия поезда на станцию.

По прибытию, соответственно с нечетного (*P1*) и четного (*P2*) перегонов, при проследовании поезда через горловину, производится натурное списывание инвентарных номеров вагонов (*T2* и *T8*). После чего производится сверка результатов списывания с данными ТГНЛ (*T6* и *T9*). При приеме поезда, машинист локомотива бросает поездные документы в бункер, откуда они по пневмопочте пересылаются (*T3* и *T10*) в СТЦ (*P9* и *P15*). Затем, если поезд прибыл в расформирование (срабатывание перехода *T15*), производится сверка ТГНЛ и поездных документов с результатами натурного списывания (*77* и *T11*). Для транзитных же поездов без переработки (срабатывание переходов *T14* или *T16*) обработка информации и

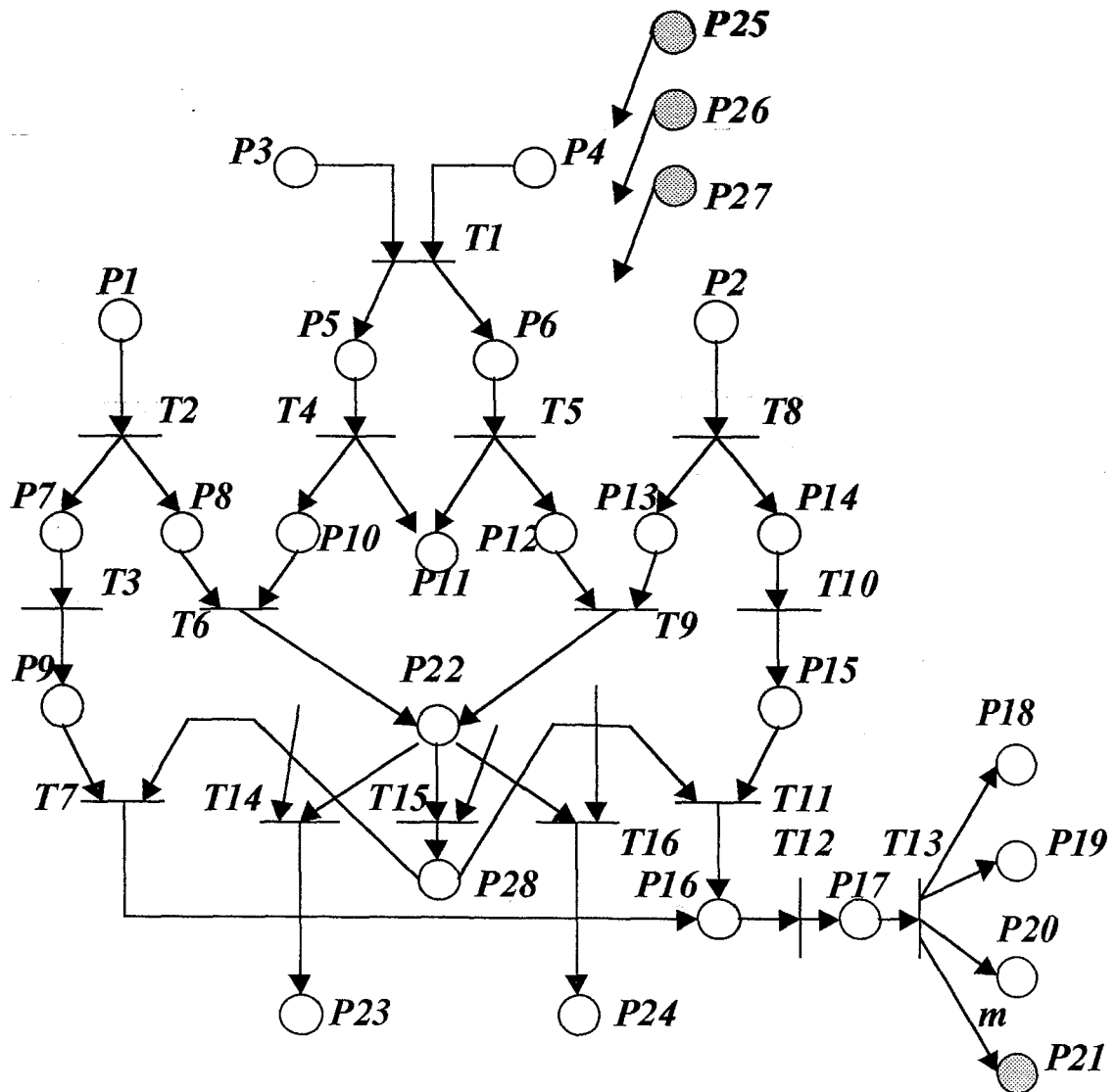


Рис. 3.21 — Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов по прибытию поезда на станцию

документов завершена (*P23* для четного транзитного парка и *P24* — для нечетного). После сверки ТГНЛ и поездных документов с результатами списывания на поезда, поступившие в переработку (*P16*)- составляется сортировочный листок (772), который затем рассылается по пневмопочте (*T13*) оператору 3-й тормозной позиции (*P18*) оператору ДСЦ (*P19*) составителю поездов на вершине горки (*P20*) и дежурному по горке (ДС111) (*P21*). В позицию *P21* ведет дуга весом m ж, где m - число вагонов в распускаемом составе. При этом позиция *P21* является аналогичной позиции *P17* в модели технологической линии обработки вагонов в парке приема (см. рис. 3.12). Позиции *P25-P27* символизируют собой парки станции (соответственно, четный транзитный, парк приема и нечетный транзитный) (см. рис. 3.12 и 3.17) и в данной модели служат для того, чтобы определить какой из переходов (*T14*, *T15* или *T16*) должен срабатывать при попадании фишки в позицию *P22* (*P22* - завершение сверки ТГНЛ с результатами списывания состава).

Обработка информации о сформированных составах производится следующим образом.

По мере накопления вагонов производятся записи в натурные листы по назначениям плана формирования (номера вагонов, их масса, тип подшипников), а также подсчет массы и длины накапливаемых составов на путях сортировочного парка.

По мере окончания накопления состава, при перестановке из парка в парк, производится списывание инвентарных номеров вагонов оператором поста списывания или оператором технической конторы отправления. После списывания инвентарные номера вагонов передаются в техническую контору отправления по телефонной связи АТС из помещения дежурного по отправлению для ввода в ЭВМ с.0006. В процессе обработки в ЭВМ с.0006 осуществляется сверка инвентарных номеров вагонов из с.0006 и номеров вагонов большой повагонной модели, составляется заготовка натурального листа на сформированный поезд, а также выдается заготовка

рассогласований (с.0008) в техническую контору отправления на печатающие устройства.

Оператор технической конторы отправления сверяет грузовые документы на все вагоны с накопительной ведомостью и заготовкой с.0008, формируя при этом с,0008.

Если поезда отправляются с путей сортировочно-отправочного парка, то в с.0008 реквизиты «номер парка», «номер пути», «откуда» и «куда» переставляется состав должны быть одни и те же; в случае перестановки сформированного состава в парк отправления, «номер парка», «куда» — указываются фактические.

Сообщение 0008 может подготавливаться по заготовке, то есть без ввода с.0006 о перестановке состава. В этом случае, в служебной фразе сообщения указываются номера головного и хвостового вагонов отправляемого поезда, а ответственность за правильное расположение вагонов в натурном листе полностью возлагается на оператора ЭВМ технической конторы отправления, маневрового диспетчера и дежурного по горке.

После фактического отправления поезда со станции дежурный передает сведения об отправлении поезда и локомотивную фразу оператору ЭВМ по отправлению и оператору ЭВМ при маневровом диспетчере.

Оператор ЭВМ по отправлению составляет с.0049. «Информация о фактическом отправлении поезда» и вводит его в ЭВМ АСУСС, которая формирует с.0200 и перекачивает его в АСОУП. После обработки с.0049 из ЭВМ выдается ТГНЛ в автоматическом режиме на станцию назначения, а из памяти ЭВМ удаляется. Кроме того, в автоматическом режиме сведения о вагонах из повагонной модели сортировочного парка исключаются после с.0049 (см. Прилож .Ж, рис. Ж.7).

Совместно с технологической линией обработки информации функционирует линия обработки документов на поезда своего формирования.

Параллельно накоплению вагонов на путях сортировочного парка производится раскладка документов по назначениям плана формирования.

Оператор технической конторы отправления по окончании накопления состава сверяет грузовые документы на все вагоны с накопительной ведомостью, после чего уведомляет обо всех вагонах, требующих отцепки по техническому или коммерческому браку.

После введения соответствующих кодов, оператор технической конторы получает из ЭВМ в автоматическом режиме следующие документы:

ВЦ-74 — «Натурный лист поезда по форме ДУ-1» с итоговой частью;

ВЦ-84 — «Справка для заполнения маршрута машиниста».

Затем производится окончательная сверка грузовых документов по натурному листу, после чего оператор технической конторы отдает натурный лист на подпись работникам, участвующим в осмотре поезда. После этого старший оператор технической конторы отправления отдает документы грузовым экспертам для окончательной проверки, затем конвертирует документы, натурный лист, справку для заполнения маршрута машиниста и передает пакет документов дежурному по отправлению для вручения машинисту локомотива. Структурно-логическая схема линии обработки документов на поезда своего формирования приведена на рис. Ж. 8

Взаимодействие технологических линий обработки информации и документов на поезда своего формирования имеет вид модели, приведенной нарис. 3.22.

Данная модель функционирует по нескольким параллельным идентичным линиям (в зависимости от числа маневровых районов в хвостовой горловине сортировочного парка). Это связано с необходимостью учета возможности параллельной перестановки сразу нескольких сформированных составов из сортировочного парка в парк отправления.

Модель обработки информации и документов функционирует по нескольким параллельным идентичным линиям (в зависимости от числа маневровых районов в хвостовой горловине сортировочного парка). Это

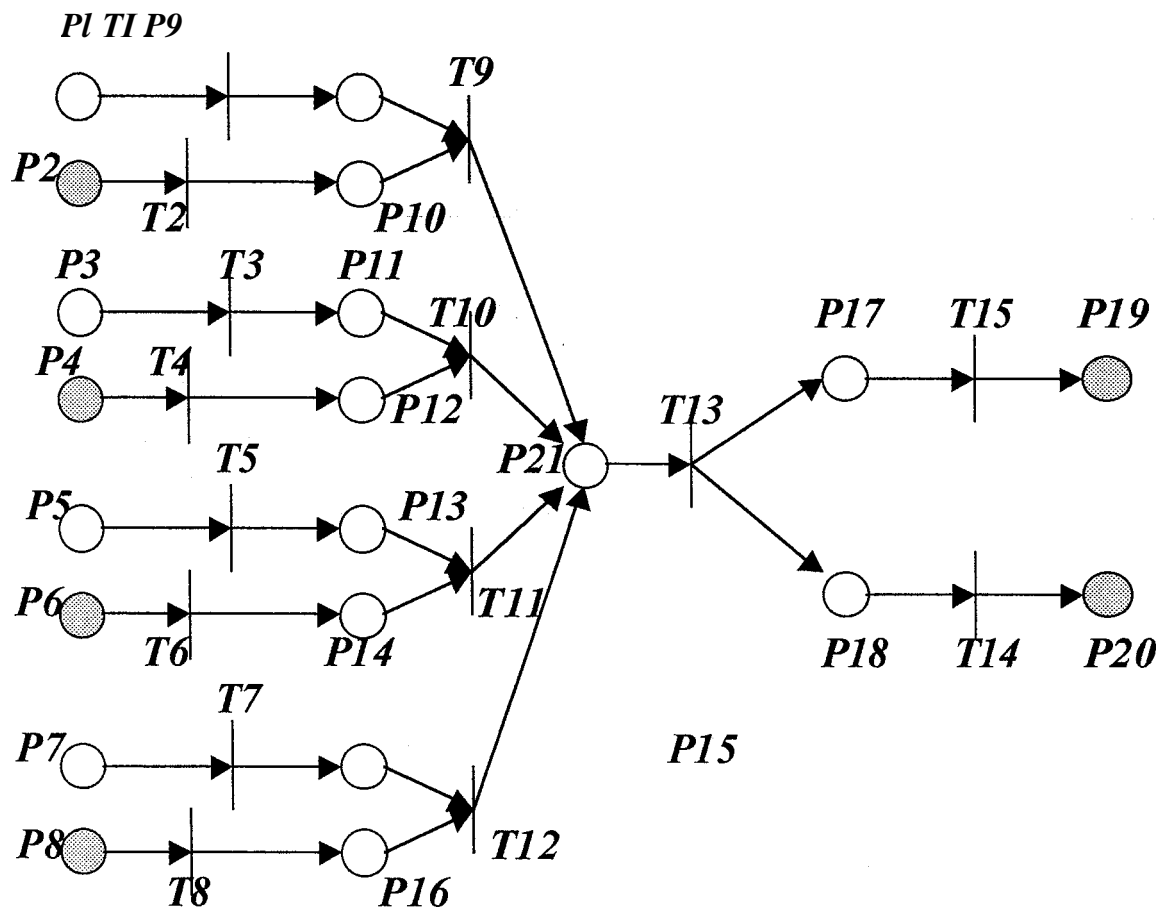


Рис. 3.22 - Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов на поезда своего формирования

связано с необходимостью учета возможности параллельной перестановки сразу нескольких сформированных составов из сортировочного парка в парк отправления.

Модель функционирует следующим образом. По окончании накопления составов в соответствующих позициях *P1*, *P3*, *P5* и *P7* (относящихся, соответственно к 1, 2, 3 и 4 пучку путей сортировочного парка) появляются фишки, символизирующие получение окончательного листка накопления. После чего листки накопления по пневмопочте пересылаются (*T1*, *T3*, *T5*, *T7*) в СТЦ (*P9*, *P11*, *P13*, *P15*) на обработку. В это же время, после окончания формирования при наличии свободного пути в парке отправления, по одной из вытяжек формирования (*P2*, *P4*, *P6*, *P8*) производится перестановка состава из парка в парк с параллельным списыванием инвентарных номеров вагонов (*T2*, *T4*, *T6*, *T8*).

После получения результатов натурального списывания переставляемого состава, в СТЦ производится сверка полученных данных с данными листка накопления (*T9—T12*). Затем производится дополнение листков накопления сведениями из документов и составление натурального листа [*T13*], после чего натуральный лист и документы по пневмопочте пересылаются (*T14*) машинисту поездного локомотива (*P20*). В это же время полученная телеграмма-натуральный лист (ТГНЛ) поезда (фишка в позиции *P17*) по межстанционной связи передается (*T15*) на соответствующую соседнюю техническую станцию (*P19*), согласно маршруту следования сформированного поезда.

В данной модели позиции *P2*, *P4*, *P6*, *P8* аналогичны позициям *P37- P40* модели расформирования-формирования поездов, а переходы *T2*, *T4*, *T6* и *T8* — переходам *T35-T38* (см. рис. 3.15). Позиция *P20* аналогична позиции *P15* модели обработки поездов в парке отправления (см. рис. 3.16).

Обработка информации о транзитных поездах происходит следующим образом.

Предварительная информация о составе поезда в виде 11 НЯ поступает в ПЭВМ по стандартным вопросам не позднее 0,5 часа до начала обработки его в АРМ

По прибытии поезда на станцию операторы при дежурных по станции:

- получают информацию по диспетчерской связи у поездного диспетчера о движении поездов на прилегающих участках и отмечают в журнале ДУ-3 название станций, на которых поезд имел стоянку;

- извещают о прибытии поезда, о номере, индексе и парке приема, времени прибытия наименовании участка, с которого прибыл поезд:

- по телефонной прямой связи операторов технической конторы прибытия;

- по телефонной прямой связи оператора ПТО;

- по телефонной связи АТС ст аршего приемосдатчика смены ПКО.

Оператор поста списывания печатывает номера вагонов прибывающего состава и передает с.0005 непосредственно в ЭВМ и оператору технической конторы прибытия, используя для служебной фразы информацию, полученную от ДСП о прибытии поезда, а для информационных фраз — инвентарные номера вагонов прибывающего поезда.

Оператор технической конторы прибытия на основании информации, полученной от ДСП, производит соответствующую запись в размеченной ТГНЛ для оператора ЭВМ, который составляет и вводит в ЭВМ с.0040: «Информация о фактическом прибытии поезда на станцию», до ввода с.0009.

При обработке с.0005 в ЭВМ производится сверка номеров вагонов, указанных в с.0005, с переданными в с.0002 (предварительная ТГНЛ).

При наличии несоответствия в составе прибывшего поезда с переданными данными формируется массив расхождений, информация которого выдается на печать в техническую контору прибытия в виде заготовки с.0009. Вслед за заготовкой с.0009 выдается технологический

При подходе поезда, требующего пополнения, оператор ЭВМ вводит с.0048 о прицепке вагонов с дальнейшим получением натурального листа по с.0008, который прилагается к основному натуральному листу.

При отцепке старший оператор технической конторы отправления, определяет сколько вагонов нужно отцепить, и дает информацию оператору ЭВМ технической конторы прибытия, который вводит в ЭВМ с.4747 об отцепке и получает натуральный лист отдельно на отцепляемые вагоны и вагоны, следующие в поезде.

Старший оператор технической конторы прибытия при подготовке с.0009 для вагонов, требующих отцепки по техническому или коммерческому браку в ТГНЛ отражает вручную в примечании путь ремонта и согласовывает с маневровым диспетчером номер пути сортировочного парка, куда будет брошен этот вагон, а также составляет информационную фразу в с.0009 с кодом 06.

В случае отсутствия в ЭВМ ТГНЛ старший оператор по прибытию, после получения с.0005 и грузовых документов составляет с.0002 и передает его оператору ЭВМ по прибытию для ввода в ЭВМ (по телетайпу). При отсутствии необходимости корректировки ТГНЛ в ЭВМ вводится только служебная фраза с.0009 (о корректировке состава).

После ввода с.0009, оператор ЭВМ технической конторы прибытия вводит сообщение 0600 - запрос на получение откорректированных ТГНЛ и получает документы ВЦ-60 в трех экземплярах с распечаткой, затем вручает их старшему оператору технической конторы прибытия, предварительно убедившись в правильности внесения изменений с.0009.

После фактического отправления поезда со станции дежурный передает сведения об отправлении поезда и локомотивную фразу оператору ЭВМ по отправлению и оператору ЭВМ при маневровом диспетчере.

Оператор ЭВМ по отправлению составляет с.0049: «Информация о фактическом отправлении поезда» и вводит его в ЭВМ АСУСС, которая формирует с.0200 и перекачивает его в АСОУП. После обработки с.0049 из

ЭВМ выдается телеграмма-нагурный лист на станцию назначения в авторежиме, а из памяти ЭВМ ТГНЛ удаляется и сведения о вагонах исключаются из повагонной модели сортировочного парка (см, рис. Ж. 9),

Обработка документов на транзитные поезда происходит в следующей последовательности.

Оператор технической конторы прибытия на основании информации о подходе поезда, полученной от дежурного по станции, производит соответствующую запись в ТГНЛ.

При подходе поезда, требующего пополнения, ДСЦС дает команду маневровому диспетчеру о формировании группы вагонов, требуемой для пополнения, которое должно быть закончено до прибытия поезда. По завершению формирования оператор СТЦ отправления производит натурное списывание номеров вагонов и подбирает соответствующие перевозочные документы.

Старший оператор технической конторы выясняет причины расхождений в документах на прибывший поезд, выявляет другие несоответствия, обнаруженные при списывании, вносит изменения в документ ВЦ-60.

Оператор технической конторы изымает из комплекта поездных документов документы на вагоны отцепляемой группы, а в натурном листе проставляет штампель станции в графах, содержащих сведения об отцепляемых вагонах.

После окончательной корректировки предварительной ТГНЛ оператор ЭВМ технической конторы прибытия получает документы ВУ-60 в трех экземплярах с распечаткой и вручает их старшему оператору технической конторы прибытия.

После обработки грузовых документов в технической конторе прибытия их передают грузовым экспертам, которые осуществляют проверку документов, изъятие дополнительной дорожной ведомости и таксировку

дорожной ведомости, после чего документы передаются оператору технической конторы отправления.

Получив из ЭВМ документы ВЦ-74 и ВЦ-84, оператор технической конторы отправления производит окончательную сверку грузовых документов по натурному листу, после чего документы передаются для окончательной проверки грузовым экспертом.

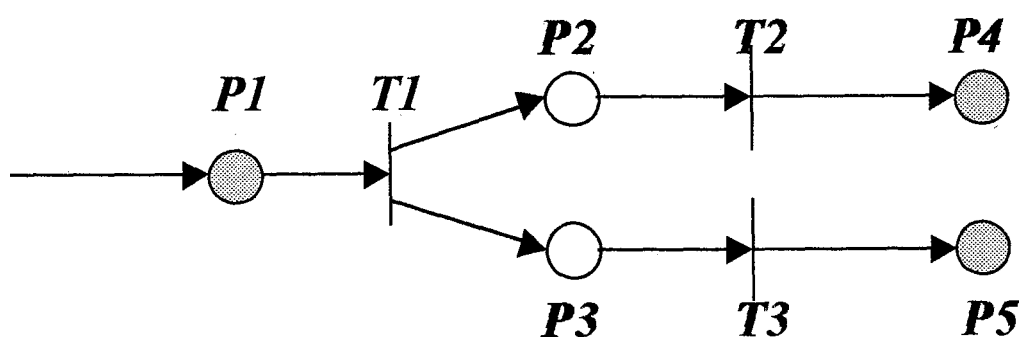
Оператор технической конторы отправления конвертирует перевозочные документы, натурный лист, справку для заполнения маршрута машиниста и передает дежурному по отпращиванию пакет документов для вручения машинисту локомотива.

Структурно-логическая схема линии обработки документов на транзитные поезда приведена в Прилож. Ж (рис. Ж10).

Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов для транзитных поездов, приведенная на рис. 3.23, будет иметь вид сокращенной объединенной модели для этих линий по прибытию и отпращиванию (см. рис. 3.21 и 3.22).

В позицию *P1* фишка попадает после завершения обработки информации и документов по прибытию. Эта позиция аналогична позиции *P23* или *P24* (в зависимости от парка станции) модели функционирования технологических линий обработки информации и документов по прибытию (см. рис. 3.21). Затем производится изменение или составление нового 77) натурального листа (*P3*), который вместе с поездными документами по пневмопочте передается (73) машинисту поездного локомотива (*P5*). Одновременно по межстанционной связи производится передача ТГНЛ (72) на следующую техническую станцию (*P4*).

В данной модели позиция *P5* аналогична позиции *P14* модели обработки транзитного вагонопотока (см. рис. 3.17).



Рис, 3.23 - Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов для транзитных поездов по отправлению

3.6. Построение модели представления производственной ситуации в технологической линии обеспечения поездными локомотивами

Для осуществления технического ремонта, технического обслуживания и экипировки локомотивов на станциях сооружается локомотивное хозяйство [76]. Локомотивные депо подразделяются на основные и оборотные. Для обслуживания и ремонта локомотивов на сортировочных станциях сооружаются основные депо.

В основных локомотивных депо, согласно [87], кроме ТО-1 и ТО-2, выполняют техническое обслуживание ТО-3 (профилактический осмотр) локомотивов и их текущие ремонты ТР-1 (малый периодический), ТР-2 (большой периодический) и ТР-3 (подъемочный). При этом ТР-2 и ТР-3 выполняют наиболее крупные, хорошо оснащенные депо. Периодичность обслуживания и ремонта зависит от пробега и наработки локомотива, которые измеряются, соответственно, в тыс. км или сутках (месяцах, годах) [88,89].

Информация о локомотиве, заходящем в депо, поступает к дежурному по депо, где определяется дальнейший вариант его нахождения в депо, а информация о пробеге и наработке оборудования от предыдущего захода в депо переносится с бортовых регистрирующих устройств в информационную сеть депо [90].

Структурно-логическая схема технологической линии обработки поездных локомотивов приведена на рис. Ж. 11 (см. Прилож. Ж).

Интенсивности потоков, переводящие локомотивы из работоспособного состояния в неработоспособное и обратно, в общем случае зависят от численности локомотивов в парке. Согласно принципу квазирегуляции интенсивности потоков событий [91], переводящих элемент (локомотив) из состояния в состояние, зависит не от самих численностей состояния, а от их математических ожиданий. При этом, чем больше число

локомотивов в парке, тем меньше отличаются фактические численности состояний от своих математических ожиданий.

Этот принцип учтен при построении модели функционирования технологической линии обработки поездных локомотивов, приведенной на рис. 3.24.

Модель функционирует следующим образом. После отцепки от состава поездной локомотив поступает в локомотивное хозяйство ($P7$). В позиции $T1$ производится разделение потока поступивших локомотивов на тепловозы ($P2$) и электровозы ($P3$). При этом, $T1$ задается переходом ТХ-типа, что позволяет учитывать процентное отношение числа тепловозов или электровозов к общему числу парка локомотивов. В переходе $T2$ происходит определение вида работ и ремонта локомотивов (в данном случае тепловозов). $T2$ представлен переходом ТХ-типа, что позволяет определять вероятность попадания каждого из локомотивов на тот или иной вид ремонта (в зависимости от пробега или наработки). Здесь позиции $P4-P9$ отражают попадание, соответственно, на ГО-1, ТО-2, ТО-3, ТР-1, ТР-2 и ТР-3. Также в модели учитывается вероятность отправки локомотива на завод для производства капитального ремонта ($P10$).

В позициях $P4-P9$ локомотивы находятся в ожидании выполнения соответствующего вида работ, после чего переставляются ($T4-T9$) в стойла ($P11-P16$) для производства технического обслуживания и ремонта ($T10-T15$). В позициях $P44-P48$, имеющих предельную вместимость $K(P)$ в зависимости от числа стойл, отражается занятость соответствующих стойл. В связи с тем, что ТО-3 и ТР-1 производятся в одном цеху, для этих работ позиция $P46$ общая. По завершению обслуживания и ремонта ($P30-P35$) локомотивы убираются из депо ($T28-T33$) на пути стоянки готовых тепловозов ($P42$). В момент перестановки из соответствующей данному виду работ позиции $P44-P48$ изымается фишка, означающая освобождение стойла для захождения на обслуживание (или ремонт) следующего тепловоза. По окончании обслуживания, производится повторное диагностирование

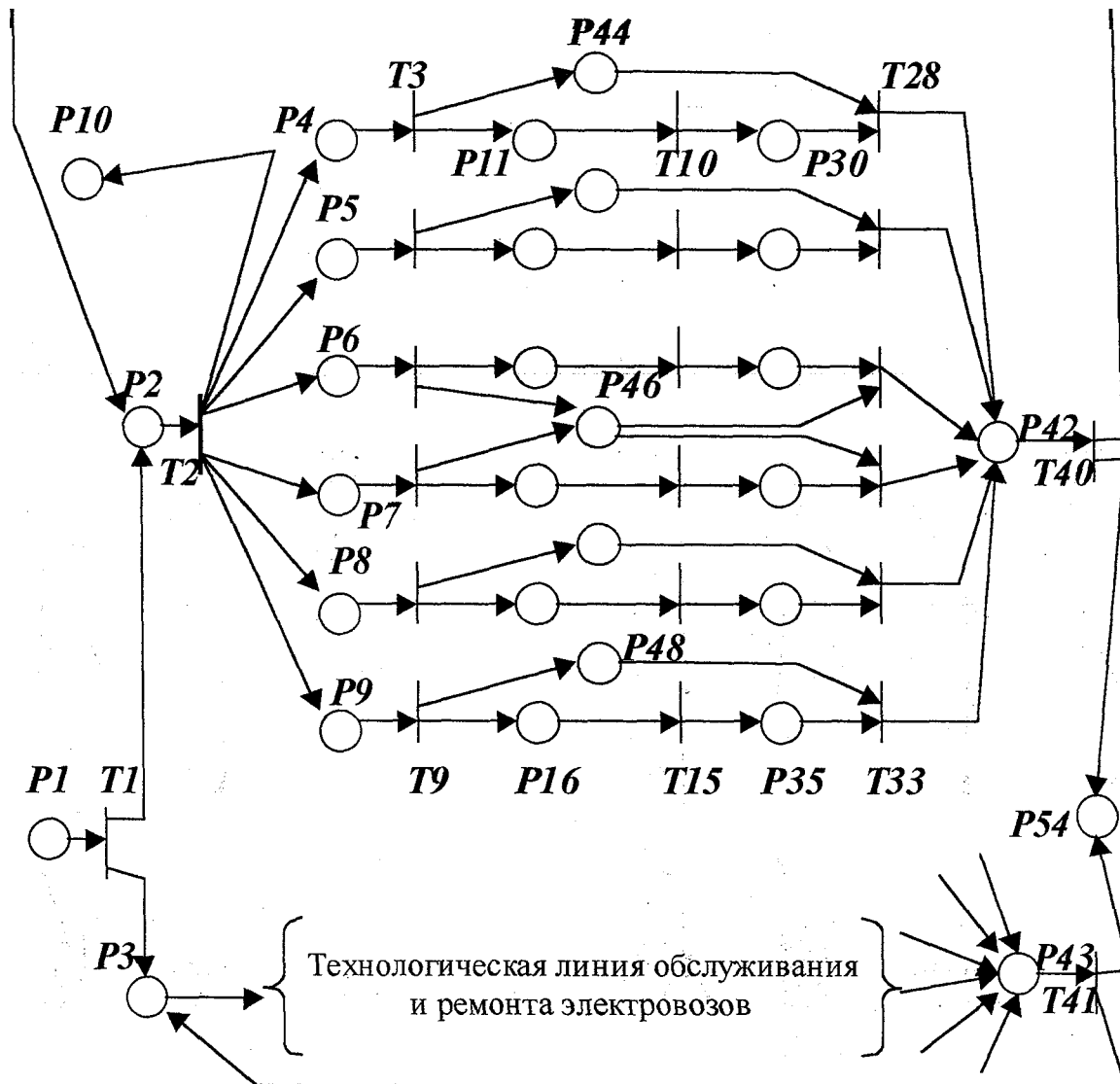


Рис. 3.24 — Модель функционирования технологической линии обеспечения поездными локомотивами

локомотивов (*T40*) на определение годности к отправлению с поездами (*P54*). В противном случае локомотив отправляют на повторную обработку в депо (*P2*). *T40* является переходом ГХ-типа.

По аналогичному принципу функционирует и вторая половина модели, символизирующая обслуживание и ремонт электровозов.

Информационное обслуживание на участках проведения ТО и ТР сводится к получению назначенной технологии текущего обслуживания или ремонта локомотива, регистрации выполненного ремонта, идентификации замены оборудования и получению информации о необходимости непланового ремонта. Информационное обслуживание производственно-технического отдела связано с решением задач учета наработки оборудования локомотивов, ведением паспортов, планированием поступления локомотивов на плановые виды ремонта и т.п.

Построенная модель функционирования технологической линии обеспечения поездными локомотивами во взаимодействии с моделями других технологических линий позволяет вести анализ состояния локомотивного парка депо в зависимости от степени его сбалансированности с мощностью ремонтной базы. Это даст возможность определить оптимальные размеры эксплуатируемого парка в соответствии с заданными размерами движения.

3.7. Разработка модели функционирования подсистемы «Выходные участки»

Функционирование каждой технологической линии сортировочной станции и всей логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» напрямую зависит от слаженной работы системы «Выходные участки».

В связи с потребностью интеграции железнодорожного транспорта Украины в общеевропейскую сеть возникает потребность в исследовании вопросов повышения участковой скорости движения поездов с 30-35 км/ч до 42-45 км/ч, а средней скорости доставки грузов «от двери до двери» - до 25 км/ч и выше [92]. Для сокращения сроков доставки груза в условиях спада объемов перевозок целесообразным является рассмотрение вопроса о введении твердых ниток графика движения поездов.

Практика работы железнодорожного транспорта показала, что система отправления поездов установленного состава по стабильным ниткам на железных дорогах СССР не дала положительных результатов, так как не всегда обеспечивалось полное выполнение графика и зачастую наблюдалось ухудшение эксплуатационных показателей [93]. Улучшить эти показатели в условиях существующей неравномерности грузовых перевозок путем отправления с технических станций и проследования по участкам поездов переменного состава строго по специализированным ниткам графика. Надежность подготовки составов на твердые нитки графика гарантируется опорой на устойчивые реальные поездопотоки, специализацией сквозных расписаний по направлениям с вариацией ее по назначениям и применением экономически обоснованных для каждого поездного назначения гибких норм массы и длины поезда [94].

Существует несколько вариантов специализации поездов на графике. Например, закрепление всех ниток по назначениям плана формирования или специализация части расписаний графика по назначениям плана формирования лишь для отдельных категорий поездов, обращающихся ежедневно по твердому расписанию. В первом случае применяется твердая специализация всех расписаний, распространенная на железных дорогах Германии, Чехии и Венгрии. Во втором случае на длительность переработки вагонов влияют степень согласованности графика движения с технологическими процессами работы станций и возможный простой готовых составов в ожидании отправления по специализированным ниткам.

Для выполнения основных требований, предъявляемых железной дороге клиентурой, которые заключаются в надежности доставки груза «точно в срок», более рациональным является применение третьего варианта. Данный вариант предусматривает специализацию всех грузовых поездов по направлениям движения с возможностью отправления в данном направлении поездов любых назначений по ближайшей свободной нитке графика. При такой системе специализации сортировочной станции предоставляется право отправлять поезда любых назначений по ближайшему свободному расписанию данного направления.

При данном подходе резко сокращается простой готовых составов в ожидании отправления. Этот простой может быть обусловлен несогласованностью графика движения поездов с технологическим процессом работы сортировочной станции, одновременным завершением накопления двух составов и более, а также пропуском транзитных поездов. В связи с этим, при специализации расписаний по направлениям пропуск транзитных поездов и отправление составов своего формирования необходимо рассматривать совместно ($N_{гр}$), так как по одним и тем же ниткам с сортировочной станции могут отправляться как поезда своего формирования ($N_{сф}$), так и транзитные ($N_{тр}$). Тогда интенсивность выходящего потока на каждом из прилегающих участков будет определяться как

$$уч \sim \frac{N_{сф} + N_{тр}}{1440} \quad (3.11)$$

Следует учитывать, что на среднюю величину времени обслуживания участков в большой степени влияют размеры движения пассажирских ($N_{пс}$), ускоренных ($N_{уск}$) и сборных поездов ($N_{сб}$)

1440

(3.12)

$$N_{zp} = N^{\wedge} - E_{nc}N_{nc} - E_{уск}N_{уск} - E_{сб}N_{сб}, \quad (3.13)$$

где N_{max} - максимальная пропускная способность участка;

$E_{пс}$, $E_{уск}$, $E_{сб}$ - коэффициенты съема соответственно для пассажирских, ускоренных и сборных поездов.

Для того, чтобы исключить простой составов в ожидании отправления по графику, помимо условий полного взаимодействия всех внутристанционных процессов, необходимо обеспечить взаимодействие технологии работы станции с графиком движения и планом формирования грузовых поездов. В целях такой увязки необходимо, чтобы интервалы времени между прибытием и отправлением перерабатываемых поездов равнялись продолжительности технологических операций по переработке вагонов на данной сортировочной станции. Кроме обеспечения минимальных простоев составов своего формирования, необходимо также обеспечивать успешный пропуск через сортировочную станцию и транзитных поездов.

Руководствуясь этим принципом, получена модель функционирования системы «Выходные участки» (рис. 3.25).

Модель функционирует следующим образом. После окончания обработки поездов своего формирования в парке отправления и транзитных поездов без переработки в четном или нечетном транзитных парках, фишки (поезда) попадают соответственно в позиции $P15$, $P1$ и $P2$. На переходе $T9$ происходит разделение отправляющегося поездопотока своего формирования на четный ($P16$) и нечетный ($P17$). В связи с этим $T9$ задается переходом ЕУ-типа. Переходы $T1$ и $T2$ символизируют занятость соответственно четной и нечетной выходных горловин сортировочной станции ($T1$ и $T2$ - переходы ТУ-типа). А в переходах $T10$ и $T11$ происходит

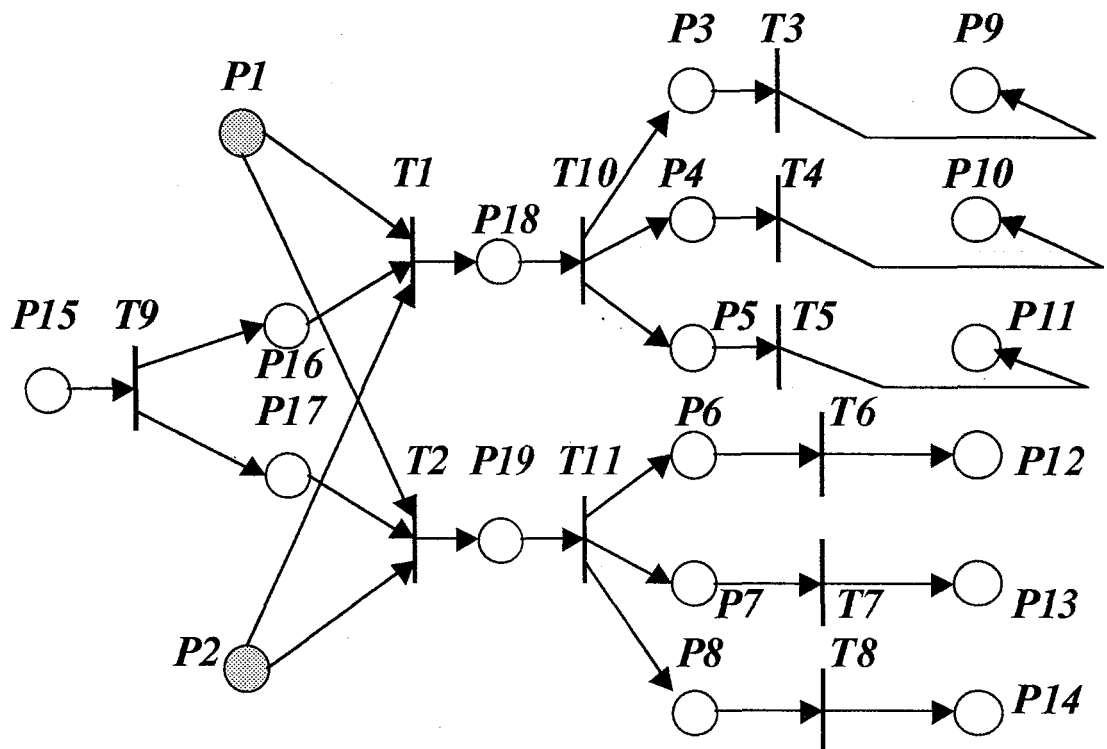


Рис. 3.25 - Модель функционирования подсистемы «Выходные участки»

распределение отправляемого соответственно четного и нечетного поездопотока по назначениям плана формирования на В, А, Д и Г, Б, Е (соответственно, позиции *P3-P8*). *ТЮи ТН* - переходы ТХ-типа. Переходами *T3-T8* задается перегонное время хода поездов (вероятностное значение времени, через которое они могут попасть на соседние технические станции (*P9-P14*)). При этом данные переходы могут иметь как конкретное числовое значение, так и содержать внутри себя самостоятельные сети, характеризующие передвижение материальных и информационных потоков по перегону (см. рис. 3.8, 3.9).

Используемый в данной модели принцип скорейшего отправления поездов переменной массы и длины по ближайшим ниткам графика, позволит достичь не только реального ускорения продвижения вагонопотоков и сокращения потребного парка локомотивов, но и уменьшения оборота вагона, повышения производительности труда, а также снижения эксплуатационных расходов.

3.8. Разработка макроуровневой модели функционирования логистической системы транспортного комплекса

«Сортировочная станция - прилегающие участки»

Как отмечалось в п. 3.1 настоящей работы, транспортный комплекс «Сортировочная станция - прилегающие участки» целесообразно рассматривать не только на микроуровнях (входные участки - сортировочная станция — выходные участки), но и на макроуровне. Технология работы на макроуровне логистической системы комплекса должна быть построена таким образом, чтобы в рамках каждого микроуровня с заданной степенью надежности выдерживался установленный срок доставки, и при этом обеспечивалась нормативная стоимость перевозки. Необходимым условием

для выполнения этих требований является создание сплошной сети информационного обслуживания по всей транспортной цепочке, частью которой будет являться макроуровневая модель функционирования логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».

При этом разработка макроуровневой модели имеет две основные цели:

- 1) Повышение конкурентоспособности железных дорог на транспортном рынке. Эта цель может быть достигнута за счет более надежного и быстрого информирования клиентов о подходе вагонов, а также более интенсивного обмена информацией с клиентами и слежения за текущим местоположением грузовых отправок;
- 2) Повышение производительности. Эта цель должна быть достигнута за счет ускорения оборота вагонов благодаря контролю за их использованием, увеличения загрузки поездов в результате целенаправленного диспетчерского регулирования и повышения пропускной способности сортировочных станций [95].

Эти задачи представляются разрешимыми после разработки и реализации общей модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».

Реализация информационно-управляющей системы комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» позволит привести не только к появлению современного средства предварительного оповещения, но и своевременному предоставлению данных для регулирования провозной способности сети, обеспечению непрерывного контроля за передвижением вагонов и оптимизации технологических процессов на железных дорогах Украины.

В связи с этим возникает необходимость в создании общей модели транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»

(рис. 3.26), схема логистической системы которой приведена на рис. 3.1, а структурно-логические схемы и принцип взаимодействия технологических линий сортировочной станции между собой приведены в п. 3.3 настоящей работы (см. рис. 3.10, 3.11).

Упрощенная модель функционирования логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» представляет собой сеть Петри, в которой позиции отражают промежуточные состояния системы, а каждый переход представляет собой самостоятельную модель (сеть Петри). В данной модели:

T1 - Модель работы участков приближения сортировочной станции (см. рис. 3.2);

T2 - Модель обработки составов в парке приема (см. рис. 3.12);

T3 - Модель процесса расформирования-формирования поездов (см. рис. 3.15);

T4 - Модель обработки составов в парке отправления (см. рис. 3.16);

T5 - Отправление из парка О (переход *T7*, рис. 3.16);

T6 - Модель обработки составов в четном транзитном парке (см. рис. 3-17);

T7 - Отправление из четного транзитного парка (переход *T8*, рис. 3.17);

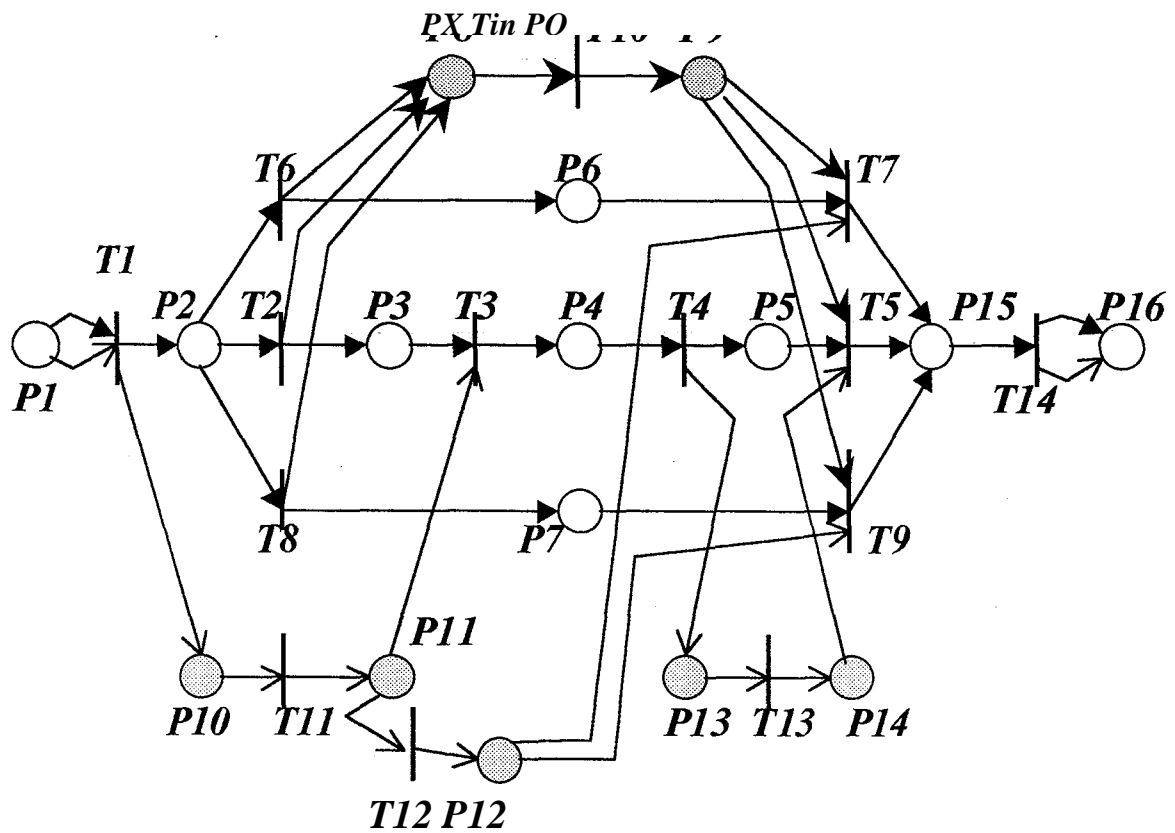
T8 - Модель обработки составов в нечетном транзитном парке (см. рис. 3.17);

T9 - Отправление из нечетного транзитного парка (переход *T8*, рис. 3.17);

T10 - Модель функционирования технологической линии обеспечения поездными локомотивами (см. рис. 3.24);

T11 - Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов по прибытию поезда на станцию (см. рис. 3.21);

T12 - Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов для транзитных поездов по отправлению (см. рис. 3.23).



- > - Технологическая линия обработки вагонов;
- > - Технологические линии обработки информации и документов;
- Технологическая линия обработки поездных локомотивов.

Рис. 3.26 - Упрощенная модель функционирования логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»

- T13** - Модель функционирования технологических линий обработки информации и документов на поезда своего формирования (см. рис. 3-22);
- T14** - Модель функционирования системы «Выходные участки» (см. рис. 3.25).

Как видно из рис. 3.26, упрощенная модель функционирования логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» представляет собой совокупность взаимодействующих друг с другом самостоятельных моделей, описывающих работу технологических линий обработки материальных и информационных потоков.

Модели, включенные непосредственно в макроуровневую модель комплекса, очень наглядны и просты в применении. При моделировании они позволяют в любой момент времени фиксировать состояние системы. Кроме того, не меняя структуру самих моделей, можно в оперативном порядке изменять отдельные их компоненты (количество подходов, число поездов на подходах, число бригад ПТО и ПКО, число горочных локомотивов, парк поездных локомотивов, число путей в парках и т.д.), а также менять вероятности времен срабатывания переходов. Это дает возможность учитывать различные вероятностные факторы, что позволит вести моделирование поездной работы в рамках системы АСУСС-2 не по средним или технологическим, а по оперативно рассчитываемым нормам на каждый конкретный объект управления.

Этот факт позволит осуществить скорейшее достижение выполнения основной цели логистической системы управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки», которая заключается в достижении минимального срока доставки при минимизации общих затрат на транспортировку грузов.

Выводы

1. Разработана новая схема логистической системы управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки» и определены области ее применения, которые рассматривают передвижение материальных и информационных потоков как на макро-, так и на микроуровнях.
2. Определена основная цель разработки модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», которая заключается в оптимальном управлении комплексом для достижения минимального срока доставки при минимизации общих затрат на транспортировку грузов.
3. Произведен анализ колебаний входящего вагонопотока на сортировочную станцию за несколько суток при разбиении суток на 4-, 6- и 12-часовые периоды. Определено, что, чем меньше выбираемые отрезки времени, тем определенной вырисовываются как периоды «возмущения» системы, так и общий характер распределения. Таким образом, получена возможность более определенного предсказания интенсивности поступления и неравномерности прибытия поездов на сортировочную станцию.
4. Доказана необходимость применения, а также предложена модель локальной сети ЭВМ для потока передачи информации о поездном положении на технической станции и прилегающих участках.
5. Выполнена формализация работы комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» в виде структурно-логических схем функционирования и взаимодействия технологических линий обработки вагонов, документов, информации и обеспечения поездными локомотивами.

6. Определены основные параметры, характеризующие мощность отдельных подсистем сортировочной станции и прилегающих участков.
7. На основании структурно-логических схем и технологии обработки материальных и информационных потоков на станции и участках, разработаны модели работы отдельных звеньев логистической цепи и общая модель функционирования всего транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».
8. Рассмотрен и смоделирован принцип скорейшего отправления поездов переменной массы и длины по ближайшим ниткам графика. Это позволяет достичь не только реального ускорения продвижения вагонопотоков и сокращения потребного парка локомотивов, но и уменьшения оборота вагона, повышения производительности труда, а также снижения эксплуатационных расходов.
9. Разработанные на основании сетей Петри модели, показали, что кроме наглядности и простоты в применении, они дают возможность учитывать различные вероятностные факторы. Этот факт позволяет вести моделирование поездной работы не по средним или технологическим, а по оперативно рассчитываемым нормам на каждый конкретный объект управления.

РАЗДЕЛ 4
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА
«СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ - ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ»

4.1. Общие положения

Развивающийся транспортный рынок ставит множество разнообразных и сложных проблем, связанных с возникающими рыночными ситуациями, перед его субъектами, транспортной системой и потребителями транспортной продукции. Для субъектов транспортного рынка такой проблемой является выбор оптимальной политики их поведения на транспортном рынке. Для этого необходимо не просто изучение состояния потенциальных конкурентов и потребителей транспортной продукции. Здесь уместна постановка задачи, которая, учитывая конъюктуру рынка, позволила бы разработать и осуществить рыночную стратегию поведения как железнодорожного транспорта, так и грузовладельцев.

В связи с этим возникает необходимость в построении экономико-математических моделей, которые бы адекватно описывали сложные динамические рыночные процессы [34, 97].

Одним из главных принципов успешной деятельности предприятий транспорта в условиях рынка является знание и владение основными рыночными понятиями и положениями. До последнего времени понятие «услуга транспорта» в практике планирования и организации работы железнодорожного транспорта не использовалось. Такой подход был обусловлен традиционным рассмотрением железнодорожного транспорта наравне с производственными отраслями. В качестве продукции при этом рассматривалась только перевозка, измеряемая такими валовыми показателями, как объемы перевозок, грузооборот и т.п. Эти показатели традиционно использовались в качестве показателей оценки качества

деятельности предприятий железнодорожного транспорта. В условиях рынка необходим новый подход к данному вопросу. Поэтому возникает необходимость в рассмотрении такого рыночного понятия, как «услуга» [96]. Услуги транспорта относятся к услугам, завершающим и (или) предваряющим процесс материального производства, а также посредующим потреблению. К услугам железнодорожного транспорта относятся:

- перевозка грузов и багажа;
- погрузочно-разгрузочные работы;
- услуги по хранению грузов;
- услуги по подготовке к перевозке средств транспорта;
- предоставление перевозочных средств на условиях аренды и проката;
- транспортно-экспедиционные и дополнительные услуги, выполняемые при перевозке грузов и багажа по обслуживанию предприятий, организаций и населения и т.п.

Основным видом услуг транспорта по-прежнему является перевозка груза, которая, как правило, сопровождается предоставлением одного или нескольких видов других услуг (погрузкой, разгрузкой, экспедированием, информационными услугами и т.п.). Таким образом, очевидно, что для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта необходимо повышение уровня качества обслуживания потребителей услуг транспорта, так как только высокий уровень обслуживания может обеспечить надежный рынок сбыта для услуг предприятий транспорта.

4.2. Разработка методики экономической оценки основных параметров транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»

Для повышения качества обслуживания железнодорожного транспорта необходимо строгое соответствие требованиям клиентуры. Основными

требованиями, предъявляемыми потребителями к услугам транспорта, являются [96, 98]:

- надежность перевозок;
- минимальные сроки доставки;
- регулярность доставки груза;
- гарантированные сроки доставки, в том числе доставка груза точно в срок;
- безопасность перевозок;
- обеспечение сохранности груза при доставке;
- ликвидация промежуточных переработок груза в пути следования;
- отлаженная система информации и документирования;
- приемлемая стоимость перевозки и др.

Требования, предъявляемые к железнодорожному транспорту, являются определяющими для всех его подразделений, в том числе и для комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».

Как указывалось в п. 3.1 настоящей работы, в связи со сложной структурой пропускаемых и перерабатываемых вагонопотоков, логистическую систему комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» следует рассматривать не только как совокупность нескольких моделей, но и как единую многофункциональную систему, работа которой должна удовлетворять основным требованиям, предъявляемым к транспортному процессу.

Для этого комплекс «Сортировочная станция - прилегающие участки» целесообразно рассматривать не только на микроуровнях (входные участки - сортировочная станция - выходные участки), но и на макроуровне (см. рис. 3.1). Технология работы на макроуровне логистической цепи комплекса должна быть построена таким образом, чтобы в рамках каждого микроуровня с заданной степенью надежности выдерживался установленный срок доставки. Тогда целевая функция логистической цепи для всех поездов заданного железнодорожного направления приобретает вид

$$\sum_{i=1}^{\#} \sum_{l=1}^{ST+l} \sum_{j=1}^{(l-a)ST} \sum_{J=1}^{a-ST} \sum_{J=1}^{J=1} + ZC + Dz - (4-i)$$

где $T_{\text{дост}}$ - срок доставки груза;

N - число рассматриваемых на заданном полигоне поездов

$$N = \frac{\sum U_i}{m}, \quad (4.2)$$

- суммарный вагонопоток на рассматриваемом полигоне;

m - состав поезда (число вагонов в составе);

$t_{\text{отпр}}$ - время обработки состава на станции отправления (формально можно считать его равным времени обработки транзитного с переработкой вагона на технической станции);

$t_{\text{уп.ij}}$ - время следования i -го поезда по j -му участку;

ST - общее число технических станций в пути следования i -го поезда;

CL - доля числа технических станций с переработкой (от общего числа технических станций) в пути следования для i -го поезда;

- время обработки транзитного без переработки состава на технической станции;

- время обработки транзитного с переработкой вагона на технической станции;

Щазн - время обработки состава на станции назначения, включая подачу вагонов на грузовой фронт.

В рассматриваемой системе (см. рис. 3.1) комплекс основных средств и устройств, обеспечивающих пропуск и переработку входящих и выходящих вагонопотоков, можно представить в качестве взаимодействующих агрегатов. При этом состояние каждого агрегата, как функция времени t

определяется нахождением в нем поездов, вагонов и может оцениваться количественными и качественными показателями работы.

Основные показатели работы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» определяются описанными выше моделями сетей Петри (см. п. 3.2 - 3.8).

Для моделирования используется программный продукт «Сети Петри для Windows» (Системные требования: IBM PC AT (16 MHz), 256 Kb EGA или VGA (SVGA), MS Windows 3.0, 600+ Kb HDD Space, Mouse) [99].

В данном программном продукте процесс имитационного моделирования предназначен для обеспечения функционирования сети заданной структуры, накопления статистической информации в процессе работы сети, подготовки данных для анализа сети, а также для динамического отражения информации о моделировании на экран в режиме, установленном пользователем. Процесс имитационного моделирования состоит из двух частей: процедуры функционирования сети и оконного интерфейса с пользователем (см. Прилож. А).

В результате моделирования возможно получение вероятности продолжительности выполнения основных операций по обработке вагонов, поездных локомотивов, информации и документов в логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» (см. Прилож. Б, В). При этом, изменяя в интерактивном режиме, значения отдельных компонентов комплекса можно достичь оптимального значения функции (4.1).

В то же время, следует обратить внимание на анализ исследования требований потребителей к транспортным услугам (рис. 4.1), который показал, что 35% грузоотправителей наибольшее значение придают стоимости доставки (1), 31% - срокам доставки (2), 14% - гибкости обслуживания (3), 10% - надежности доставки груза (4) и 10% другим требованиям (5) [96].

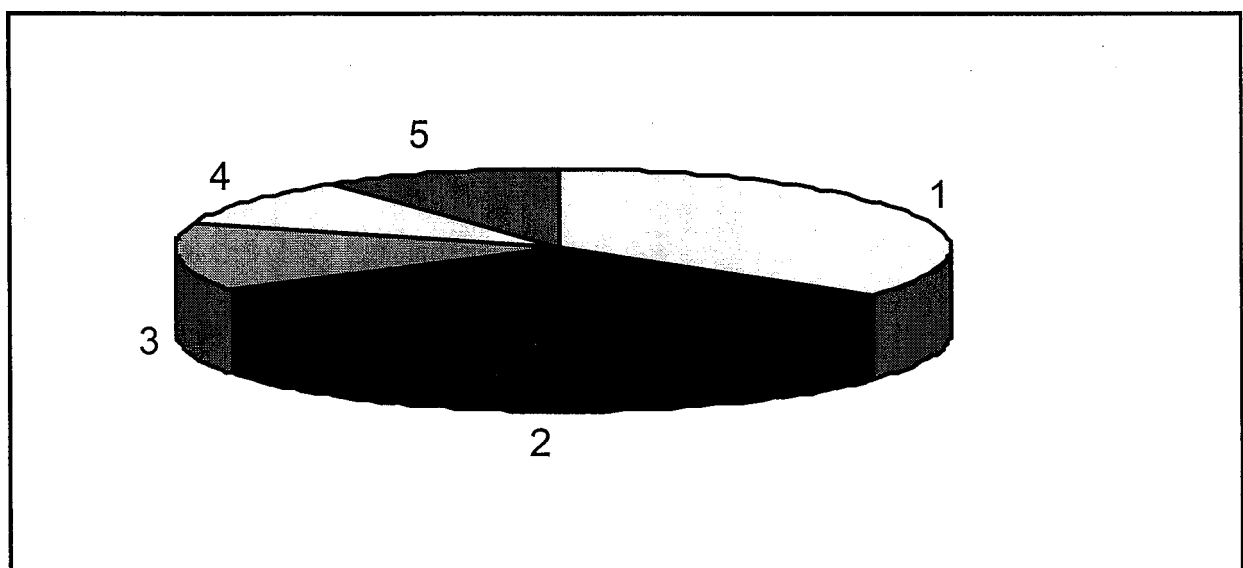


Рис. 4.1 - Анализ исследования требований потребителей к транспортным услугам

В связи с этим, не следует терять из вида тот факт, что при стремлении к уменьшению срока доставки грузов $T_{\text{дост}}$, увеличивая значения различных количественных и качественных показателей, в конечном итоге можно получить неоправданно большие затраты на транспортировку грузов $C(m)$, превышающие общую прибыль от перевозки, что неизбежно приведет к увеличению стоимости доставки груза. В связи с этим, целевую функцию логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» необходимо представить в следующем виде: *Достижение минимального срока доставки при минимизации общих затрат на транспортировку грузов.* В общем виде целевая функция может быть представлена в виде уравнения с ограничением следующего вида

$$T^{\wedge}MIN \\ \text{при } C(m) \Rightarrow MIN, \quad (43)$$

4.3. Методика определения параметров целевой функции экономико-математической модели функционирования логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»

Согласно п. 3.1 настоящей работы, в каждой технологической линии транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» (см. рис. 3.1) решается свой круг задач. По этой причине каждая подсистема отождествляется со своими показателями, которые влияют на функционирование логистической цепи. В связи с этим процесс оптимизации целевой функции (4.3) можно представить как задачу многоэтапного динамического программирования с характерным процессом пошагового решения [53]. Моделированием решаются следующие задачи:

выбирается стратегия транспортировки по прилегающим участкам; выбор технологии работы сортировочных (технических) станций; установление оптимальных параметров транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».

Планируя многоэтапное моделирование, необходимо выбирать управление на каждом шаге с учетом всех его будущих последствий на еще предстоящих шагах. Управление на i -м шаге выбирается не так, чтобы выигрыш именно на данном шаге был максимален, а так, чтобы была максимальная сумма выигрышей на всех оставшихся до конца шагах плюс данный. Тогда в общем виде стратегию функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» можно представить суммой оценочных функций, которые получаются при переходе с одного состояния $x(\pi)$ в другое $x(\pi+1)$

$$C(m) = \sum_{i=0}^{m-1} C_m\{x(m), x(m+i)\} \quad (44)$$

или

$$c^{!-v(7)} = \sum_{7И=0}^2; C_m\{V_m, X_{m+1}\} \quad (45)$$

при условии

$$x(w+1) = \{x('w), X'«+1)\}; \quad x(0) = x_0;$$

$$m = 0, 1, \dots, \Gamma - 1.$$

где T - число этапов или дискретное время моделирования;

I_m - множество допустимых решений по управлению;

X_T - множество допустимых состояний комплекса.

Разбивка технологического процесса по этапам и формирование оценочных функций по каждому шагу приведено на рис. 4.2.

В схеме распределения технологического процесса по этапам прохождение каждого этапа m_i связано с затратами, которые представляют собой функции C_i от соответствующих параметров. Моделируя процесс функционирования каждого этапа определяются затраты от основных наиболее важных параметров, влияющих на работу элементов логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» железнодорожного направления (транспортного коридора) [100, 101].

На этапе ш0 оценочная функция отражает затраты, связанные с передвижением по прилегающим к сортировочной станции участкам. При этом, затраты прямопропорционально зависят от длины участка (L_y), расхода топлива (B_t), электроэнергии (A_e) и от среднего веса поезда (Q), который можно выразить через среднее число вагонов в составе

$$O = mnP_u \quad (4-6)$$

где m - состав поезда (число вагонов в составе);

P_d - динамическая нагрузка груженого вагона, т;

P_l - масса локомотива, т.

Тогда целевая функция для данного этапа приобретает вид

$$C_o = \frac{1}{g} (P_d + P_l) L_y \quad (4.7)$$

или

<p>Входящие участки</p> <p>$C0=f(Q, \text{Буч, Вт, Ае})$</p>	<p>Технол-я линия обработки информац. наСС</p> <p>$C1 = \langle \text{ш, Р1, К1} \rangle$</p>	<p>Технол-я линия обработки докумен-в наСС</p> <p>$C2 = f(m, P2, K2)$</p>	<p>Технол-я линия обработки вагонов наСС</p> <p>$C3 = \langle S, x, Mг, Mф, т \rangle$</p>	<p>Технол-я линия обеспечен, поездными локомот.</p> <p>$C4 = \text{тпроб}$</p>	<p>Выходящ. участки</p> <p>$C5 = \text{III}$ Буч, Вт, Ае</p>
--	---	---	--	--	--

m0 ml

m4 m5 T

Рис. 4.2 - Схема распределения технологического процесса по этапам для моделирования на макро- и микроуровне

станции. Эти этапы целесообразно рассматривать вместе, так как основные затраты в сумме зависят от капитальных вложений в новую аппаратуру и оборудование для работы в рамках системы АСОУП и АСУСС (К), производительности средств по обработке информации (Р) и среднего числа вагонов в составе (Ш)

$$G \quad \overset{ST}{N^{\circ}ПРИВ + \wedge РИВ \sim \wedge ПРИВ} - > \quad (4.9)$$

где $K_{ПРИВ}$ - капитальные затраты, приведенные к периоду моделирования $1_{мод}$, грн.;

$C_{ПРИВ}$ ■ эксплуатационные расходы на обработку информации и документов, приведенные к периоду моделирования $1_{мод}$, грн.;

- приведенная экономия эксплуатационных затрат, грн.

$$\overset{zz}{\wedge_{ПРИВ-A}} \frac{-K+A+A_{сви}+C_{эл}}{ГОК} \quad \backslash, \quad \text{''1мод''} \quad (4.10)$$

где $t_{ок}$ - нормативный срок окупаемости (для новой техники $t_{ок} = 6$ лет);

K - капитальные затраты, грн. ($K = K_{ул} \cdot USD$);

$/C_{УЕ}$ - капитальные затраты на приобретение оборудования и внедрение КС АРМ, у.е.;

USD - курс обмена валюты на момент внедрения, грн./у.е.;

A - амортизационные отчисления ($A = 0,12K$), грн.;

$z_{сви}$ - затраты на обучение и зарплату работников СВЦ, грн.;

$$C_{ПРИВ}^{ОБР} = (N_{СФ} \cdot n_{С}^{СФ} + N_{Б/П} \cdot n_{С}^{Б/П}) \cdot m_{С} \cdot C_{БИТ} \quad (4.Н)$$

где $M_{СФ}^{Б/П}$ ~ число отправленных за рассматриваемый период, соответственно, поездов своего формирования и транзитных без переработки;

$P_{СФ}, P_{С^{III}}$ - среднее число обрабатываемых сообщений для поездов соответствующих категорий [104];

$m_{С}$ - средний объем сообщений, бит ($m_{С} = 293$);

$C_{БИТ}$ “ себестоимость обработки одного бита информации для рассматриваемой КС АРМ, грн/бит.

$$, \quad - \quad + i_{OK}(A + 2C_{ВЦ} + C_{ЭЛ})$$

$$um - t_{OK} \cdot 365 - (144 / Z_{,m}) \cdot (I_{СФ} \cdot n_{С}^{СФ} + N_{ВЛ} \cdot n_{С}^{Б/П}) m_{С} \quad (4.12)$$

где Ринф - суммарное время на переработку информации и документов на поезда всех категорий, мин.

Приведенную экономию эксплуатационных расходов можно получить из следующих источников: 1 - сокращение межоперационных простоев вагонов включенных в состав; 2 - реализация рекомендаций ЭВМ по совмещению операций расформирования-формирования составов горочным комплексом; 3 - повышение качества регулирования поездопотоков на полигонах, примыкающих к станции; 4 - сокращение простоя поездов и вагонов из-за повышения информированности персонала станции и АДЦУ; 5 - автоматизации оформления и передачи ТГНЛ и т.д.

где $\sum_{i=1}^n t_{osp}$ - суммарное время, необходимое для обработки j-й станцией поездов всех категорий, мин.;

АЧ - соответствующие расчетные нормативы, ваг-ч/сост. (или чел-час/сост.) ($A_{VI} = 0,29$, $A_{Ч2} = 0,08$; $A_{Ч3} = 0,17$; $A_{Ч4} = 0,10$, $A_{45} = 0,10$);

NOT - число отправленных станцией поездов;

№ - число расформированных составов;

$\epsilon_{вч} \rightarrow \epsilon_{чч}$ ~ соответственно, стоимость вагоно-часа и человеко-часа работы оператора СТЦ, грн.

На этапе m3 оценочная функция отражает затраты, связанные с процессом обработки вагонов на технических (в том числе и сортировочных) станциях. СЗ является функцией от числа бригад и групп в бригадах по осмотру поездов (S и х), числа составителей, числа маневровых локомотивов на горке и вытяжках формирования (Мг и Мф), среднего состава обрабатываемых поездов (ш).

Затраты на этом этапе зависят в основном от продолжительности обработки составов поездов на технических станциях

$$I_{OBR} \sim \sum_{j=1}^{ST} \epsilon_{вч}^{ПЕРД} \cdot \sum_{i=1}^{(1-a) \cdot ST} (TP + Z^{TP} \cdot) \quad (4-14)$$

где - доля числа технических станций с переработкой (от общего числа технических станций) в пути следования для i-го поезда.

Оценочная функция 3-го этапа принимает вид

m

$ST \cdot LJ$

ST

7

$$C, = \sum_{j=1}^m B \cdot \left[\sum_{i=1}^{1+ij} \epsilon_{чч} + M_{\phi} \right] + \epsilon_{вч} + t_m +$$

60

где $e_{нн}$ - единичная расчетная ставка 1 составо-часа простоя на технической станции, грн.;

t_{OEPj} - средняя продолжительность обработки поезда на j-й технической станции, мин.;

S_n, S_0, S_r - число бригад по осмотру поездов, соответственно, в парке приема, отправления и транзитном;

$Z_{сocr}$ - средняя повременная заработная плата составителей поездов, грн/час.;

x_n, x_0, x_m - среднее число групп бригады осмотрщиков в соответствующих парках;

$z_{осм}$ - средняя повременная заработная плата работников ПТО (ПКО), грн/час;

$G_{л}/\cdot?$ - уровень загрузки, соответственно горочных локомотивов и локомотивов на вытяжках формирования;

На этапе гп4 оценочная функция отражает затраты, связанные с содержанием на технических станциях парка поездных локомотивов. При этом затраты зависят от величины локомотивного парка (Z_n) и от вида работы по обработке локомотивов, которая зависит от величины пробега ($t_{проб}$)

$$G = \sum_{j=1}^{ST} K_{X_{PR}'} Z_{jj} X_p) + (\wedge_{прос} T' It IPOC II \quad (4.16)$$

где $Z_n R$ - среднее число локомотивов, находящихся в эксплуатации, проходящих на j-й станции, соответственно, технический осмотр ТО-2, ТО-3, технический ремонт ТР-1, ТР-2, ТР-3, капитальный ремонт КР и число локомотивов в резерве на момент времени t;

R - виды работ по обработке локомотивов (ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТР-1, ТР-

t_{OBPR} - средняя продолжительность простоя под R-м видом работ;

$\hat{t}_{OEPR}^{x_{PR}} \sim$ продолжительность R-го вида работ, чел-час.;

$Z_{лх p}$ - средняя повременная заработная плата работников

локомотивного хозяйства (в зависимости от разряда - P), грн/час;

$c_{ПРОСТ}$ - стоимость 1 локомотиво-часа простоя;

$t_{ПРОСТ}$ - непроизводительный простой локомотивов в ожидании выполнения соответствующего вида работ по осмотру и ремонту.

После подстановки полученных значений в формулу (4.3), целевая функция логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» приобретает следующий вид

$$\begin{array}{ccccc}
 N & N & ST+ \setminus & (l-a)ST & a-ST \\
 1=1 & z=1 & j=1 & y=1 & \gamma=1
 \end{array}$$

при

$$C(m) = C_0 + C_D + C_2 + C_3 + C_4 \text{ MIN}, \quad (4.17)$$

4.4. Решение задачи оптимизации функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»

Для достижения общей эффективности перевозочного процесса, от каждой сортировочной станции требуется обеспечение определенного уровня качественных показателей при складывающейся величине вагонопотока. При этом, следует различать качественные показатели, влияющие только на текущие расходы железнодорожного транспорта (состав формируемых поездов, загрузку маневровых локомотивов, средний простой локомотивов) и те, которые воздействуют как на расходы, так и на качество перевозок (простой вагонов, выполнение графика движения поездов) [26]. В тех случаях, когда улучшение показателей, относящихся к первой и второй

группам, противоречат друг другу, приоритет следует отдавать показателям, определяющим качество перевозки (скорость, надежность доставки, сохранность перевозки). Например, увеличение состава формируемых поездов позволяет снизить расходы на их передвижение, но одновременно увеличивает затраты, связанные с накоплением вагонов и замедляют доставку грузов. Поэтому необходимо обеспечить такое сочетание показателей работы сортировочных станций, чтобы минимизировать общие эксплуатационные расходы при обеспечении заданного срока доставки.

Определение оптимальных показателей сортировочной станции позволяет осуществить функция (4.17), которая является обобщающей для формул (4.1) и (4.8 - 4.16).

Так как функции этапов являются линейными (см. рис. 4.2), то их оптимизацию можно произвести либо методом целенаправленного перебора вариантов, либо симплекс-методом, суть которого заключается в последовательном улучшении плана путем пошагового изменения показателей целевой функции на каждом из этапов [105, 106].

Для примера, рассмотрим моделирование комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» с помощью сетей Петри и определим значения параметров целевой функции, используя выражение (4.17).

Допустим, железная дорога имеет заказ на оказание транспортных услуг по транспортировке 10000 вагонов. С каждым клиентом заключен договор о сроке доставки груза. Заданный вагонопоток (10000 вагонов) проходит через одностороннюю сортировочную станцию С (70% поездов проходят станцию транзитом с переработкой, 30% - транзитом без переработки) по 6 направлениям, связывающих станцию С с соседними техническими станциями (А, В, Д - нечетные подходы; Б, Г, Е - четные). При этом 60% участков на электрической тяге поездов, 40% - на тепловозной. Составы поездов (в среднем по 50 вагонов), поступающие на станцию, обслуживаются 6 маневровыми локомотивами (2 - горочных и 4 - на вытяжках формирования); число бригад ПТО (ПКО): в парке приема - 2, в

парке отправления - 4, в транзитных парках - по 1 на каждый парк (при числе групп в бригадах - 2). Необходимо определить оптимальные значения показателей целевой функции на каждом из этапов моделирования для уменьшения срока доставки груза на 1 час.

Продолжительность выполнения основных операций по вариантам определяется путем моделирования производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» с помощью сетей Петри. При этом в модели ведется статистика по всем технологическим линиям комплекса (См. Прилож. Б, В). Значения основных показателей модели переносятся в соответствующие ячейки электронных таблиц Microsoft Excel, в которых специально разработанной программой (Приложение Г) ведется вычисление значений целевой функции и основных показателей работы станции. Результаты выдаются как в табличной форме, так и в графическом режиме (см. Прилож. Д, Е), отражающих зависимость $C(\text{ш})$ и $t'_{\text{ср}}$ от ш , M_{Γ} , M_{Φ} , S_n , S_o , S_t , x , с учетом t_y , K , P , Z_n , $t_{\text{проб}}$. ($t'_{\text{ср}}$ - средневзвешенный простой вагона на технической станции, час., который напрямую влияет на

У Γ)
 / $\frac{\dots}{i}$ $\frac{\dots}{\text{дост}}$ / *

При начальных условиях средневзвешенный простой вагона на станции ($\Gamma'_{\text{ср}}^7$) составляет 7,79 часа (см. рис. Е.1, значение $t'_{\text{ср}}$ при $M_{\Gamma}=2$, $M_{\Phi}=4$, $S_n=2$, $S_o=4$, $m=50$). При этом эксплуатационные затраты ($C(\text{ш})$) равняются 35027,89 грн. (см. рис. Е.2, значение $C(\text{ш})$ при $M_{\Gamma}=2$, $M_{\Phi}=4$, $S_n=2$, $S_o=4$, $\text{ш}=50$). Поиск оптимального значения $t'_{\text{опт}}$ проводится для различных вариантов сочетания значений t , M_{Γ} , M_{Φ} , S_n , S_o , S_t , x , с учетом t_y , K , P , Z_n , $t_{\text{проб}}$, в результате чего находится оптимальный вариант, при котором выполняются условия (4.17) и $f^{\text{ТМ}^1} = t^{\text{ТМ}^1} - 1$. Оптимальным является вариант, при котором $t=40$, $M_{\Gamma}=2$, $M_{\Phi}=3$, $S_n=3$, $S_o=4$, $x=2$ (см. рис. Е.3 и рис. Е.4).

Оптимальный вариант позволяет произвести сокращение средневзвешенного простоя вагонов на станции (и соответственно срока

доставки) на 1,06 часа. Но, следует отметить, что при этом эксплуатационные расходы железной дороги увеличились на 7465,33 грн. (см. рис. Е.2 и рис. Е.4). Следовательно, железной дороге необходимо предусмотреть ряд мероприятий по компенсации этих затрат за счет клиента (например увеличение тарифов и стоимости за основные транспортные услуги - Р). В случае же когда клиенты не готовы компенсировать дополнительные затраты на сокращение срока доставки, необходимо рассмотреть другие варианты результатов моделирования, соответствующие условию (4.17), которые удовлетворяют обе стороны (и железную дорогу, и клиентов).

Аналогичным образом было произведено моделирование функционирования односторонней сортировочной станции Одесса-Сортировочная, обслуживающей грузовые поезда трех направлений Одесской железной дороги (Приложение 3). В результате моделирования было определено, что даже в условиях большой загрузки станции (обработка до 8000 - 12000 вагонов за расчетный период), возможно сокращение времени средневзвешенного простоя вагонов на 3,0 - 3,5 часа (рис. Е.5). При этом достаточно будет лишь уменьшить составность поездов на 8 - 10 вагонов, без каких-либо других изменений в технологии работы и техническом оснащении станции. При данном варианте эксплуатационные расходы железной дороги увеличиваются в 1,52 раза (рис. Е.6). Однако, необходимо учесть, что сокращение простоя вагонов на станции (а следовательно и сокращение сроков доставки) повлечет за собой привлечение на железнодорожный транспорт новых клиентов, а вместе с ними и новые капиталы, которые сполна компенсируют увеличение эксплуатационных расходов. Следует отметить, что кроме приведенного существуют и другие варианты с меньшими эксплуатационными расходами (например, с изменением числа маневровых локомотивов), но в то же время и с несколько меньшим выигрышем в сроке доставки.

Таким образом, используя логистический подход, можно произвести оптимизацию показателей на всех технических станциях (включая

прилегающие участки) всех железнодорожных направлений (в том числе и входящих в транспортные коридоры).

Однако, следует отметить, что снижение среднего простоя на одной сортировочной станции может сопровождаться ростом суммарных затрат времени на других технических станциях. Поэтому работа сортировочных станций в формуле (4.17) оценивается как суммарное значение показателей

$\sum_{y=1}^{7-1} ST_{ST}$ по всем техническим станциям (ST) в пути следования.

В этом случае достижение оптимального значения целевой функции на определенном шаге m_i свидетельствует о необходимости перехода на следующие шаги, то есть к усилению значения показателей на других этапах или в других технологических линиях. После оптимизации показателей на двух и более этапах моделирования возможно снижение надежности на других, ранее рассчитанных, микроуровнях логистической цепи. Это может произойти из-за того, что после усиления очередного этапа выходящий поток из него станет более неравномерным и мощности уже усиленных элементов не обеспечат пропуск такого потока с заданным уровнем надежности, что повлечет за собой дополнительные расходы. Следовательно, показатели на этом этапе должны быть оптимизированы путем возвращения на соответствующий этап m_i и т.д.

Такой принцип минимизации суммарных затрат, а также определение оптимального срока доставки при помощи разработанной на базе теории сетей Петри модели транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», дает возможность учитывать различные вероятностные факторы. Это позволит вести моделирование поездной работы в рамках систем АСУСС и АСОУП не по средним или технологическим, а по оперативно рассчитываемым нормам на каждый конкретный объект управления.

Данный подход к планированию, анализу и управлению работой сортировочной станции и прилегающих участков позволяет реализовать

основные требования грузоотправителей к фирменному транспортному обслуживанию при экономии эксплуатационных расходов железнодорожного транспорта.

Выводы

1. Произведен анализ ситуации на транспортном рынке Украины и приведен перечень основных услуг, необходимых для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта.
2. Определены требования, предъявляемые потребителями к услугам транспорта, среди которых наиболее значимыми являются стоимость перевозки и сроки доставки груза.
3. На базе теории сетей Петри предложен программный продукт, который в интерактивном режиме позволяет производить имитационное моделирование функционирования отдельных технологических линий и всего транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» в целом.
4. В результате моделирования получены продолжительности выполнения основных операций по обработке вагонов, поездных локомотивов, информации и документов на сортировочной станции и прилегающих участках.
5. Определена целевая функция логистической системы транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», которая заключается в достижение минимального срока доставки при минимизации общих затрат на транспортировку грузов.
6. Предложен процесс оптимизации целевой функции, который представлен как задача многоэтапного динамического программирования с характерным процессом пошагового решения.

7. Разработана схема распределения процесса моделирования на макро- и микроуровнях транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» и очерчен круг задач, решаемых моделированием процесса оптимизации целевой функции.
8. Разработан программный продукт, который на основании результатов моделирования представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», позволяет производить выбор стратегии транспортировки грузов по прилегающим участкам, совершенствование технологии работы сортировочной станции и установление ее оптимальных параметров.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертционной работе произведена разработка модели транспортного комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» для выбора рациональной технологии его функционирования.

Разработаны концепции и критерии оценки эффективности функционирования логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», а также модели, позволяющие производить анализ и управление производственным процессом на сортировочных станциях и прилегающих участках.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации работы можно сформулировать в следующем виде.

1. Проблема взаимодействия сортировочных станций и прилегающих участков не решена, в связи с чем большое число не подлежащих прогнозированию операций нарушает ритмичность обработки поездопотока.
2. Недостаточное внимание уделяется разработке новых моделей управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки», так как старые модели либо трудоемки в построении и имеют низкую оперативность получения результатов, либо обладают недостаточной достоверностью. Сам же комплекс «Сортировочная станция - прилегающие участки» обычно представляется в виде сети, состоящей из нескольких систем массового обслуживания, взаимодействующих между собой, а не как единая система, удовлетворяющая требованиям, предъявляемым к транспортному процессу, которые сводятся к сохранной доставке груза точно в срок.
3. Транспортный процесс, происходящий в транспортном комплексе «Сортировочная станция - прилегающие участки», рассматривается как цепь случайных событий, хотя он должен регламентироваться

организованными составляющими (технологическими процессами станций, планом формирования, графиком движения поездов и т.д.).

4. Взаимодействие подсистем транспортного комплекса «Сортировочные станции - прилегающие участки» носит причинно-следственный характер. В связи с этим к решению задач взаимодействия отдельных элементов комплекса позволяют прийти системы параллельной обработки информации и системы параллельно действующих объектов,
5. Наилучшими из систем параллельной обработки информации являются модели, основанные на теории сетей Петри, так как сети Петри позволяют достаточно глубоко исследовать поведение моделируемой системы и получить информацию о наиболее важных ее характеристиках.
6. Разработана новая логистическая система управления транспортным комплексом «Сортировочная станция - прилегающие участки» и определены области ее применения, которые рассматривают передвижение материальных и информационных потоков как на макро-, так и на микроуровнях.
7. Произведен анализ колебаний входящего вагонопотока на сортировочную станцию за несколько суток при разбиении суток на 4-, 6- и 12-часовые периоды. Определено, что, чем меньше выбираемые отрезки времени, тем определенной вырисовываются как периоды «возмущения» системы, так и общий характер распределения. Таким образом, получена возможность более определенного предсказания интенсивности поступления и неравномерности прибытия поездов на сортировочную станцию.
8. На основании анализа полученных структурно-логических схем и технологии обработки материальных и информационных потоков на станции и участках, разработаны модели функционирования отдельных звеньев логистической цепи и общая модель функционирования всего

- транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».
9. Модели, разработанные на основании теории сетей Петри, показали, что кроме наглядности и простоты в применении, они дают возможность учитывать различные вероятностные факторы. Это позволит вести моделирование поездной работы в рамках систем АСУСС и АСОУП не по средним или технологическим, а по оперативно рассчитываемым нормам на каждый конкретный объект управления.
 10. Произведен анализ ситуации на транспортном рынке Украины и определены основные требования, предъявляемые потребителями к услугам транспорта, среди которых наиболее значимыми являются стоимость перевозки и сроки доставки груза.
 - и. Определена целевая функция логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» и предложен процесс ее оптимизации, который представлен как задача многоэтапного динамического программирования с характерным процессом пошагового решения.
 12. На основании сетей Петри предложен программный продукт имитационного моделирования представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» и в отдельных ее технологических линиях и подсистемах.
 13. Разработано программное обеспечение, которое на основании результатов моделирования сетей Петри, позволяет определять оптимальные значения параметров целевой функции - срока доставки и эксплуатационных расходов.
 14. Полученные значения параметров целевой функции логистической цепи транспортного комплекса позволяют привести к совершенству технологию работы сортировочных станций.

15. При апробации результатов исследований, проведенных в диссертационной работе, на железнодорожных направлениях и сортировочных станциях Одесской железной дороги, разработанная модель представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» показала свою дееспособность и рациональность применения при нахождении оптимального варианта сроков доставки груза и определении минимальных эксплуатационных расходов. В результате моделирования было определено, что даже в условиях большой загрузки станции (обработка до 8000 - 12000 вагонов за расчетный период), возможно сокращение времени средневзвешенного простоя вагонов на 3,0 - 3,5 часа, что будет способствовать привлечению на железную дорогу дополнительной клиентуры. С учетом этого факта, технологические, экономико-математические решения, методические приемы и аналитические зависимости использованы при корректировке технологического процесса ст. Одесса-Сортировочная, а также при решении вопросов технического переоснащения станционной техники.
16. Предложенные модели функционирования технологических линий сортировочных станций и прилегающих участков, а также модели нахождения оптимальных параметров целевой функции логистической цепи транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", практически использована в учебном процессе при дипломном проектировании студентов факультета УПП, а также включена в программу обучения слушателей магистратуры при ИППК Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ источников

1. Сологуб Н.К. Развитие станций и узлов // Железнодорожный транспорт. - 1996.-№1.-С. 60-65.
2. Типовой технологический процесс работы сортировочной станции. - М.: Транспорт, 1976. - 104 с.
3. Васильев И.И. Определение необходимой мощности отдельных элементов станции *И* Подвижной состав и эксплуатация железных дорог: Труды ЛИИЖТ. Вып. 140. - М.: Трансжелдориздат. -1949. - с. 67-93.
4. Ющенко Н.Р. Комплексная технология сортировочных станций. - М.: Трансжелдориздат, 1958.
5. Платонов А.И. Взаимодействие процессов на сортировочных станциях. -М.: Трансжелдориздат, 1955.
6. Поттгофф Г. Об определении числа путей на станциях // Железнодорожный транспорт. - 1958. - № 9. - С. 82-87.
7. Федотов Н.И. Расчет числа приемо-отправочных путей на участковых и сортировочных станциях // Вопросы проектирования железнодорожных станций: Труды НИИЖТ. Вып. 29. Новосибирск. - 1962. - С. 20-60.
8. Грунтов П.С. Ярошевич В.П. Методика расчета надежности оптимальной мощности парков и грузовых фронтов станций. - Гомель: БелИИЖТ, 1971.-68 с.
9. Шабалин Н.Н. Расчет мощности сортировочных устройств // Железнодорожный транспорт. -1967.-№7.-С. 39-42.
10. Казюлин Г.Е. Прспективная технология работы железных дорог// Труды МИИТ, вып. 458. - 1975. - С. 72-76.
11. Сотников И.Б. Теоретические основы взаимодействия в работе приемо-отправочных парков станций и прилегающих участков. Учебное пособие. - М.: МИИТ, 1967. - 60 с.
12. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. (Исследование операций на станциях). - М.: Транспорт, 1976. - 268 с.

13. Савченко И.Е., Земблинов С.В., Страковский И.И. Железнодорожные станции и узлы. -М.: Транспорт, 1967. - С. 141-147.
14. Ефименко Ю.И. К вопросу расчета подгорочных парков // Инженерные инструкции и строительное производство. Труды ЛИИЖТ. Вып. 273. - М.: Транспорт. - 1968. - С. 200-221.
15. Савенко А.С. К вопросу о потребной емкости сортировочного парка // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Труды МИИТ. Вып. 449. - М.: Транспорт. - 1973. - С. 79-81.
16. Сотников И.Б. Оптимальная технология и мощность устройств сортировочных станций // Железнодорожный транспорт. - 1971. - № 1. - С. 22-25.
17. Галатченко Н.П. О концентрации сортировочной работы // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 1967. - № 6. - С. 43-45.
18. Платонов А.И. Взаимодействие процессов на сортировочной станции. М.: Трансжелдориздат, 1955. - 224 с.
19. Акулиничев В.М. Проблемы развития сортировочных станций и промышленных узлов. // Труды МИИТ. Вып. 718. - М.: Транспорт. - 1983.-с. 3-12.
20. Акулиничев В.М. Проблемы и перспективы использования экономико-математических методов при оптимизации транспортных узлов.// Труды МИИТ. Вып. 718. - М.: Транспорт. -1983. - С. 13-25.
21. Негрей В.Я. Исследования закономерностей колебаний транспортных потоков, обслуживаемых сортировочной станцией // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Межвуз. сб. науч. стат. - Гомель. БелИИЖТ. - 1982. - С. 32-38.
22. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. - М.: Транспорт, 1979 - 240 с.
23. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. - М.: Транспорт. - 1986.

24. Быкадоров А.В. Оценка взаимодействия станционных процессов // Железнодорожный транспорт. - 1980. - № 1.
25. Сакульева Т.Н. Сортировочные станции в современных условиях // Железнодорожный транспорт. - 1997. - № 7. - С. 6-8.
26. Мачерет Д.А., Кузнецова А.А. Анализ работы технической станции: новые подходы // Железнодорожный транспорт. - 1997. - № 3. - С. 16-17.
27. Мачерет Д.А., Кузнецова А.А. Взаимодействие сортировочных станций и участков // Железнодорожный транспорт. - 1997. - № 7. - С. 50-53.
28. Нагорный Е.В. Научные основы и разработка комплексной технологии поточной и непрерывной переработки вагонов на сортировочных станциях: Дис... д-ра техн. наук/ХИИТ. - Харьков, 1994.
29. Приписцова С.В., Смирнова М.З. Сортировочные станции США и Канады // Железнодорожный транспорт за рубежом. Вып. 4. - М.: ЦНИИТЭИ МПС. - 1979. - С. 12-15.
30. Железнодорожный транспорт за рубежом. - М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1987.
31. Максимальная пропускная способность участков // Железные дороги мира. - 1993. - № 7. - С. 53-57.
32. Тенденции развития железнодорожного транспорта в Европе // Железные дороги мира. - 1996. - № 11. - С. 3-5.
33. Железнодорожный транспорт в цифрах // Железнодорожный транспорт. -1997.-№ 10.-С. 2-4.
34. Смехов А.А. Прогнозирование ситуации на транспортном рынке // Железнодорожный транспорт. - 1997. - № 7. - С. 9-11.
35. Орлов А.В. Транспорт в системе рыночных отношений и конкурентного рынка. // Железнодорожный транспорт - 1995. - № 12. - С. 38-41.
36. Морозов В.Н. Моделирование управления дорогой // Железнодорожный транспорт. -1997. - № 7. - С. 2-5.
37. Нагорный Е.В., Альошинський Є.С. Роль комплексу «Сортувальна станція - прилеглі ділянки» у підвищенні конкурентоспроможності залізничного транспорту // Концепція підвищення ефективності

- вантажних перевезень на залізничному транспорті. Міжвуз. зб. наук. пр. Вип. 33. - Харків: ХарДАЗТ. - 1998. - С. 3-8.
38. Мурашко А.Г. Первое знакомство с сетями Петри. Учебное пособие. - К.: УМК ВО, 1988-71 с.
39. Т. Мурата. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения// Труды института инженеров по электронике и радиоэлектронике (ТИИЭР). М: Мир. - т. 77. - № 4. - 1989. - С. 41-81.
40. Petri C.A. Kommunikation mit automaten. Ph. Thesis. - Bonn: Univ, 1962.
41. Грунтов П.С., Захаров В.А. Прогнозирование показателей работы сортировочной станции методом моделирования на ЭВМ. Учебно-методическое пособие. - Гомель: БелИИЖТ, 1981. - 60 с.
42. Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. - М.: Транспорт, 1972. - 208 с.
43. Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Шульженко П.А. Применение математических методов и вычислительной техники в эксплуатации железных дорог. - М.: Транспорт, 1973. - 208 с.
44. Нестеров Е.П. Транспортные задачи линейного программирования. - М.: Транспорт, 1971. - 216 с.
45. Грунтов П.С., Захаров В.А. Исследование закономерностей транспортных потоков на участках и сортировочных станциях// Законы распределения транспортных потоков на станциях и участках. - Вып. 123. - Гомель: БелИИЖТ. - 1973. - С. 4-43.
46. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. - М.: Мир, 1967.
47. Хорафас Д.Н. Системы и моделирование. - М.: Мир, 1967.
48. Теория графов. / Под ред. В.Б. Алексеева, Г.П. Гаврилова, А.А. Сапоженко. - М.: Мир, 1974. - 224 с.
49. Пермикин В.Ю. Автоматизация структурно-технологической оптимизации железнодорожных станций// Дис... канд. техн. наук: 05.22.08 / УрГАПС - Екатеринбург, 1999. - 30 с.

50. Шабалин Н.Н. Применение теории массового обслуживания для расчета устройств станции. Лекции. - М.: МИИТ, 1968. - 90 с.
51. Федотов Н.И. Исследование транспортных операций. 4.1. Вероятностные методы. - Новосибирск: НИИЖТ, 1977. - 100 с.
52. Федотов Н.И. Исследование транспортных операций. 4.2. Математическое моделирование транспортных систем. - Новосибирск: НИИЖТ, 1978. - 96 с.
53. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. - М.: Наука, 1980. - 208 с.
54. Акулиничев В.М., Зеленков В.И. Применение кибернетики и электронно-вычислительных машин на транспорте // Труды МИИТа. Вып 306. - М.: Транспорт. - 1969. - 120 с.
55. Грунтов П.С., Захаров В.А. Решение практических задач с помощью моделирования работы станции// Железнодорожный транспорт. - 1979.
56. Таха Х. Введение в исследование операций. Кн. 2. - М.: Мир, 1985. - 496 с.
57. Котов В.Е. Сети Петри. - М.: Наука, 1984. -260 с.
58. Питерсон Д. Теория сетей Петри и моделирования систем. - М.: Мир, 1984.-254 с.
59. Котов В.Е. Алгебра регулярных сетей Петри// Кибернетика. - 1980. - № 5.-С. 10-18.
60. Костин А.Е. Программный комплекс для сетевого имитационного моделирования дискретных систем с параллельными процессами // УсиМ. - 1987. - № 4. - С. 96-103.
61. Апатцев В.И. Оптимизация работы железнодорожных узлов// Железнодорожный транспорт. - 1998. - № 11. - С. 2-6.
62. Ярошевич В.П. Проблемы организации грузовых перевозок в железнодорожных узлах // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті. Міжвуз. Зб. наук. пр. Вип. 33. - Харків: ХарДАЗТ. - 1998. - С. 83-93.

63. Бель Р.К., Схуппен Й.Х. Распределенная маршрутизация для балансировки нагрузки // Труды института инженеров по электронике и радиоэлектронике (ТИИЭР). М: Мир. - т. 77. - № 1. - 1989. - С. 185-200.
64. Нагорный Е.В., Алёшинский Е.С. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» с помощью сетей Петри // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000. - № 2. - С. 98-103.
65. Крячко В.І., Альошинський Є.С. Про нові принципи дослідження взаємозв'язків і логістичного планування перевізних процесів транспортного комплексу «Технічні станції - прилеглі ділянки» // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті. Міжвуз. зб. наук. пр. Вип. 34. - Харків: ХарДАЗТ. - 1999. - С. 69-75.
66. Бобровский В.И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті. Міжвуз. зб. наук. пр. Вип. 34. - Харків: ХарДАЗТ. - 1999.
67. Правила тяговых расчетов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. -287 с.
68. Крючков О.М. Разработка методов построения, архитектуры и способов информационного обеспечения перевозочного процесса на полигоне железной дороги // Дис... канд. техн. наук: 05.22.08 / ХарГАЖТ - Харьков, 1997. - 221 с.
69. Інформатизація України. Концепція державної політики інформатизації України. Під керівництвом В.С. Михалевича // Управляющие системы и машины. - 1994. - № 4-5. - С. 7-21.
70. Малахова Е.А. Современная информационная технология для технических станций и участков регионов железных дорог // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харьков: ХарГАЖТ. - 1998. - № 2. - С. 19-21.

71. Флинт Д. Локальные сети ЭВМ. - М.: Финансы и статистика, 1986. - 359 с.
72. Ги К. Введение в локальные вычислительные сети. - М.: Радио и связь, 1985.- 176 с.
73. Титов Н.Ф. Повышение эффективности функционирования технических пограничных передаточных станций железных дорог Украины : Дис... канд. техн, наук: 05.22.20 / ХарГАЖТ - Харьков, 1999.
74. Тулупов Л.П., Юйлиан Я. Текущее планирование поездной работы технических станций // Железнодорожный транспорт. - 1997. - № 6. - С. 28-30.
75. Федюшин Ю.М. Применение сетей Петри для моделирования процессов управления на железнодорожном транспорте // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 3/4. -С. 7-12.
76. Савченко И.Е., Земблинов С.В., Страковский И.И. Железнодорожные станции и узлы. Учебник для ВУЗов железнодорожного транспорта / Под ред. В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина. - М.: Транспорт, 1980. - 479 с.
77. Железнодорожные станции и узлы. Учебник для ВУЗов железнодорожного транспорта / Под ред. В.М. Акулиничева, Н.В. Правдина, В.Я. Болотного, И.Е. Савченко. - М.: Транспорт, 1992. - 480 с.
78. Правила технічної експлуатації залізниць України. - Київ: Транспорт, 1992.- 142 с.
79. Парцвания В.М. Концепция создания локально-вычислительных сетей автоматизированных рабочих мест производственно-экономической системы *И* Проблемы внедрения информационных технологий на транспорте. - Киев: Иститут кибернетики АН Украины. - 1992. - С. 48-52.

80. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. - М.: Транспорт, 1979. - 240 с.
81. Бабаев М.М. Синтез устройств распознавания кодов для пассажирской автоматики метрополитена // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 6. - С. 49-53.
82. Системы автоматического определения местоположения и идентификации подвижного состава // Железные дороги мира. - 1998. - №6.-С. 41-45.
83. Филипченко С.А., Яшин А.И. Автоматизированная идентификация номеров вагонов на станциях (НИВА) // Вестник ВНИИЖТа. - 1996. - № 1.-С. 29-34.
84. Филипченко С.А., Кузин Б.С., Феофилов А.Н. Новая технология идентификации номеров вагонов на станции (НИВА) // Вестник ВНИИЖТа. - 1996. - № 2. - С. 23-26.
85. Алёшинский Е.С. Совершенствование технологии и технического оснащения сортировочной станции: Дипл. проект. / ХарГАЖ - Харьков, 1997.- 130 с.
86. Анализ основных показателей железных дорог Украины за 1991-1998 гг.
87. Локомотивное хозяйство / Под ред. С.Я. Айзенбуда. - М.: Транспорт, 1986.-260 с.
88. Папченков С.И. Локомотивное хозяйство. Пособие по дипломному проектированию. -М.: Транспорт, 1988. - 192 с.
89. Наказ № 187-ц от 19.12.1995 “Про покращення технічного утримання тягового рухомого складу”. - Київ. - 1995.
90. Пузырь В.Г. Моделирование системы информационного обслуживания локомотивов в депо с проведением диагностических операций // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 2. - С. 15-17.
91. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Каленик Н.В., Белоус Ю.А. Устойчивость системы управления техническим состоянием

- локомотивного парка на уровне депо и транспорта // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1998. - № 2. - С. 26-29.
92. Анненков Е.В. Скорость доставки грузов и ее связь с системой организации вагонопотоков в поезда // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 5/6. - С. 12-16.
93. Чернюгов А.Д., Яновский П.А. Влияние специализации расписаний в условиях стабильного графика на процесс поездообразования // Интенсификация пропуска вагонопотоков на станциях и участках. Межвуз. сб. науч. ст. - Гомель: БелИИЖТ. - 1981. - С. 48-54.
94. Щелоков А.И., Шапкин И.Н. Грузовым поездам - жесткий график. Опыт Московской дороги // Железнодорожный транспорт. - 1998. - № 9. - С. 2-5.
95. Информационно-управляющая система для сортировочных станций // Железные дороги мира. - 1993. - № 7. - С. 57-63.
96. Транспортная логистика / Под редакцией Л.Б. Миротина. - М.: МГАДИ(ТУ), 1996. - 211 с.
97. Смехов А.А. Маркетинговые модели транспортного рынка. - М.: Транспорт, 1998. - 120 с.
98. Безрукавенко В.А. Рыночный механизм - новые подходы // Железнодорожный транспорт. - 1996. - № 4. - С. 31-37.
99. Сети Петри для Windows. Версия 1.0. Copyright СЗРЦ НИТ. По Заказу РосНИИИС. - 1994.
100. Нагорний Є.В., Альошинський Є.С. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу «Сортувальна станція - прилеглі ділянки»// 36. наук. пр. ХарДАЗТ. Част. 1 -Вип. 42. - 2000.-С. 51-57.
101. Нагорный Е.В., Алёшинский Е.С. Экономико-математическая модель функционирования логистической цепи транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки». Часть 2. Методика

- определения параметров целевой функции // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000. - № 6.
102. Креймер В.Ю., Зоріна О.І. Техніко-економічні розрахунки та обґрунтування проектних рішень. Методичні вказівки. Ч. 1-3. - Харків: ХарДАЗТ, 1999.
103. Люис, Колин Д. Методы прогнозирования экономических показателей. - М: Финансы и статистика, 1986. - 290 с.
104. Буянов В.А., Ратин Г.С. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1984. - 240 с.
105. Кузнецов А.В., Сакович В.А., Н.И. Холод. Высшая математика: Математическое программирование. - Минск: Вышэйшая школа, 1994. - 286 с.
106. Казанцев В.П., Ярошевич В.П. Применение математических методов в инженерных и экономических расчетах. - Гомель: БелИИЖТ, 1971. - 56 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Краткое руководство пользователя по работе с компьютерной программой (КП) Интегрированная система моделирования и формального анализа на базе сетей Петри

(Северо-Западный региональный центр новых информационных технологий (СЗРЦНИТ), г. Санкт-Петербург)

А. 1. Назначение интегрированной системы

Интегрированная система (ИС) предназначена для исследования и разработки сложных систем из различных предметных областей (в том числе и железнодорожного транспорта).

ИС обеспечивает:

- автоматизированное построение имитационных моделей сложных объектов;
- проведение имитационного моделирования в режимах пошагового исполнения (для отладки моделей) и сбора статистики;
- формальный анализ систем, представленных сетями Петри, с точки зрения структурных и поведенческих свойств.

А.2. Цели задач моделирования и анализа сетей Петри.

Главными направлениями прикладной теории СП являются синтез, анализ и моделирование сетей.

Целью задачи моделирования СП является изучение динамики функционирования исследуемой системы и ее поведения для различных начальных условий. Однако популярность СП обусловлена не только их высокой моделирующей способностью, но и хорошо развитым формальным аппаратом анализа свойств построенной модели.

Модели на основе СП позволяют анализировать два вида свойств, определяемых начальным маркированием M_0 и не зависящих от него. Свойства первого вида называются поведенческими. Основными из них являются достижимость, ограниченность, живость (активность). Свойства второго вида называются структурными и характеризуются, как правило, с помощью матрицы инцидентий C и связанных с ней уравнений и неравенств. К ним относятся структурные ограниченность и живость, сохраняемость, повторяемость и др. Свойства сохраняемости и повторяемости позволяют определить соответственно позиционные и переходные инварианты СП.

Известные методы анализа свойств СП подразделяются на 3 группы:

- методы, основанные на построении множества достижимости;
- методы, использующие матричные уравнения и инварианты сети;
- методы, предполагающие декомпозицию сети на подсети.

А.3. Функциональное назначение подсистемы моделирования

Процесс имитационного моделирования состоит из двух основных частей : оконного интерфейса с пользователем (рис. А.1) и процедуры функционирования сети.

Оконный интерфейс процесса строится на основе общей идеологии организации программного комплекса и использует созданные в ее рамках функции многооконного интерфейса. На этой основе осуществляется взаимодействие процесса с внешними устройствами (и через них с пользователем) и обмен сообщениями с другими процессами комплекса.

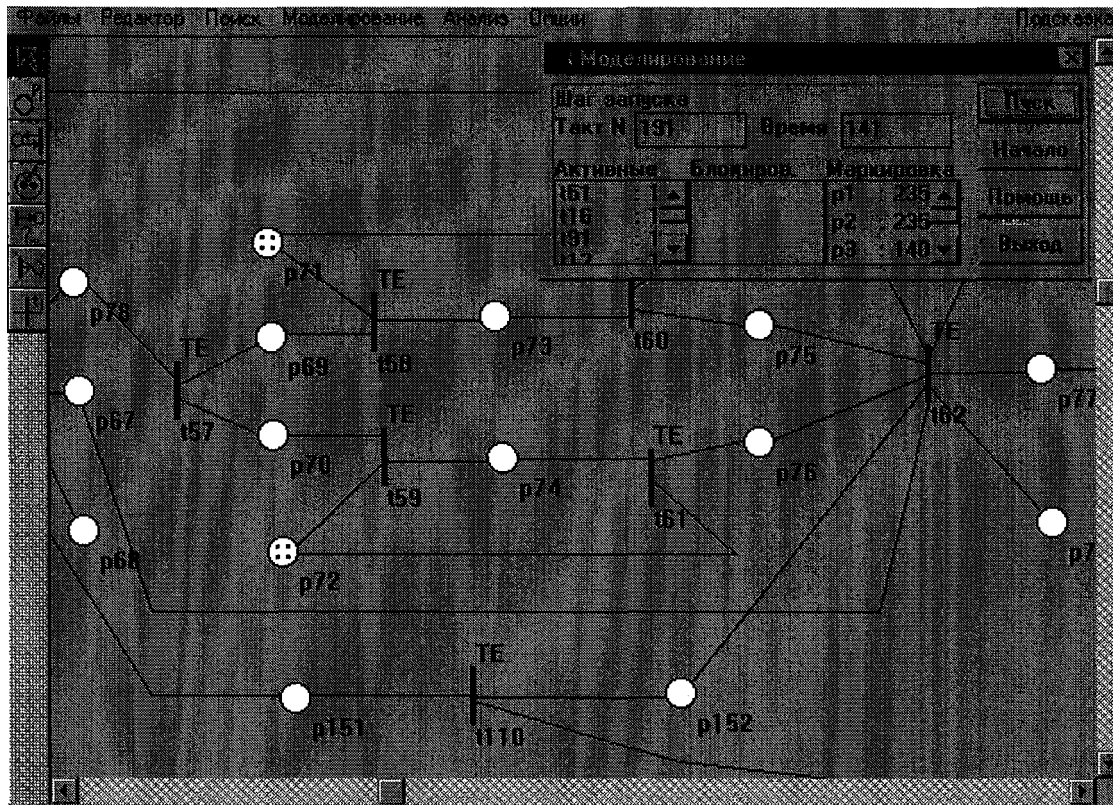


Рис. А.1 - Фрагмент оконного интерфейса процесса моделирования функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».

Процедура функционирования использует для своей работы описанную ниже специальную структуру данных, созданную для хранения, модификации и обработки описания сети. Процедура функционирования запускается оконным интерфейсом процесса моделирования по команде пользователя и выполняет алгоритм моделирования последовательно до тех пор, пока не будет прервана пользователем или по команде оконного интерфейса в соответствии с заданным режимом моделирования (который устанавливается в подпункте "Режим" меню моделирования).

Графический редактор сетей предназначен для создания и редактирования сетей Петри и их модификаций (F-сетей, временных сетей), представленных в графическом виде.

Редактор построен на основе общей идеологии многооконного интерфейса, используемой программным комплексом. Механизм обмена

сообщениями организует его взаимодействие с другими процессами комплекса.

Редактор функционально состоит из двух частей: основной, обеспечивающей построение и редактирование общей структуры сети, и параметризирующей, обеспечивающей изменение параметров основных элементов сети - позиций (Р) и переходов (Т). Последняя в свою очередь состоит также из двух частей, работающих с позициями и переходами соответственно. Параметризирующая часть обеспечивает изменение параметров элементов сети путем взаимодействия непосредственно с основными объектами общей структуры данных типа "позиция" и "переход".

А.4. Структура данных интегрированной системы моделирования

Основным элементом структуры данных, используемых в программном комплексе при имитационном моделировании сетей, является объект типа "переход".

В поле данных типа перехода содержится одно из типизированных значений, соответствующее типу перехода сети (T_e , T_d , T_x , T_y , T_i , T_7 или T_8).

В поле статистических данных хранится и накапливаются в процессе моделирования статистическая информация о работе данного перехода сети (количество срабатываний, суммарное время активности, суммарное время блокирования и т.д.), а также информация, необходимая для сбора статистики (момент модельного времени последней активизации перехода, время последнего блокирования перехода и т.п.). Информация по всем переходам и позициям сообщается пользователю в подпункте "Статистика" меню моделирования и сохраняется в этих полях данных до следующего запуска процесса моделирования.

В списках входных и выходных позиций перехода содержатся номера соответствующих позиций, нагрузка и инверсность дуг, связывающих с ними переход. В списке времен задержки находятся соответствующие времена срабатывания перехода и их вероятности.

Процедура активизации проверяет возможность перехода данного типа в активное состояние, процедура запуска выполняется всякий раз, если такой переход возможен (данный переход становится активным), и определяет изменение маркировки его входных позиций, а также время активности - значение модельного времени, в течении которого переход будет пребывать в активном состоянии. Процедура проверки завершения запускается при истечении времени активности и проверяет возможность завершения перехода в соответствии с состоянием его выходных позиций, если завершение невозможно, переход блокируется, иначе выполняется процедура завершения, изменяющая маркировку выходных позиций.

Второй по значимости структурой данных программного комплекса является позиция. Позиция в процессе моделирования выступает как пассивный элемент, поэтому она не является объектом и не связана с какими-либо функциями. Однако в позиции в процессе моделирования также накапливается статистическая информация, с которой работают соответствующие функции, вызываемые при запуске и завершении связанных с позицией переходов.

Общая структура данных позиции такова :

- поля статистической информации;
- значение начальной маркировки;
- значение текущей маркировки;
- ограничение на количество маркеров;
- очередь маркеров позиции.

В очередь маркеров позиции помещаются параметры - атрибуты и приоритеты - раскрашенных маркеров, если таковые находятся в данной позиции.

Общая структура сети описывается двумя массивами указателей - на позиции и переходы сети, доступ к которым возможен по номеру соответствующего элемента сети.

Описанная структура данных лежит в основе функционирования процесса имитационного моделирования сетей, а также используется в работе графического редактора сетей, процессов чтения и записи сети на диск.

Выполнение алгоритма продолжается до тех пор, пока не истечет модельное время или не будет достигнуто одно из особых состояний сети : тупик, прерывание процесса моделирования пользователем, истечение заданного модельного времени или достижение установленного конечного такта моделирования. Наличие одного из выше указанных условий соответствует одной из величин специальной переменной, значение которой устанавливается при анализе состояния системы и при фиксации модельного времени, и может быть получено пользователем в пункте "Причина останова" меню моделирования.

А.5. Требования к ПЭВМ

Интегрированная система моделирования и формального анализа на базе сетей Петри функционирует на ПЭВМ типа IBM PC AT (и полностью совместимых с ней) в стандартной конфигурации с VGA или SVGA монитором под управлением операционной системы MS WINDOWS версии 3.0 и выше. Необходимый размер свободной области на жестком магнитном диске - 550 Кб.

Приложение Б

Анализ результатов моделирования функционирования подсистемы «Прилегающие участки - парк приема»

Моделированию подвергается подсистема «Прилегающие участки - парк приема» транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» (см. рис. 3.13).

На начало моделирования парк приема сортировочной станции принимается полностью свободными, а показатели системы начинают учитываться лишь после перехода системы в стационарный режим, на что достаточно одних суток. Достоинством этого способа является экономия времени и средств на исследование законов распределения числа вагонов и составов на начало моделирования, а также сокращение объема исходной информации.

Изменяя режим моделирования, можно определять состояние системы как через любое количество тактов (запусков переходов), так и через заданный промежуток времени. Программный продукт позволяет в табличном виде вести статистику по позициям и переходам. При этом, статистические показатели могут изменяться после каждого такта моделирования.

В таблицах Б.1 и Б.2 описано состояние модели функционирования подсистемы «Парк приема - прилегающие участки» после перехода ее в стационарный режим, то есть через сутки (1440 минут). Продолжительность всех операций, а, следовательно, и временные показатели, заданы в минутах и могут изначально корректироваться пользователем модели (в зависимости от особенностей станции и конкретных условий работы).

Таблица Б. 1

Статистика по переходам.

п/п	сраб	абс			1AJ
1	63	173	1201%	852	5917% Занятость гомцш парка приема
2	62	220	15 28%	0	0 00% Ограждение
3	58	131	910%	0	0.00% Время на подход бриг. ПТО к состава
4	62	144	10 00%	0	0 00% Время на подход бригады ПКО к составу
5	57	1370	95114%	0	0 00% Простой под ТО
6	61	1370	9614%	0	0 00% Простой под КО
7	56	219	15 21%	0	0 00% Время на заезд лок. и надвиг
8	2760	432	30 00%	0	0 00% Продолжит роспуска [повагонно]
9	55	55	3 82%	0	0 00% Окончание роспуска состава
10	19	1190	82 64%	214	14 86% Занятость участка А-С
11	26	1195	82 99%	185	12 85% Занятость участка В-С
12	1 6	1235	85 76%	152	10.56% Занятость участка Б-С
13	10	1235	85 76%	105	7 29% Занятость участка Г С

Таблица Б.2

Статистика по позициям.

N п/п	Маркировка			Время Общее	Имя
	Тек.	МАХ.	О гран.		
1	4	4	4	987	Занятость блок-участков у вход, светоф
2	■■■	■ ■■■		1397	Занятость путей парка приема
3	62	62	2000	1397	Счетчик прибывших составов
4	■■	5 .		1288	Наличие составов готовых к тех. осмотру
5	0	5	— — ТТТ	1220	Наличие составов готовым к ком. осмотру
6	0		■	102	Число свободных бригад ПТП
7	0	2		92	Число свободным бригад ПКО
8				1211	Работа бригад ПТО
9		■ ■	■ К П	1208	Работа бригад ПКО
10	0			25	ТО окончен состав готов к роспуску
	■ ■	■ ■	— — —	976	КО окончен состав готов к роспуску
12	40	50	60	426	Число вагонов в распускаемом составе
13		1	П П П	1440	Число св^Ц^црых гооочным локомотивов
14	2760	2760	32000	1362	Число роспущенных вагонов
15	10	50	60	420	Число роспущ. вагонов в текут составе
16	55	55	2000	1355	Счётчик роспущенных составов
17	340	350	10000	1397	Линия документооборота
18	0	ЯМ		46	Число только поступивших в парк П поезде
19	62	62	2000	1392	Число убранных поездных леком, в ЛХ
20	181	0	500	1440	Число поездов на выходе со станции А
21	74	■ ■ ■	400	1440	Число поездов на выходе со станции В
22	164	0	500	1440	Число поездов на выходе со станции Б
	120		ТМ		«ЛИИ

Из таблицы Б.1 видно, что за сутки (1440 минут) через горловину парка приема заданной сортировочной станции проследовало 63 состава. Занятость горловины составила 173 минуты, то есть загрузка составила 12,01% времени моделирования (см. статистику по 1-му переходу). 852 минуты (59,17% времени) переход 77 был блокирован из-за невозможности принятия в парк

приема более $K(P)$ поездов (для нашего примера $K(P) = 7$). Из 63 прибывших составов у 62 были произведены отцепка поездного локомотива и ограждение, на что в сумме ушло 220 минут (статистика по $T2$). Осмотр в техническом отношении за сутки прошло 57 составов, в коммерческом - 61. Суммарное время простоя под каждой из операций составило 1370 минут (переходы $T5$ и $T6$). За сутки было розпущено 55 составов ($T9$) и в общей сложности 2760 вагонов ($T8$). Горка была загружена 432 минуты (30% времени), а горочные локомотивы с учетом времени на заезд и надвиг - $432 + 219 = 651$ минут ($T8$ и $T7$). Статистика по переходам $T10-T13$ показывает, что за период моделирования со станций А, В, Б и Г на станцию С отправилось соответственно 19, 26, 16 и 10 поездов. Показатели 3-й и 4-й колонки по переходам $T10-T13$ указывают суммарную занятость соответствующих участков в течении 1440 минут, а в колонках 5 и 6 указано время блокировки переходов (из-за невозможности отправления поездов на участки).

В таблице Б.2 отражено состояние системы на текущий момент времени моделирования (колонка 2), а также показатели ограничения по предельной вместимости $K(P)$ позиций (колонка 4) и максимального числа фишек (числа поездов, вагонов, локомотивов или бригад ПТО и ПКО), находившихся в каждой из позиций за период моделирования (через 1440 минут) (колонка 3). В 5-й колонке показано суммарное время занятости каждой из позиций модели. Например, суммарное время занятости блок-участков при входе на станцию составляет 987 минут. При этом у входных светофоров на данный момент времени находится 4 поезда, что составляет максимум от возможного (по предельной вместимости). Из статистики по позиции $P4$ видно, что в настоящий момент времени 4 состава находятся в состоянии ожидания ТО, в то время как в ожидании КО - 0 составов ($P5$). Из позиций $P15$ и $P12$ видно, что на станции в текущий момент времени происходит розпуск состава с горки. При этом, 10 вагонов уже розпущенно ($P15$), а 40 еще находятся на горке ($P12$). Аналогично на текущий момент

времени можно определить и число свободных горочных локомотивов, бригад ПТО и ПКО, число ропущенных вагонов и составов, а также число поездов на выходе с соседних станций назначением на станцию С.

Приложение В

Результаты моделирования функционирования транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»

Таблица В. 1

Статистика по переходам

п/п	сраб.	абс.	п/п	абс.	п/п	абс.	п/п	абс.
2 TE 45	2882	94.38%	0	0.00%	Занятость участка А-С			
3 TE 30	2240	100.00%	0	0.00%	Занятость участка Б-С			
4 TE 25	1985				Занятость участка В-С			
5 TE 20	2100				Занятость участка Г-С			
Б TE 20	2882	100.00%	0	0.00%	Занятость участка Д-С			
7 TX 100	МП	0.00%	0	0.00%	Занятость участка Е-С			
8 TX 88		0.00%			Разделение вагонопот. (б/п или с/			
9 TE 127	327	11.35%	1761	61.10%	Разделение вагонопот. [с/п или б/п]			
10 TE 127	436	15.13%		0.00%	Занятость горловины парка приеп			
11 TE 127	292	10.13%		0.00%	Ограждение состава, отцеп локоп			
12 TE 127	297	10.31%		0.00%	Время на подход брига. ПТО к сог			
13 TE 124	488	16.93%	1738	60.31%	Время на подход бригады ПКО к с			
14 TE 6101	984	34.14%		0.00%	Время на заезд лок. и Надвиг			
15 TE 122	122	4.23%		0.00%	Продолжит, роспуска (Повагонно]			
1Б TE 1	15	0.52%		0.00%	Окончание роспуска состава			
17 TE 2	30	1.04%		0.00%	Осаживание и оконч. Формир. на п.			
18 TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п. 1.2			
19 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п. 1.3			
20 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п. 1.4			
21 TE 4	60	2.86%		0.00%	Осаживание и оф на п. 1.5			
22 TE 3	45	1.56%		0.00%	Осаживание и оф на п.1.6			
23 TE 4	GO	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.1.7			
24 TE 3	45			0.00%	Осаживание и оф на п.1.8			
25 TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.2			
26 TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.3			
27 TE 3	45	1.56%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.4			
28 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.5			
29 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.6			
30 TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.7			
31 TE 3	45	1.56%		0.00%	Осаживание и оф на п.2.8			
32 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.1			
33 TE 6	90	3.12%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.2			
34 TE 3	45	1.56%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.3			
35 TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.4			
36 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.5			
37 TE 4	GO	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.6			
36 TE G	90	3.12%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.7			
39 TE 2	30	1.04%		0.00%	Осаживание и оф на п.3.8			
■ TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.1			
II TE 5	75	2.60%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.2			
№ TE 4	GO	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.3			
Я3 TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.4			
■* TE 4	60	2.08%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.5			
В TE 3	45	1.56%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.6			
К TE 1	15	0.52%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.7			
47 TE 2	30	1.04%		0.00%	Осаживание и оф на п.4.В			
48 TE 121	418	14.50%		0.00%	Время на возвр. локомот. в сорт, п			
■9 TX 6100	0	0.00%		0.00%	Сортировка по путям СП			
0 TE 27	81	2.81%		0.07%	Перестановка в парк отправления			
51 TE 32	96	3.33%		0.00%	Перестановка в парк отправления			
В TE 34	102	3.54%		0.03%	Перестановка в парк отправления			

Продолжение табл. В.1

п/п	сраб. абс.	[X] абс.	(X)	Имя
53 TE 28	84		0.00%	Перестановка в парк отправления
54 TE	Ж..	13.22% 0	—	Занятость горловины парка отпав
55 TE 121	121	4.20% 0	—	Ограждение елейна
56 TE 121	297	10.31* 0	0.00%	.Время на подкоп бригады ТО. нала,
57 TE 121	Ж? '	10.65% 0		
58 TE 121	\$62	39.98X 0	■ ^йю»;	Пробі тори., отпра
59 ТУ 93	296	10.27* 0	0.00*	Занятость чот- горлов. стани, отпр
ИГ ТУЛ'83	Ж		0.00*	«ГЙЦЁ.
61 TE 33	2477	85.95% 0		Продолжительность занятия дч. С-1
62 TE 47	2678	92.96* 0	0Л0%	Продолжительность занятия уч. С-1
63 TE 10	1D6Q	36.78* 0	0.00*	айЙГия зч.
64 TE 20	1634	56.70% 0	0.00%	Продолжительность Занятия уч. С-1
65 TE 37	2513	87.20% 0	0.00%	Продолжительность занятия уч. С-1
66 TE 1\$	2228	77 31* 0	0.00%	Продолжительность занятия уч. С-1
67 ПС 121		0.00* 0	0.00%	Распредел. повадо-пот. на чет. и ж
68 TX 88	ШВН	0.00% 0	0.00%	Распределение чет. ваг-потока по і
69 TX 83		0.08% 0	0.00%	Распределение иеч. ваг-потока по і
70 TE 35	76	2.64% 0	0.00%	Занятость горловины парка Т1
71 TE 35	105	3.64% 0	0.00%	Отцепка лок.. ограждение состава
72 TE 35	70	2.43% 0	0.00%	Время на подход бриг. ПТО к сост<
73 TE 35	70	2.43% 0	0.00%	Время на подход бриг. ПКО к сост<
74 TE 35	162	5.62% 0	0,00*	. Время на прицепку-отцепку вагоне
75 TE 35	282	9.78% 0	0.00%	Снят, огражд.. прицеп, лок. проба і
76 TE 26	57	198% 0	0.00%	Занятость горловины парка Т2
77 TE 2,6	78		0.00%	Отцепка лок.. Ограждение состава
7ff TE &	И	1.яНЕ 0	S.fiW	Время на подход бриг. ПТО к сост<
79 TE 28	52	1.80% 0	0.00%	Время на подход бриг. ПКО к соота
80 TE 26	156	5.41% 0	0.00%	Время на прицвщц-отцепку вагона
81 TE 26	204	7.08% 0	0.00%	Снят, огражд , ПриЦеп. лок, проба і
82 TX 188	■■ш	OLOOX 0	0.00%	Разделение на^Уиювдзы и Электр
3 TX 85	85	2.95% 0	0,00%	Распределение повидам ремонта
4 TX 120	121L	4.16% 0	0.00%	Распределение шт видам ремонта
5 TX 150	150p	52 05% 0	0 00%	Повторное диагностирование (тепл
Б TX 150	1500	52 05% 0	0.00%	Повторное днатн вотивование (зл-в
7 TE 35	795	27.59* 0	0.00%	Прздолж-ть обрд& инф и докум (па
18 TE 26	590-	20.47% 0	0.00%	Продолж-ть обрац инф. и докум [г
19 TE 124	2775	96 29* 0	х г^v	Прцд-ть обраб- ИНФ- и ДОК. на повц
10 TE 121	2010	69 74% 0	0.00%	Пррдолж пбрабо £. инф И ДОК. [по 1
11 TE 182	1274	44.21% 0	0.00%	Передача ТГНЛ t нг соседи, стаици»
12 TE 79	<870	64.69% 0	OЛОХ	Простой под ТО 1т« бриг., парк П)
13 TE 48	1125	39.04% 0	0.00%	Простой под ТО. fg-я бриг., парк П)
14 TE 0		DLDOX 0	0.00%	Простой под ТО (3-я бриг., парк П)
15 TE 80	1815		8.00%	Простой под КО (1-я бриг., парк П)
16 TE 47	1105	мш 0	0.00%	■ Пиййгай tat'КО О)
17 TE 0		OLOOX 0	МОХ	Простой под КО (3-я бриг., парк П)
18 TE 50	1415	49.10% 0	OLOOX	Простой под ТО (1-я бриг., парк 0)
19 TE 37	1045	36.26% 0	0.00%	Простой под ТО (2-я бриг., парк 0)
00 TE 24	675	23.422 0	Мох	Простой под ТО (3-я бриг., парк 0)
01 TE 10	300	10 41* 0	0.00%	Простой под ТО 4-я бриг. парк 0)
02 TE 55	1470	51.01* 0	0.00%	ПробгбятдвД fiitar.. пиж Oi
03 TE 38	980	34.00% 0	0.00%	Простой под КО z**г fftwr—tata 0)
04 TE 21	535	18.56% 0	0.00%	Простой под КО ,3-я бриг. парк 0]
05 TE 7		6.42% 0	0.00%	Простой под КО «4-я бриг., парк 0]
06 TE 35		19.60% 0	0.00%	Простой под ТQ 1-я бриг., парк Т1
07 TE 0		МОХ 0	0.00%	Простой под ТО 2-я бриг. парк Т1
08 TE 35	585	20.30% 0	0.00%	Простой под КО 1-я бриг., парк Т1
09 TE 0		0.00% 0	0.00%	Простой под КО 2 я бриг., парк Т1
10 TE 26	435	15.09% 0	0.00%	Простой под ТО 1-я бриг., парк Т 2
11 TE 0	■	0.00% 0	0 00%	Простой под ТО 2-я бриг, парк Т2

Продолжение табл. В.2

№	МАРКИРОВАВ			Время маркеров		Общее	“ими/ Г; ‘L-Ю ””ГТ**
	р/п	Гек.	МАХ □гран	Акт	Блек.		
121	57	57		0	0	2821	Тепл, в ожнцанНи ТО-1 (ежесменно
122	26	26	100		IIIIII	2488	Тепл, в ожвд. ТО-2 {периодичность
123	G	6	100	Mни	■■■I	2073	Тепл, в ожш. ТО-3 (периодичность
124	2	2	100	MH	IIIIII	2721	Теплів ожил TP-1 (период-ть - 4 мі
125	И	И	100	■■■	IIIIIMT	1157	Тепл, в ажнп.Тг?2 (Иеривд-ть -11 и
126	0	0	100	■i—	■■■■		Тепл в ожид TP-3 (период-ть - 32
127	0	0	50			R RR	Отсылка тепловоза на кап. ремонт
128	63	63	100	■■■		2804	Элек вожнд. ТО-1-(ежесменно-12
129	32	32	100			2707	Элек, в ожОД. Тц-2 (периодичность
130	4	100	ittas			2550	Зж в?<i>іщі.ПЦ&3(пійінод-ть -1м
131	5	5	100			2725	Злек.в ожил. TP-1 [период-ть - 2 мі
132	0	0	100	■■■■■	■MI		ЭлВн.в ожид. TP-2 (период-ть - 200г
133	0	0	100	■	■■■■		Элек в ожид TP-3 (период-ть - 40Г
134	0	0	50	■■■		■MT	Отсылка электровоза на кап реме
135	0	0	200	1490		1490	Обработка теплев, завершена
136	0	0	200	1490	■■■	1490	Обработка электров завершена
137	128	217	250	1268	■RR	2882	Число локон. годНй*К ртпправденн
138	0	MI	— M A	15			Получен инф идокум- о прибывш.
139	0	■■■■			■■■■■	163	Получен маш-м истурн. листа н до
140	0	III		36		36	Получен, инф. и докум. оприбывш.
ЦП	0	Ш		1	■■■■	164	Получен, маш-м нагурн. листа и до
			■■■■■			■■■■■	
144	123	123	2000	0		2805	Получен, сорт листка составит и
145	0	9	10	1305		1305	Пслуч. инф. о накоплен, составе
146	0	2	10	128		706	Под Ч маш-м наг. листа и док. (п<
147	0	2	2000	220	■■■I	220	Чшмк ГСТ^ТТНп сосодн. ст
148	183	183	2000	0		2773	Число ТГНЛ полуфх на соседи, ст
149	9150	915С	32000			2766	Число отправленных со станции С
150	0	0	дао	2665		2665	Суммарный воГ еШНМйок из А на С
151	250	0		2882		2882	Суммарный вагонопсток из Б на С
152	0	0	W0D	2140	■■■■■i	2140	Суммарный рагонбЛрТйк из В на С
153	0	0	.32000	1925	■■■■■i	1925	Суммарный вагонопсток из Г на С
154	0	0	зедло	1985		1985	Суммарный вагонопсток из Д на С
155	250	0	32000	2882		2882	Суммарный вагонопсток из Е на С

Приложение Г

Программный продукт для нахождения значений целевой функции и
основных показателей работы сортировочной станции

Таблица Г. 1

Нахождение значения целевой функции $C(t)$

<i>DIS-CC.mod</i>	Число вагонов				
	Показатели	в составе - т			
		40	45	50	55
Куч	6	6	6	6	6
{ty	39125	34305	31565	28025	25900
{m	10000	9990	10000	10010	10020
m	40	45	50	55	60
€пкм	0,96	1,08	1,20	1,32	1,44
€мн	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
©Mh	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10
Ге	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1-Ге	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
эе	0,604	0,604	0,604	0,604	0,604
ьт	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441
РД	60	60	60	60	60
Рл	150	150	150	150	150
се	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Ст	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
{tпр	2268	1352	1791	378	1107
Спр(э)	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Спр(Т)	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Со	10	8	8	7	6
Кназн	32	32	32	32	32
№р	165	136	143	120	116
ьсф	168	131	142	117	115
№е/п	82	64	57	62	51
{ТОТ	10000	8775	9950	9845	9960
lмод	4706	3879	3864	3503	3302
€вч	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
€чч	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
KUSD	13480	13480	13480	13480	13480

Продолжение табл. Г.1

USD	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
К	74140	74140	74140	74140	7414
{тс	782896	610612	632880	556700	5238
{инф	9032	7044	7388	6388	6080
Кприв	325,27	268,11	267,07	242,12	228,
Сприв	836,62	652,47	684,34	591,71	563,
Эприв	343,4	209,9	211,70	168,35	143,
С1 + С2	818,48	710,67	739,71	665,48	647,
€пН	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
{N*тсс	6023,2	3774,9	4111,94	3541,67	3183
Sn	3	2	3	2	2
Хп	2	2	2	2	2
So	4	3	4	4	4
Хо	2	2	2	2	2
Ст	2	2	2	2	2
Хт	2	2	2	2	2
Zoom	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Zсост	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Гл.г	0,54	0,63	0,61	0,65	0,67
Гл.ф	1,06	1,14	1,04	1,04	1,01
Мг	3	2	3	2	2
Мф	4	3	4	3	3
бмн.ман	30,10	30,10	30,10	30,10	30,1
€МИ.ман	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12
Сз	29	17	23	16	15
{тпрост-л	706,0	706,0	706,0	706,0	706,
тобр*Хр.Р	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
Zпх.р	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
С прост, л	11,85	11,85	11,85	11,85	11,8
С4	7	7	6	5	5
С(т), грн.	48	34	38	30	28

Таблица Г.2

Расчет основных показателей работы станции

<i>DIS-CC.mod</i>	Число вагонов в составе - т				
	Исход, данные	40	45	50	55
юбр.тр. (Т1)	33	32	43	39	33
{то«. (Т1)	112	34	24	103	60
юбр.тр. (Т2)	35	32	40	32	34
{юж. (Т2)	95	55	46	56	69
тобр.пп	44	46	41	48	45
{Гж (П)	3218	3083	2842	2081	2420
{трасср	1053	1058	1034	981	1086
1наж	448	506	513	606	618
{юж.оф	975	1123	1108	860	767
юф	20	20	20	20	20
{юж.пер	20	19	17	15	20
тобр.по	37	42	40	39	41
{U (O)	1148	856	1170	1001	779

Приложение Д

Определение основных показателей работы сортировочной станции

Таблица Д.1

Основные показатели работы станции

m	40	45	50	55	60
№р	165	136	143	120	116
ысф	168	131	142		115
№е/п	82	64	<u>иИИИИ</u>	62	51
{Шот	10000	8775	9950	9845	9960
Омод	20000	18765	19950	19855	19980
Осут	7645	9154	9848	11086	12132
Гтр.б/п	0,61	0,56	0,71	0,63	0,60
t'np	1,06	1,14	1,01	1,09	1,10
грасф	0,11	0,13	0,12	0,14	0,16
t'cn	7,56	8,58	8,68	10,22	10,41
Гоф	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
t'оТ	0,73	0,81	0,80	0,79	0,80
гтр.с/п	9,79	11,00	10,96	12,57	12,80
t'cp	6,78	7,57	8,02	8,44	9,05
п	2957	2271	2695	2479	2474

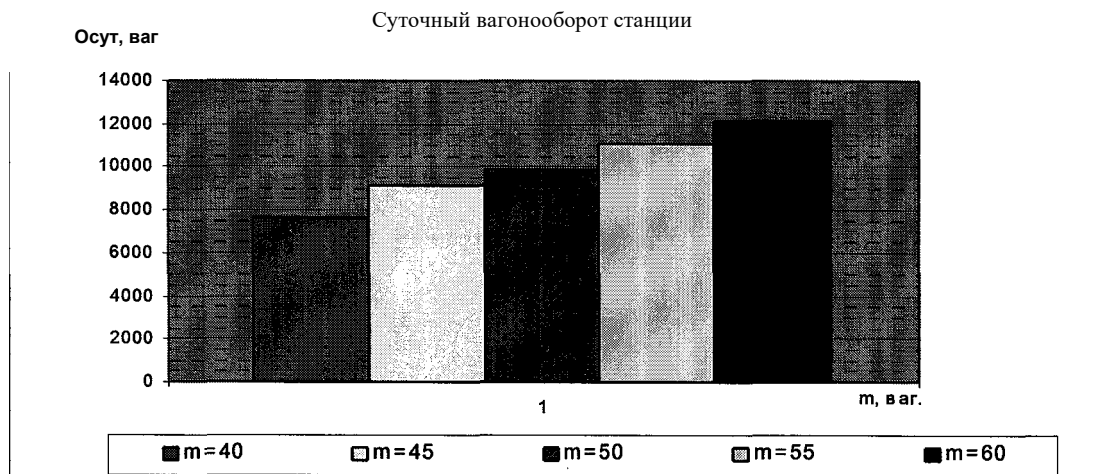


Рис. Д. 1 - Суточный вагонооборот (Осут) станции.

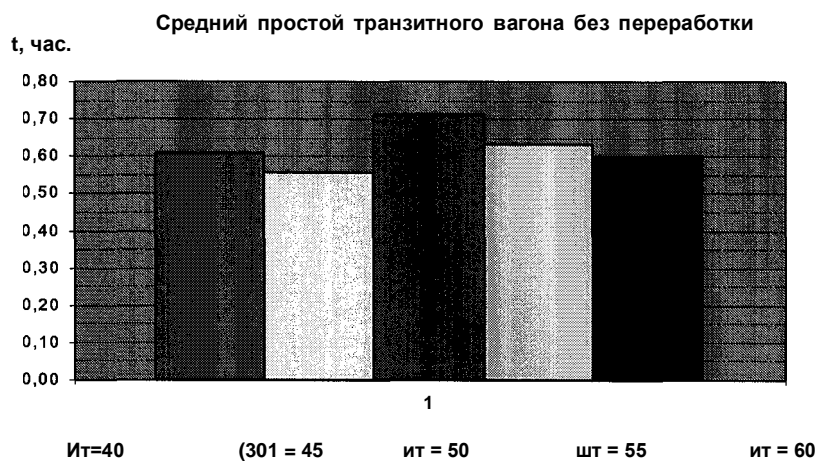


Рис. Д.2 - Средний простой транзитного вагона без переработки (Стр.б/п).

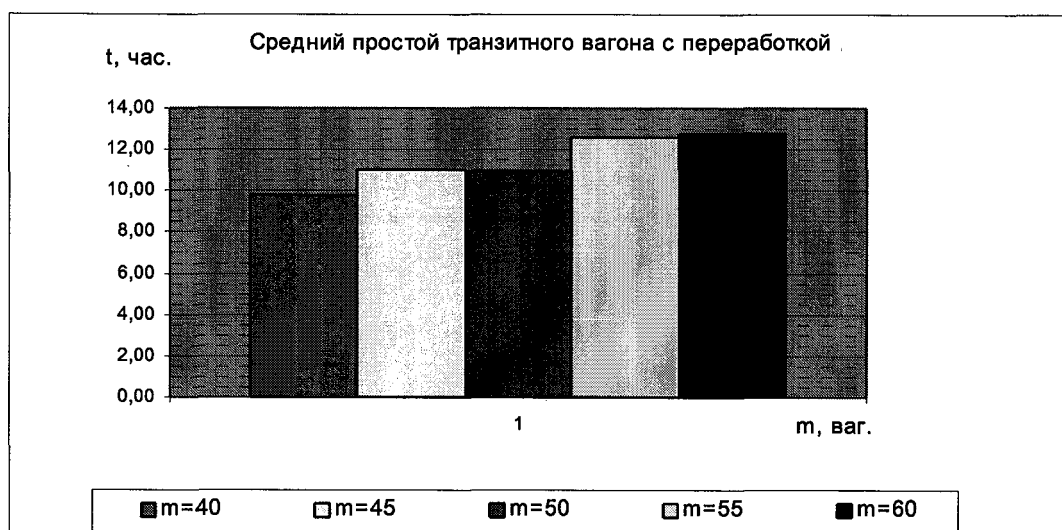


Рис. Д.3 - Средний простой транзитного вагона с переработкой (Стр.с/п).

Приложение Е

Оптимизация параметров функционирования сортировочной станции и
прилегающих участков

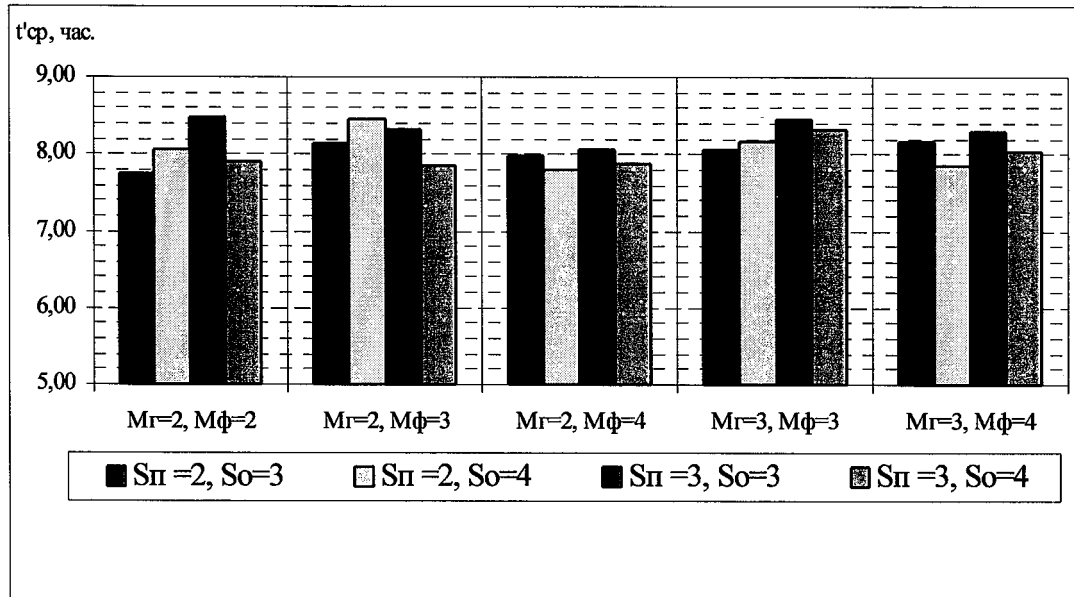


Рис. Е. 1 - Средневзвешенный простой вагона на технической станции
при $m = 50$ вагонов.

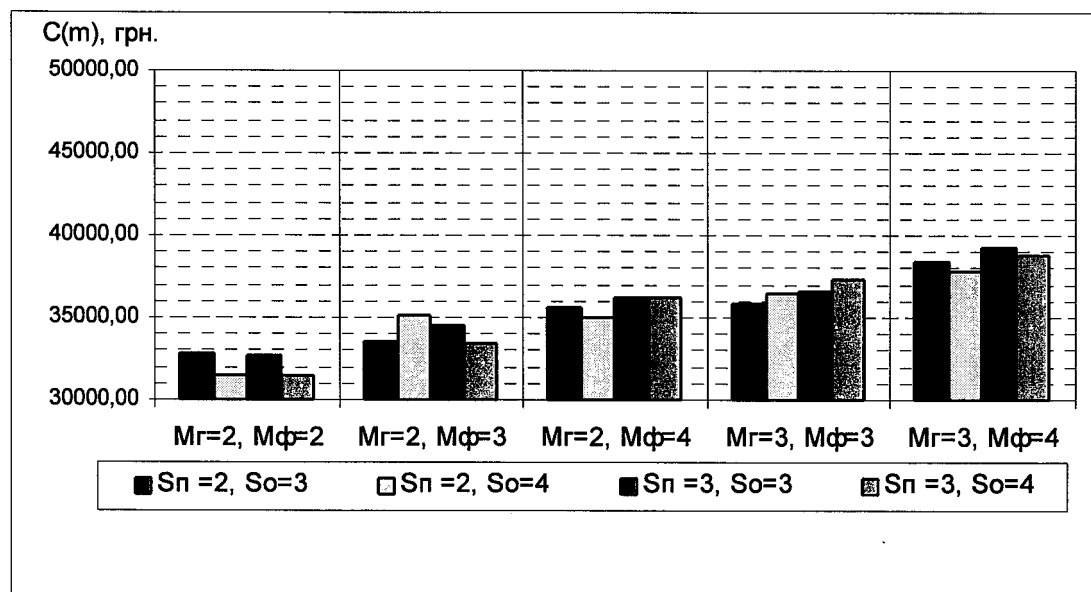


Рис. Е.2 - Значение целевой функции $C(ш)$ при $m = 50$ вагонов.

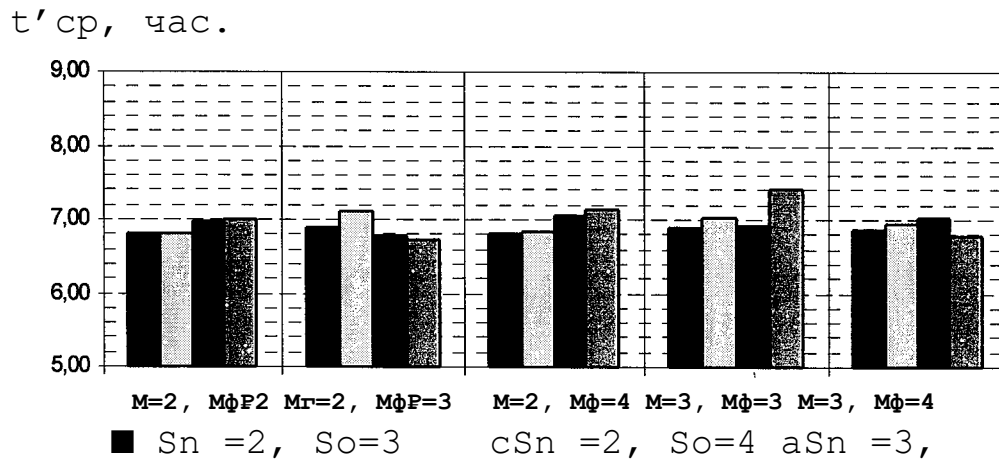


Рис. Е.3 - Средневзвешенный простой вагона на технической станции
при $m = 40$ вагонов.

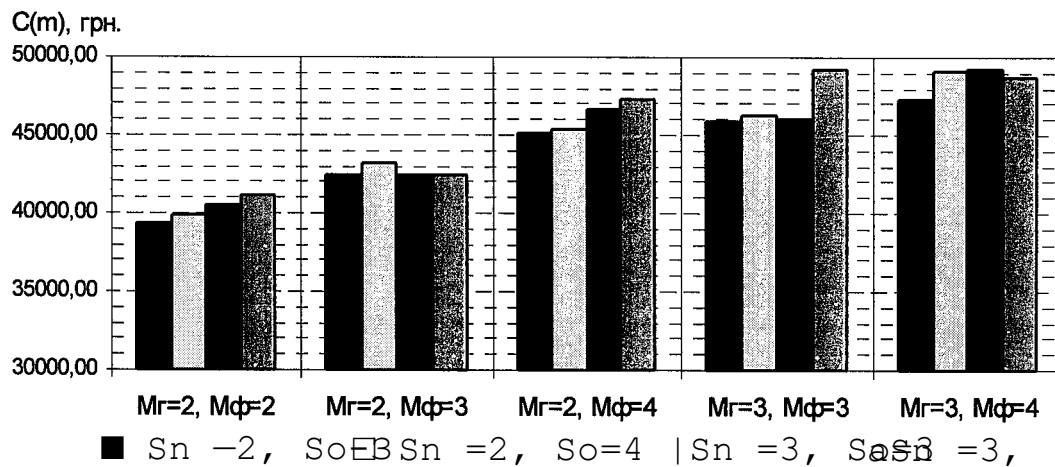


Рис. Е.4 - Значение целевой функции $C(m)$ при $m = 40$ вагонов.

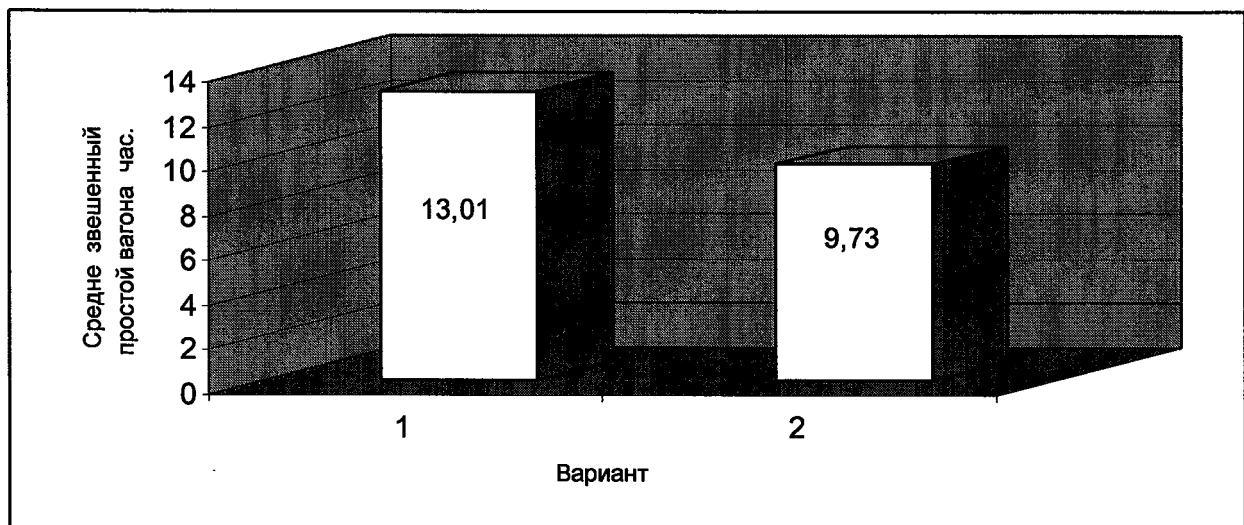


Рис. Е.5 - Средневзвешенный простой грузового вагона на сортировочной станции О-С

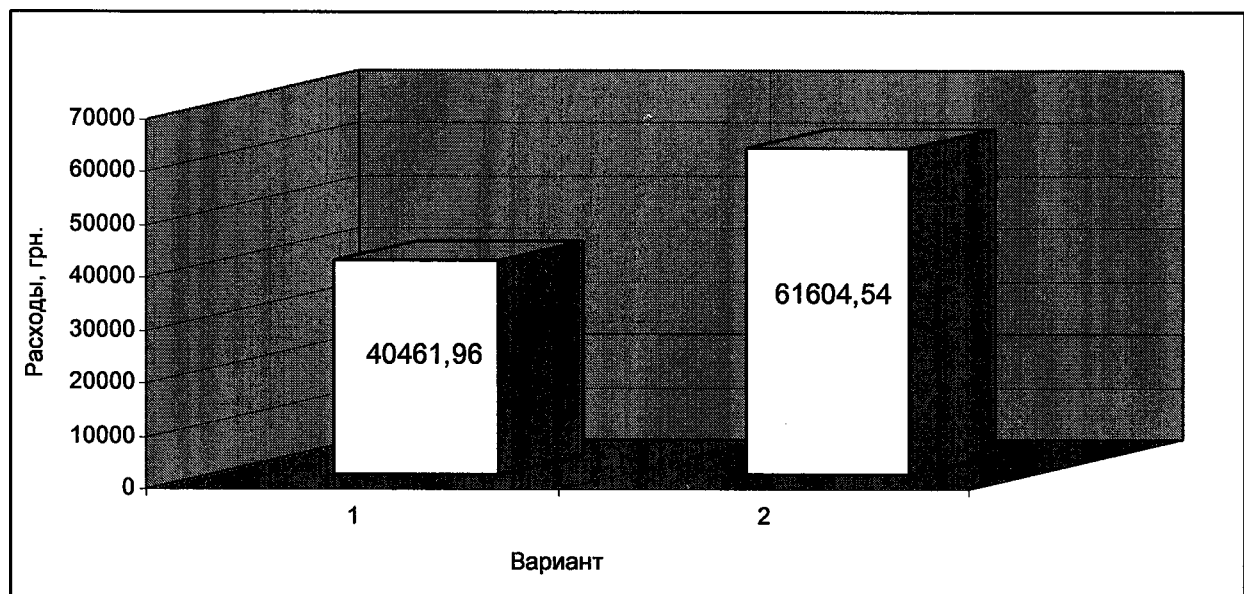


Рис. Е.2 - Значение целевой функции $C(t)$ для сортировочной станции О-С

Приложение Ж
Структурно-логические схемы технологических линий
транспортного комплекса
«Сортировочная станция - прилегающие участки»

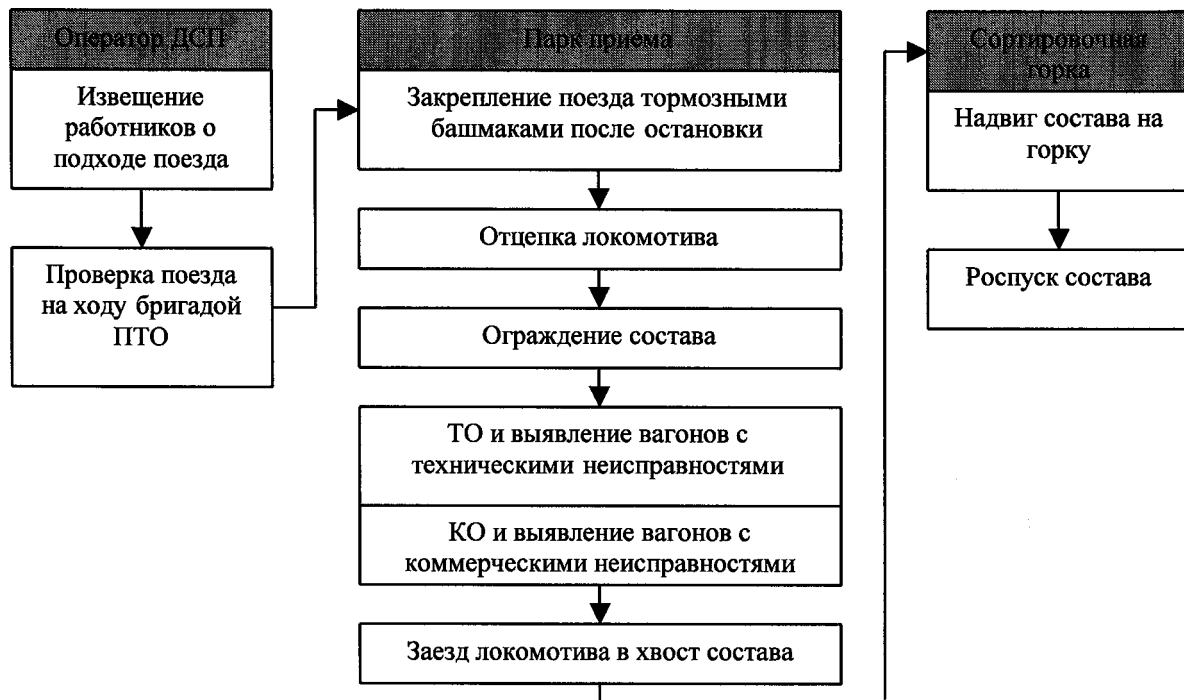


Рис. Ж.1 - Структурно-логическая схема технологической линии обработки вагонов в поездах, поступивших в расформирование

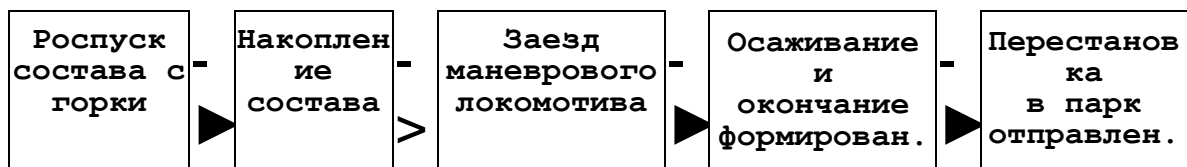


Рис. Ж.2 - Структурно-логическая схема системы расформирования-формирования поездов.

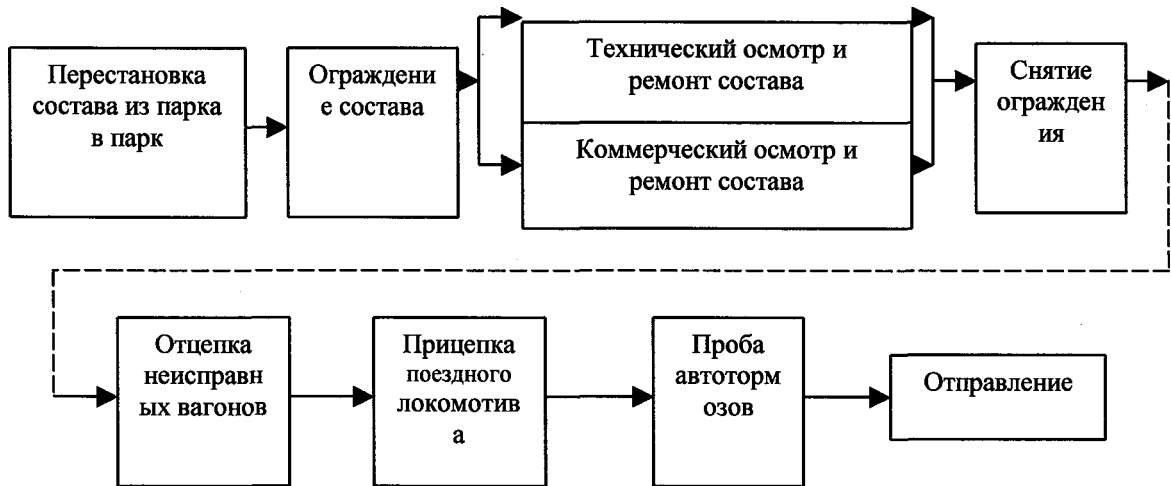


Рис. Ж.3 - Структурно-логическая схема линии обработки вагонов в поездах своего формирования.

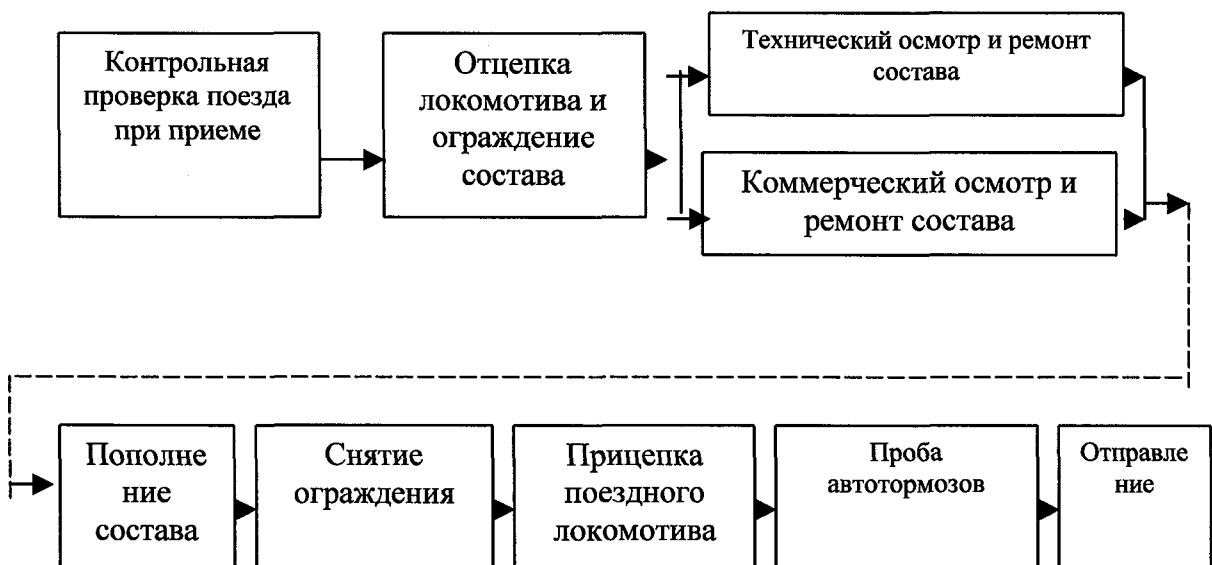


Рис. Ж.4 - Структурно-логическая схема линии обработки вагонов в транзитных поездах

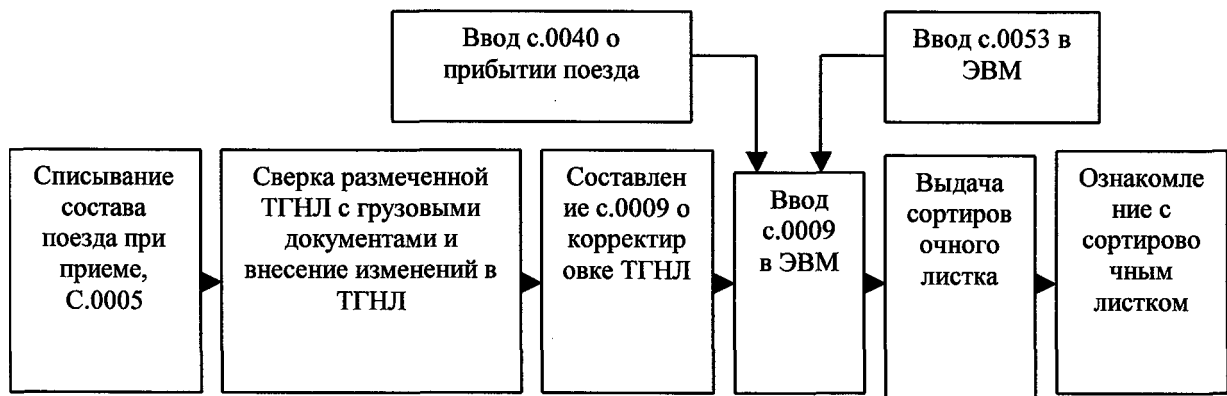


Рис. Ж.5 - Структурно-логическая схема технологической линии обработки информации о поездах, поступающих в расформирование.

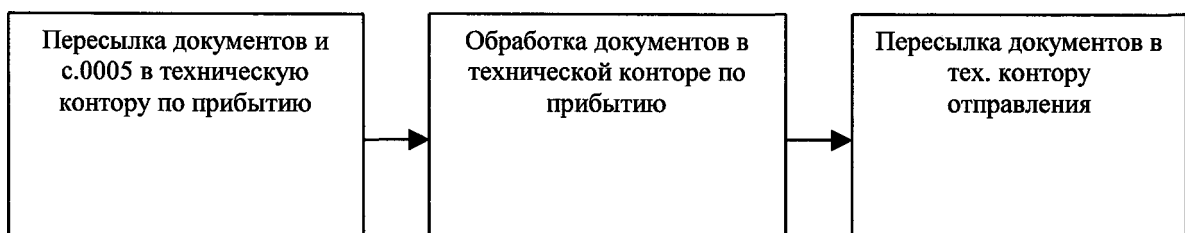


Рис. Ж.6 - Структурно-логическая схема линии обработки документов на поезда, поступившие в расформирование.

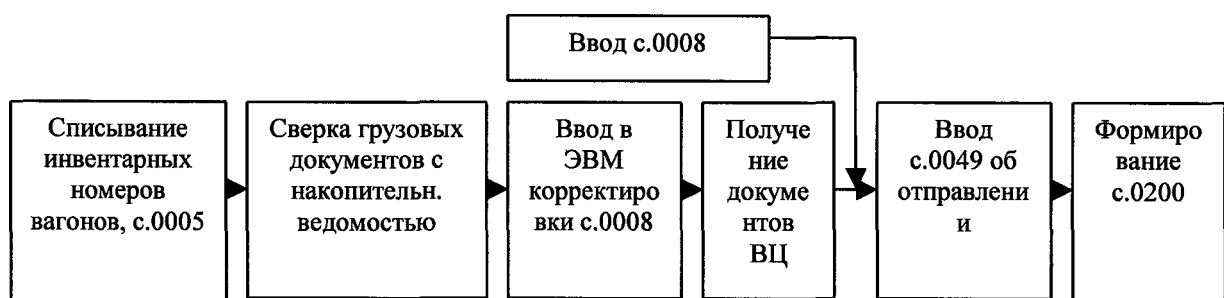


Рис. Ж.7 - Структурно-логическая схема линии обработки информации о поездах своего формирования.

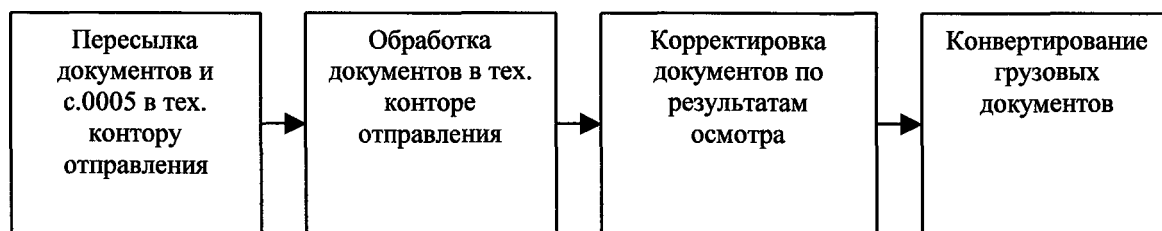


Рис. Ж.8 - Структурно-логическая схема линии обработки документов на поезда своего формирования

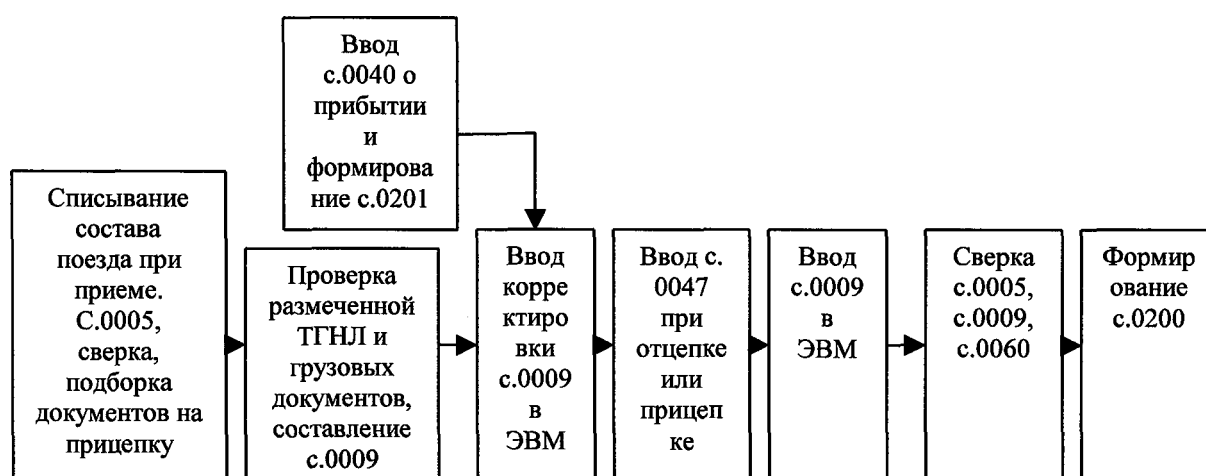


Рис. Ж.9 - Структурно-логическая схема линии обработки информации о транзитных поездах.

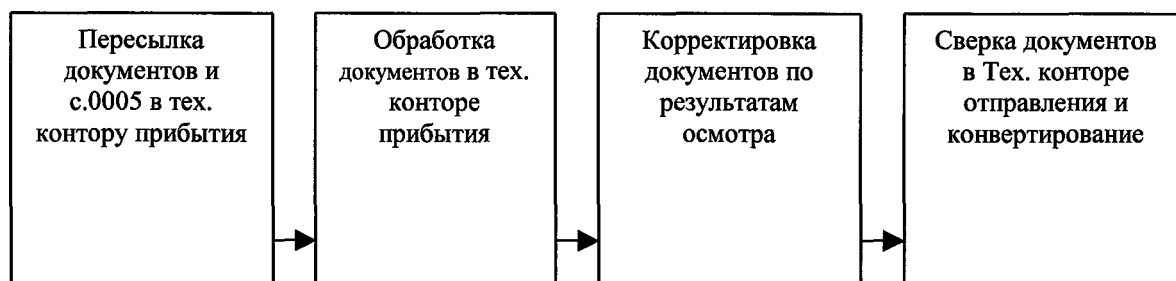


Рис. Ж. 10 - Структурно-логическая схема линии обработки документов на транзитные поезда.

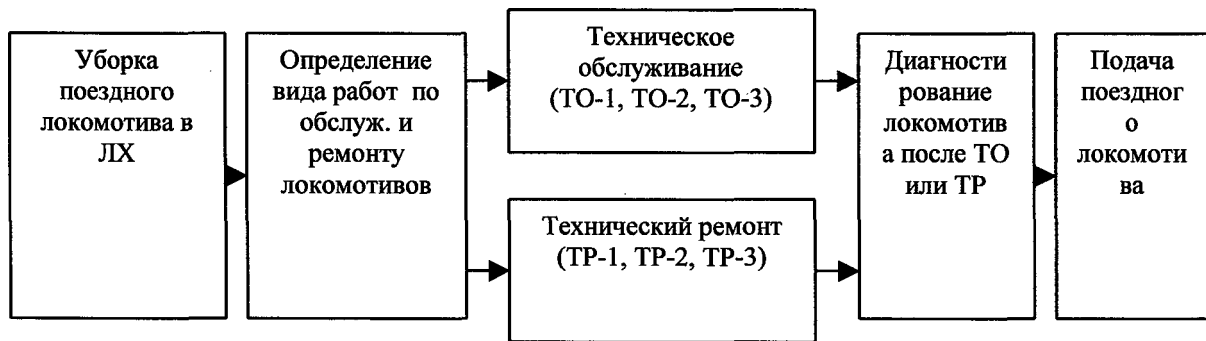


Рис. Ж. 11 - Структурно-логическая схема технологической линии обеспечения поездными локомотивами.

Приложение 3.

Материалы о внедрении результатов
диссертационной работы

ПРОТОКОЛ
технічної наради Одеської залізниці

28 березня 2000 року

м. Одеса

Присутні: усі начальники служб

Порядок денний

Розгляд дисертаційної роботи «Разработка модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки».

СЛУХАЛИ: доповідь інженера Альошинського Є.С.

ВИСТУПИЛИ: : Левицький І.Є., Бельченко А.Ф.,
Луханін М.І., Ткачев В.М.,
Веселовський Ю.А., Зайцев В.А.,
Шмаль В.Л., Іл'яшенко В.П.,
Квитко А.Є., Гончарук А.Д.,
Бойко Г.А., Сандалюк Ю.С.

Технічна нарада встановила, що в дисертаційній роботі розглядаються сучасні та актуальні на цей час питання пов'язані з розробками моделей уявлення виробничої ситуації в інформаційно-керуючій системі транспортного комплексу «Сортувальна станція - прилеглі ділянки». Розроблена нова логістична система керування транспортним комплексом «Сортувальна станція - прилеглі ділянки», яка дозволяє оптимізувати параметри технологічних ліній переробки вагонів, інформації, оброки провізних документів та забезпечення поїзними локомотивами.

Практичну цінність в дисертаційній роботі представляють моделі, розроблені за теорією мереж Петрі, які надають можливість моделювання поїзної роботи у рамках систем АСКСС (автоматизована система керування сортувальної станції) та АСКЗТ (автоматизована система керування залізничним транспортом) по оперативному розрахованим нормам на кожен об'єкт керування. Ці моделі разом із розробленим програмним комплексом дозволяють визначати раціональні показники параметрів цільової функції, основна мета якої досягнення мінімального терміну доставки при мінімальних експлуатаційних витратах.

Заслухавши та обговоривши доповідь про підвищення ефективності функціонування транспортного комплексу «Сортувальна станція - прилеглі ділянки» технічна нарада

ПОСТАНОВЛЯЄ:

1. Рекомендувати спеціалізованій Раді Харківської державної академії залізничного транспорту прийняти до захисту дисертаційну роботу Альошинського Є.С. «Разработка модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки», яку представлено на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук.
2. Технологічні, економіко-математичні рішення, моделі та графікові залежності запропоновані інженером Альошинським Є.С., використати при корегуванні технологічного процесу станції Одеса-Сортувальна і при вирішенні питань технічного переоснащення станції.

Головний інженер* Аз
Одеської залізниці;

її о..



А

М.І. Луханін



ДНО:
I.

ПРОТОКОЛ

Научно-технического совета станции Одесса-Сортировочная,
Одесской железной дороги
25 сентября 2000 года.

ПОВЕСТКА ДНЯ

**Совершенствование технологии и технического оснащения
транспортного комплекса «Сортировочная станция -
прилегающие участки»**

Присутствовали: Капшай А.Н., Шмаль В.Л.,
Добронос Ф.Н., Яшков А.Б.,
Боган А.Л., Чумаченко А.В.,
Алёшинский Е.С.

Слушали:

Доклад инженера АЛЁШИНСКОГО Е.С. о выполненной диссертационной работе "Разработка модели представления производственной ситуации в информационно-управляющей системе транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", основными результатами которой являются:

модели функционирования технологических линий сортировочных станций и прилегающих участков, разработанные согласно теории сетей Петри, которые предоставляют возможность моделирования поездной работы в рамках систем АСУСС и АСУЖТ по оперативно рассчитанным нормам на каждый объект управления. Предлагаемые модели получены впервые;

разработка новой логистической системы управления транспортным комплексом "Сортировочная станция - прилегающие участки", позволяющей оптимизировать параметры технологических линий обработки вагонов, информации, перевозочных документов и обеспечения поездными локомотивами;

формализация исходных предпосылок, которые следует учитывать при нахождении оптимальных решений для достижения минимального срока доставки при минимальных эксплуатационных затратах;

выбор целевой функции нахождения оптимального решения задачи повышения эффективности функционирования транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки", отличающегося от ранее предлагаемых критериев при решении аналогичных проблем.

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАДМІНІСТРАЦІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
"УКРЗАЛІЗНИЦЯ"
ОДЕСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ

СПРАВКА

КОПІЯ

65023, м. Одеса,
вул. Пантелеймофіївська
-----■-----
і результатів дисертаційної роботи "Разработка модели
ситуации в информационно-управляющей
системе транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие
участки» на соискание ученой степени кандидата технических наук инженера
Алешинского Е.С.

Дисертаційна робота інженера Алешинского Е.С. в області
совершенствования технологии работы и технического оснащения
транспортного комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки»
была практически использована при корректировке технологического
процесса работы станции Одесса-Сортировочная Одесской железной дороги

Главный инженер
Одесской железной дороги



Н.И. Луханин.

С подлинным верна



УКРАЇНА
Міністерство транспорту України
Харківська державна академія
залізничного транспорту
перевідження та підвищення
кваліфікації кадрів

КОПИЯ

Адреса: 61000, місто Харків,
: Іл. Фейєрбаха, 7
■» а« 199,,р

СПРАВКА

академії залізничного транспорту.



Handwritten signature

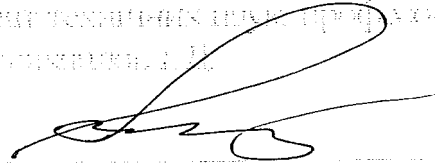


подлинным верно:

Handwritten signature
Юний канцелярією
У ПАЗТ

КОПИЯ

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ
УКРАЇНИ



С подлинным верно:



Канцелярією
ДАСТ

