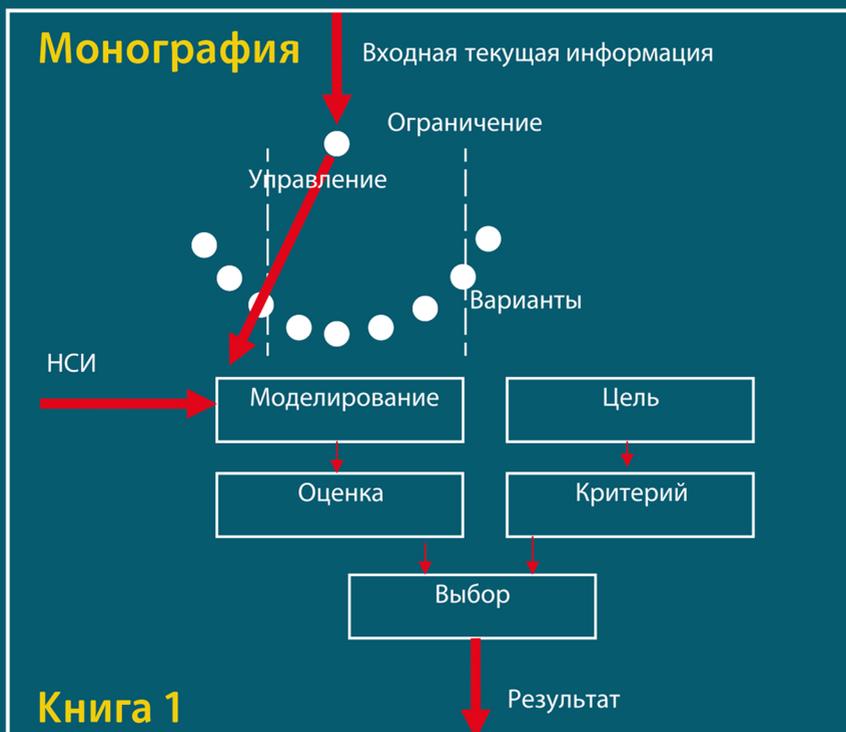


А. С. Гершвальд, Г. М. Биленко, А. В. Еловигов,
И. М. Басыров

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

19 СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ ЗАДАЧ



**А. С. Гершвальд, Г. М. Биленко,
А. В. Еловиков, И. М. Басыров**

**ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССАМИ
на железнодорожном транспорте**

*Книга 1
19 системообразующих задач*

Монография

*Под редакцией доктора технических наук,
доцента А. С. Гершвальда*



**Москва
Берлин
2018**

УДК 004/ 656/2

ББК 39.28

Г42

Рецензенты:

Орлов А. М. – кандидат технических наук, доцент (РОАТ);
Савицкий А. В. – кандидат технических наук (ОАО «НИИАС»)

Гершвальд, А. С.

Г42 Введение в теорию управления процессами на железнодорожном транспорте. Книга 1. 19 системообразующих задач : монография / А. С. Гершвальд, Г. М. Биленко, А. В. Еловиков, И. М. Басыров ; под ред. А. С. Гершвальда. – М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 118 с.

ISBN 978-5-4475-9567-8

Монография состоит из трех частей. В первой части изложены известные основы проектирования компьютерных задач, предназначенных для оптимизации дискретных процессов. Рассмотрены некоторые методы их решения.

Во второй части рассмотрены четыре типа объектов управления. Предложены формализованные описания основополагающих характеристик этих объектов, которые могут быть использованы при формулировании постановок задач.

Третья часть посвящена одному из четырех типов объектов – перевозочному процессу. Для этого объекта предложены формализованные постановки 19 системообразующих задач оптимального управления подпроцессами – грузовой, пассажирской, поездной и маневровой работы.

Монография предназначена для использования в работе аспирантов, соискателей учёной степени, проектировщиков и научных работников. Также может быть использована в учебном процессе.

УДК 004/ 656/2

ББК 39.28

ISBN 978-5-4475-9567-8

© Коллектив авторов, текст, текст, 2018

© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ	7
1.1. Классификация объектов управления	7
1.2. Постановка оптимизирующей задачи.....	8
1.2.1. Цель управления	8
1.2.2. Критерий оптимальности.....	10
1.2.3. Управляющие воздействия	11
1.2.4. Ограничения на управление	13
1.2.5. Входная текущая информация	14
1.2.6. Нормативно-справочная информация	17
1.2.7. Выходная информация.....	18
1.3. Декомпозиция постановки задачи.....	19
1.4. Точные методы решения.....	19
1.5. Эвристические методы.....	21
1.6. Метод гармонизации	23
2. ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ	25
2.1. Объекты, поддерживающие перевозочный процесс... ..	25
2.2. Перевозочный процесс	26
2.3. Компании операторов вагонных парков	27
2.4. Холдинг	27
2.5. Договорные процессы	28
2.5.1. Субъекты договора на перевозку	28
2.5.2. Заявки на перевозки грузов	30
3. УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ	32
3.1. Управление грузовой работой.....	32
3.1.1. Укрупнение малых компаний операторов вагонных парков (<i>1. umk</i>).....	32
3.1.2. Составление плана формирования грузовых поездов. (<i>2. spf</i>).....	35
3.1.3. Составление технического плана грузовой работы подразделения (<i>3. stpg</i>).....	40
3.1.4. Составление сменно-суточного плана (<i>4. sspg</i>).....	42

3.1.5. Привязка вагонов к заявкам на погрузку (5. <i>pvz</i>).....	46
3.1.6. Распределение порожних вагонов между станциями погрузки (6. <i>rpvp</i>).....	47
3.1.7. Распределение порожних вагонов между станциями отстоя (7. <i>rpvo</i>).....	55
3.2. Управление пассажирской работой	57
3.2.1. Распределение транзитных пассажиропотоков по сети дорог и по полигону (8. <i>rtp</i>).....	57
3.2.2. Выбор массы, скорости и композиции составов (9. <i>vmsk</i>).....	61
3.3. Управление поездной работой.....	65
3.3.1. Выбор границ между участками работы поездных диспетчеров (10. <i>vgu</i>).....	65
3.3.2. Составление графика движения грузовых поездов (11. <i>sgdg</i>).....	70
3.3.3. Составление технического плана поездной работы подразделения (12. <i>stpp</i>).....	72
3.3.4. Составление сменно-суточного плана (13. <i>sspp</i>).....	73
3.3.5. Привязка локомотивов к ниткам графика движения поездов (15. <i>pln</i>).....	77
3.3.6. Планирование организации и продвижения поездопотоков (16. <i>popp</i>).....	80
3.3.7. Распределение групп вагонов по неполносоставным поездом (17. <i>rvp</i>).....	85
3.3.8. Планирование обработки транзитных поездов (18. <i>potp</i>).....	88
3.4. Управление маневровой работой	92
3.4.1. Выбор очередности расформирования составов на горке (19. <i>vors</i>).....	92
3.4.2. Распределение работы между маневровыми локомотивами (20. <i>rml</i>).....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	115

ВВЕДЕНИЕ

Управление – это осознанный выбор при наличии нескольких вариантов решения. Управлять можно процессом или состоянием управляемого объекта на стадии его организации или функционирования после завершения организации. Поэтому различают два вида управления – организационное (для организуемых объектов) и технологическое (для объектов функционирующих). В настоящей работе рассматриваются такие функции управления, которые входят в состав функций планирования, являясь их составной частью*.

Информационные технологии вообще должны наряду с другими функциями реализовывать и функции планирования. Причём эти функции не обязательно должны быть автоматизированы. Но для них должна готовиться информация. В настоящей работе рассматриваются только те функции, которые могут быть реализованы средствами вычислительной техники.

До 1991 года в СССР функции автоматизированного управления были реализованы главным образом на стадии организации процессов. С их помощью рассчитывались нормы, которые использовались потом при функционировании процессов. В 2000-е годы были разработаны задачи управления по отклонениям [1], целью которых было выявление отклонений процессов от нормы и возвращение к нормативным параметрам. Вместе с тем появились отдельные разработки, посвящённые оптимальному управлению.

В последние десятилетия были разработаны новые производственные и информационные технологии. К сожалению,

* В литературе по автоматике и телемеханике традиционно используется термин «Телеуправление стрелками и сигналами». Однако функция «Телеуправление» как такового управления не осуществляет, поскольку выбор варианта осуществляет не техника, а человек, сидящий за пультом (клавиатурой), а техника только исполняет сделанный выбор. Термин зародился еще в 60-е годы XX века, когда в СССР кибернетика считалась лженаукой и была под запретом.

они не коснулись новых методов управления. И дело здесь в том, что в действующих процессах очень трудно выделить сферы применения оптимизационных задач. Для этого требуется достаточно высокая квалификация и опыт разработчиков.

Бытует такое мнение, что автоматизация управления заключается в переложении функций персонала на вычислительную технику. Одним из направлений такого мышления является применение экспертных систем, в которых закладывается передовой производственный опыт. Еще одно направление – это метод так называемого ситуационного управления. Он предусматривает составление таблицы, в которой в строках перечисляются заданные ситуации, а в столбцах нормативные решения. На пересечении строки и столбца может ставиться символ, указывающий на то, какое нормативное решение следует принимать в каждой конкретной ситуации.

Эти методы не достаточно эффективны, т. к. не предоставляют требуемой гибкости и полноты анализа. Поэтому в настоящей работе они не рассматриваются.

Системный подход к автоматизации управления предусматривает возможность постановки и решения новых задач, которые в неавтоматизированной системе не решаются. Для этого проводится параметризация неуправляемых объектов, после чего они становятся управляемыми.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы показать сформулированные к настоящему времени оптимизационные задачи и дать их первичные постановки для дальнейшей алгоритмизации.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

1.1. Классификация объектов управления

В современных условиях рыночной экономики России железнодорожный транспорт представляет собой весьма сложный объект, для управления которым требуется чёткое структурирование понятий.

Согласно федеральному закону о железнодорожном транспорте, в Российской Федерации [2] следует выделять две сферы его деятельности: общего пользования (магистральный транспорт) и необщего (промышленный транспорт). Эти сферы различаются целями управления при сохранении единой природы технических средств и их функционирования.

Для исследования возможности управления процессами железнодорожного транспорта можно провести их анализ по следующей схеме (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1. Схема анализа процесса

Железнодорожный транспорт представляет собой объект, состоящий из множества систем, обеспечивающих выполнение множества процессов. Основным является перевозочный процесс, который обеспечивается такими системами, как инфраструктура и подвижной состав. Эти обеспечивающие системы функционируют благодаря тому, что сами поддерживаются процессами их текущего содержания и ремонта.

Таким образом, объектами управления являются:

- перевозочный процесс;
- процессы текущего содержания и ремонта объектов инфраструктуры и подвижного состава.

1.2. Постановка оптимизирующей задачи

1.2.1. Цель управления

Основным производственным процессом на железнодорожном транспорте является перевозочный процесс. Поэтому оценка эффективности работы железнодорожного транспорта должна базироваться на оценке эффективности перевозочного процесса.

Перевозочный процесс является процессом обслуживания нужд государственных органов (A), предприятий экономики (B) и граждан (C). При обслуживании государственных органов необходимо преследовать государственные цели (C^g), при обслуживании предприятий – коммерческие цели (C^k), при обслуживании граждан – и государственные, и коммерческие цели (C^g, C^k).

В соответствии с теорией систем [3], в каждой системе должна быть только одна цель. Если же целей много, то между ними должна быть установлена иерархия. Чтобы устанавливать такую иерархию, необходимо принимать политические решения. При этом возможны два варианта:

$$C^g > C^k \quad (1.1)$$

$$C^k > C^g . \quad (1.2)$$

Государственную цель управления можно сформулировать как минимизацию отклонений от договорных условий:

$$C^c \rightarrow \min \Delta Y. \quad (1.3)$$

Эта цель применима при выполнении государственного заказа, например министерства обороны, чрезвычайных ситуаций, внутренних дел и пр.

Коммерческая цель заключается в максимизации прибыли предприятий:

$$C^k \rightarrow \max \Pi. \quad (1.4)$$

ОАО «РЖД» представляет собой государственную компанию, и на неё возложены также функции государственного регулирования в целях развития экономики страны. В связи с этим у этой компании есть государственная цель снижения доли транспортной составляющей в цене произведённой продукции промышленности и сельского хозяйства [4].

Как известно, размер прибыли вычисляется по формуле:

$$\Pi = D - P, \quad (1.5)$$

где D – размер дохода;
 P – размер расходов.

Управление в коммерческих целях заключается в снижении расходов:

$$C^k \rightarrow \min P \quad (1.6)$$

и увеличении доходов:

$$C^k \rightarrow \max D. \quad (1.7)$$

Но при увеличении доходов расходы также могут возрастать, а при снижении расходов доходы могут падать. При этом следует учесть, что снижение расходов работает не только на коммерческую, но и на государственную цель – снижение транспортной составляющей в цене продукции.

Выполнение перевозочного процесса является основной деятельностью не только ОАО «РЖД», но и других перевозочных компаний и предприятий промышленного транспорта. Поэтому цели управления перевозочным процессом являются конечными целями, а другие цели – подчиненными этим целям и входят в состав соответствующего дерева целей.

Наличие конкурентной среды приводит к тому, что каждый конкурент преследует те же цели. При этом, если одни конкуренты выигрывают, то другие – проигрывают. Примером такой среды является сфера деятельности операторов вагонных парков. Чтобы выиграть в конкуренции, операторы снижают расходы на перевозки

Вторым примером является сфера использования путей отстоя порожних вагонов. Собственники вагонов оплачивают собственникам путей длительность отстоя своих вагонов. Это побуждает их к сокращению вагонного парка и к поиску работодателей и арендаторов для своих вагонов.

1.2.2. Критерий оптимальности

Цель управления представляет собой популярную идею, хорошо понятную заказчику информационных технологий. Но она не может быть формально описана и запрограммирована. Поэтому прибегают к подбору критерия, представляющему собой оценку степени достижения поставленной цели. К описанию критерия предъявляются следующие требования:

- числовое выражение;
- зависимость от целевого качества оцениваемого варианта некоторой модели;
- вычисляемость по программируемой формуле;
- доступность для сравнения по вариантам.

Один критерий обслуживает одну цель (1.8) и может быть простым (1.9) и составным (1.10). Если показатели критерия влияют друг на друга (1.11), то критерий считается неаддитивным и может иметь весовые коэффициенты (1.12) или иерархию (1.13).

$$K_i = f_x(C_a); \quad (1.8)$$

$$K_i = f_y(A_e); \quad (1.9)$$

$$K_z = f_z(A_c + B_e), \quad (1.10)$$

где: A, B – натуральные показатели процесса;

$$A_c = f_z(B_e) \text{ или } B_e = f_p(A_c); \quad (1.11)$$

$$K_k = f_z(A_c \cdot S_c + B_e \cdot S_e), \quad (1.12)$$

где S – весовой коэффициент;

$$K_k = f_z(A_c > A_e) \text{ или } K_k = f_y(A_e > A_c). \quad (1.13)$$

1.2.3. Управляющие воздействия

Транспортные процессы бывают непрерывными и дискретными. Процессы управления ими также могут быть непрерывным или дискретным – в зависимости от характера входной информации задач. При аналоговой информации управление, как правило, непрерывно, при цифровой – дискретно. Имеет также значение форма представления информации. Чаще всего она представляется в виде цифровых кодов или символов. Такую информацию удобнее всего представлять в виде таблиц, для обработки которых лучше всего подходит метод дискретного программирования.

Процессы управления подразделяются на два вида: поиск оптимального значения искомой величины критерия (оптимизация) и поиск значения из ограниченного диапазона (управление по ограничениям). Иногда в одной задаче совмещаются оба процесса: оптимизирующая задача решается с некоторыми ограничениями.

Поиск оптимального значения дискретной величины при описании входной информации в терминах теории множеств возможен только путем перебора вариантов модели, которая

используется в качестве входной текущей информации. В этом случае задача может быть решена методом комбинаторного программирования.

Операция перехода от одного варианта модели к другому выступает в качестве управляющего воздействия. Для реализации управляющих воздействий необходимо, чтобы модель имела множество однородных вариантов, отличающихся значениями одного или нескольких регулируемых параметров.

Для организации цикла перебора вариантов (1.14) используется метод комбинаторного анализа, который заключается в следующем. Составляется таблица номеров вариантов, и по ней определяется общее количество вариантов (K^{gap}). Составляется описание каждого (i -го) варианта. Организуется обработка каждого варианта по единому алгоритму. После обработки каждого варианта модели отсчитывается число обработанных вариантов (1.15) и это число сравнивается с количеством вариантов модели (1.16). Как только наступает равенство, так обработка прекращается.

$$1 \rightarrow i \rightarrow K^{gap} \quad (1.14)$$

$$(i = i + 1) \quad (1.15)$$

$$(i = i + 1) \leq (K^{gap}) \quad (1.16)$$

Отсчёт вариантов можно вести до начала обработки текущего варианта. Описание каждого варианта можно осуществлять в процессе работы рассматриваемого алгоритма.

Для обеспечения результативности алгоритма [5] необходимо при его разработке оценивать допустимое и ожидаемое время реакции задачи.

Для задач, решаемых в масштабе реального времени, допустимым временем следует считать 1 минуту, т. к. это время определяет точность графика движения поездов. Ожидаемое время зависит от длительности обработки информации по одному варианту и числа обрабатываемых вариантов.

Длительность можно определять в ходе экспериментального решения задачи или путем подсчёта числа команд с нормативной длительностью исполнения. Число вариантов можно определять по формулам комбинаторного анализа. Так, например, при переборе вариантов очередности некоторых элементов применяется формула вычисления количества математических перестановок (1.17):

$$K^{var} = K^{эо}! \quad (1.17)$$

где $K^{эо}$ – количество элементов очереди.

Прямой перебор вариантов может занять недопустимо много времени. В связи с этим следует стремиться к минимизации числа обрабатываемых вариантов одним из двух методов:

- применение направленного отбора;
- разбиение множества планируемых объектов на группы (подмножества) с последовательным планированием групп;

Направленный отбор вариантов осуществляется следующими способами:

- упорядочение очереди заявок на обработку по некоторому признаку с последующим отсечением заведомо неприемлемых заявок;
- применение так называемого метода «ветвей и границ».

При разбиении множества следует устанавливать приоритеты по некоторым признакам, позволяющим заведомо установить очередность групп без потери оптимальности.

1.2.4. Ограничения на управление

По техническим или технологическим условиям отдельные значения регулируемых параметров модели могут быть запрещены, а, следовательно, и исключены из полного набора значений. Для этого используется понятие ограничения, накладываемого на управление (1.18–1.20).

$$i < N \quad (1.18)$$

$$i > M \quad (1.19)$$

$$i = P \quad (1.20)$$

Ограничения могут использоваться при логическом отсеивании заведомо неприемлемых вариантов с целью снижения размерности задачи.

Ограничения могут также накладываться на логические зависимости, не связанные с перебором как вариантов, так и с числовыми значениям вообще.

1.2.5. Входная текущая информация

Транспортные процессы протекают в пространстве и во времени. Информация об этих процессах должна содержать данные о событиях, привязанных к местам и моментам их свершения. Таким образом, эта информация характеризуется как текущая. Это утверждение относится не только к первичной информации, но и к информации, обеспечивающей решение задач планирования, прогнозирования и т. д. и решаемых не только в масштабе реального времени, но и периодически с разной дискретностью.

Источниками информации являются:

- эксплуатационный персонал;
- обслуживающий персонал;
- клиенты;
- автоматические датчики.

Введённая информация размещается в компьютерных базах данных в виде одномерного и многомерных массивов. Структуры массивов описываются в терминах теории множеств: одномерный массив (1.21, рисунок 1.1), двумерный массив (1.22, рисунок 1.2), трехмерный массив (1.23, рисунок 1.3).

$$MSPP = (TP, NP, STF, PNS, STN, NPER, NMS, KOS), \quad (1.21)$$

где: *MSPP* – массив сообщения о прибытии поезда на станцию;

TP – момент прибытия поезда;

NP – номер поезда

STF – код станции формирования поезда;

PNS – порядковый номер состава;

STN – код станции назначения

NPER – код перегона, с которого прибыл поезд

NMS – код номера места стоянки (пути);

KOS – количество осей в поезде.

Момент приб.	Номер поезда	Станция форм.	Номер состава	Станция назн.	Перегон	Путь приб.	Кол-во осей
10–40	2442	88148	11	89002	2Ч	21	220

Рисунок 1.1. Содержание массива сообщения о прибытии поезда на станцию (пример)

$$MTSPP = \{NMS, LMS, \dots, KOL2\} [kmspp], \quad (1.22)$$

где: *MTSPP* – структура массива текущего состояния парка прибытия;

LMS – длина (в вагонах) места стоянки;

KOL2 – код ориентации второго локомотива;

kmspp – количество мест стоянки в парке прибытия

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПАРКА ПРИБЫТИЯ (ТСПП)													
Номер пути	Длина пути (вагонов)	Номер поезда	Длина поезда	Индекс поезда			Время готовности к распуску	Время маневрирования	Прибытие «хвоста»	Локомотив 1		Локомотив 2	
				1	2	3				Номер	Код ориент.	Номер	Код ориент.
13	68	1281	67	93004	010	89002	11–30			5432	Н		
15	63	2505	70	88910	006	89910							
...													
19	73												

Рисунок 1.2. Содержание массива текущего состояния парка прибытия (пример)

$$1MXGN = \{NP, STF, PNS, STN \{NPF, L, VP, \{NG, KGV\}[kgr], \\ \{TV, KPV\}[ktvp]\}[kgh]\}[kpmxo], \quad (1.23)$$

где: *NPF* – код назначения по плану формирования;

L – длина поезда в вагонах;

VP – вид перевозок;

NG – код груза;

KGV – количество гружёных вагонов данного вида груза;

kgr – количество видов груза;

TV – тип порожних вагонов;

KPV – количество порожних вагонов данного типа;

ktvp – количество типов вагона;

kgh – количество назначений плана формирования в поезде;

kpmxo – количество поездов в массиве *MHGN*.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУПП ВАГОНОВ ПО НАЗНАЧЕНИЯМ (ХГН)							
Номер поезда	Индекс поезда			Нормативное назначение	Вес	Длина	Грузополучатель
	1	2	3				
1281	93004	010	89002	89097	0,5	10	
				88016	0,5	10	
				85007	1	20	
				89213	1	20	
				89004	0,5	7	
3601	88910	003	89002	88002	2	30	
				89018	1	20	
				89199	0,4	10	
				89097	0,3	5	
				88016	0,3	5	
...							
5082	88910	003	89002	88016	1,5	30	
				89199	1	20	
				89419	1	10	
				87045	0,5	10	

Рисунок 1.3. Содержание массива характеристик групп вагонов по назначениям (пример)

1.2.6. Нормативно-справочная информация

В ходе решения некоторых задач необходимо учитывать постоянную информацию, описывающую транспортный процесс или поддерживающие его системы. Для этого организуются массивы нормативно-справочной информации, которые также могут быть одномерными (1.24, рисунок 1.4) и многомерными (1.25, рисунок 1.5).

$$MPASP = (k_{gg}, k_{gvz}, \dots, k_{iz}), \quad (1.24)$$

где $MPASP$ – структура массива паспорта парка станции;

k_{gg} – количество видов груза в данном назначении;

k_{gvz} – количество назначений грузовых вагонов по данной заявке;

k_{iz} – количество исходных заявок на детализацию маршрутов, куда помещается долговременная информация.

ПАСПОРТ ПАРКА СТАНЦИИ (ПАСП)			
Массивы	Реквизиты		Числовое значение
	Имя	Название	
$MTP-PN$	k_{tp}	Транзитных поездов в плане	2
$MTP-ON$	k_{tp}	То же	2
...			
$MSSIG$	k_{pt}	Путей транзита	3
	k_{sig}	Промежуточных сигналов	4

Рисунок 1.4. Содержание массива паспорта парка станции (пример)

$$MVNL = \{ \{ NL \} [klo] \} [kl!], \quad (1.25)$$

где $MVNL$ – структура массива вариантов распределения работы между маневровыми локомотивами;

NL – номер маневрового локомотива;

klo – количество локомотивов;

$kl!$ – факториал числа локомотивов.

ВАРИАНТЫ НАЗНАЧЕНИЙ МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА ОПЕРАЦИИ (ВНЛ)				
Варианты	Локомотив 1	Локомотив 2	Локомотив 3	Локомотив 4
1	1	2	3	4
2	1	2	4	3
...				
24	4	3	2	1

Рисунок 1.5. Содержание массива вариантов назначений маневровых локомотивов на операции (пример)

1.2.7. Выходная информация

Результатом решения задачи является её выходная информация. Она выдается, как правило, на экран или печать пользователя, который должен:

- либо принять её, как задание и исполнить;
- либо утвердить и выдать как задание;
- либо принять к сведению.

Так, например, результат решения задач управления работой станции (УРС) выдается на экран ДСЦС для утверждения и передачи после этого на экран ДСЦ для исполнения [6]. Результат решения задач управления сортировочной работой (УСР) выдается на экран ДСЦ для утверждения и передачи после этого на экран ДСПЦ также для исполнения. Результат решения задач УПМР выдается на экран ДСПЦ для утверждения и передачи после этого на экраны ТЧД и операторов технического и коммерческого осмотра. Кроме того, ДСПЦ использует информацию для установки маршрутов с пульта ЭЦ и выдачи заданий машинистам локомотивов.

В сложных системах результат решения одной задачи выступает в качестве входной информации других задач. В этом случае пользователь получает результат, как промежуточную информацию для сведения. Формы представления и описания выходной и промежуточной информации такие же, как и приведённые выше для информации входной и нормативно-справочной.

1.3. Декомпозиция постановки задачи

Декомпозиция – это разложение сложной задачи на более простые составляющие в целях:

- упрощения алгоритма;
- организации поэтапной разработки;
- размещения в разных компьютерах

Декомпозиция возможна в том случае, когда каждая выделяемая часть задачи получит законченный вид. Так например, можно выделять задачи, в которых:

- оптимизацию предполагается вести по своему критерию оптимальности (1.10, 1.13);
- неоптимизирующие, с жёстко заданными приоритетами (последовательностями) решения.

1.4. Точные методы решения

Классификация экстремальных задач [7] приведена в табл. 1.1. Методы решения задач математического программирования перечислены в табл. 1.2. Методы с детерминированными воздействиями приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.1. Экстремальные задачи

Характеристика задачи	Класс задач
1. Математическая суть	1. Синтез
	2. Программное управление
2. Вид критерия оптимальности	1. Однокритериальные
	2. Многокритериальные
3. Вид управляющих воздействий	1. С детерминированными воздействиями
	2. Со статистическими воздействиями
4. Характер ограничений или характер процесса	1. Оптимального управления
	2. Для объектов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями

окончание таблицы 1.1

Характеристика задачи	Класс задач
	3. Для математических моделей, в виде интегро-дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных
	4. Математического программирования
	5. Непрерывного математического программирования
	6. Дискретного программирования

Таблица 1.2. Методы математического программирования

Метод	Вариант метода
1. Линейного программирования	1. Для основной задачи
	2. Для задачи большой размерности
	3. Для транспортной задачи
	4. Для обобщённой задачи в сетевой постановке
	5. Для целочисленной задачи
	6. Для целочисленной задачи с булевыми переменными
	7. Для распределительной задачи
2. Комбинаторного программирования	1. Для задач календарного планирования
	2. Для задач распределения заданий
3. Нелинейного программирования	Для задач с линейными ограничениями
4. Выпуклого программирования	
5. Динамического программирования	В решении учитывается фактор времени
6. Покоординатной оптимизации	
7. Градиентной оптимизации	
8. Множителей Лагранжа	

Таблица 1.3. Методы детерминированного воздействия

Признаки метода	Вариант метода
1. Направленность	1. Активного поиска
	2. Пассивные
2. Итеративность	1. Простые рекурсивные процедуры
	2. Комбинированные методы поиска
3. Линейность решения	1. Линейные
	2. Квадратичные
4. Сложность и точность решения	1. Нулевого порядка
	2. Первого порядка
	3. Второго порядка
5. Число шагов итераций	1. Многошаговые
	2. Одношаговые
6. Экстраполяция	1. Монотонные
	2. Немонотонные
	3. Релаксационные
	4. Нерелаксационные
7. Тип сходимости	1. Квадратичная скорость
	2. Сверхлинейная скорость
	3. Линейная скорость

1.5. Эвристические методы

Задачи управления процессами решаются на входной информации, в состав которой обязательно входит одна или несколько информационных моделей данного процесса. Метод решения зависит от вида используемой модели и формы её представления. Качество решения зависит от того, насколько модель адекватна объекту управления.

Математические модели наиболее точно отображают природные процессы, связанные, например, с силой земного тяготения, течением астрономического времени, давлением

пара в котле и т. п. Для решения задач на таких моделях в большинстве случаев пригодны точные методы решения.

Транспортные процессы не относятся к природным процессам поскольку:

- обеспечиваются и поддерживаются рукотворными техническими системами;

- эксплуатируются персоналом, который преследует определённые (не всегда предсказуемые) цели и вносит в процессы человеческий фактор.

Поэтому модели процессов и состояний транспортной системы носят эвристический характер и должны обрабатываться также эвристическими методами. Так, например, модель состояния поезда представлена в телеграмме натурном листе (ТГНЛ). Модель содержит служебную фразу и множество информационных фраз. В служебную фразу записывается информация о данном поезде, в информационную фразу – информация о каждом вагоне.

Для эвристических методов характерны:

- творческий характер разработки и применения;
- отсутствие гарантий получения точного результата;
- использование некоторых правил, заимствованных из повседневной жизни;
- копирование поведения людей.
- наглядность.

Для построения эвристического алгоритма управления процессом необходимо:

- провести обследование процесса деятельности персонала;
- составить фотографию рабочего дня (ФРД);
- выполнить критический анализ деятельности с позиций постановки задачи;
- провести параметризацию управляемого процесса;
- составить требования к разрабатываемому алгоритму.

Наиболее удачные алгоритмы получаются при сочетании эвристических и точных методов решения. Так например, для

многомерной задачи тело алгоритма может имитировать технологическую сущность, описанную эвристическим методом, а организация циклов – методом комбинаторного анализа.

1.6. Метод гармонизации

Существуют задачи распределения разнородных элементов между некоторыми классификационными признаками, для которых критерий распределения не очевиден. Решение таких задач целесообразно методом гармонизации. Он заключается в установлении так называемого золотого сечения с пропорциями 0,62 к 0,38 [8].

Упомянутый метод хорошо работает при двузначной логике (типа «Да» или «Нет»), когда распределение необходимо между двумя признаками. Так например, при выборе очередности выполнения государственных и коммерческих перевозок при планировании на текущий период 62 процента следует отдать первоочередным государственным перевозкам и 38 – коммерческим:

$$K^{nep} = K^z + K^k, \quad (1.26)$$

где K^z , K^k – количества государственных и коммерческих перевозок, причём

$$K^z = 0,62K^{nep}; K^k = 0,38K^{nep}, \quad (1.27)$$

Логика может быть не только двузначной, т. к. количество классификационных признаков может быть и более двух:

- трехзначная – в треугольнике сил;
- четырехзначная – в сторонах света (север, юг, восток, запад);
- пятизначная – в континентальной сфере (Евразия, Африка, Америка, Австралия, Антарктида)
- шестизначная – для гитары;
- семизначная – для календаря, цветов радуги, нотной грамоты и т. д.

В логике, значность которой больше двух, для данного класса объектов также необходимо устанавливать иерархию признаков, основываясь, в частности, на политических решениях или гипотезах. Так, например, при распределении ресурсов между государственными (R^2), коммерческими (R^K) и общественными (R^O) объектами может устанавливаться такая иерархия:

$$R^2 > R^K > R^O, \quad (1.28)$$

При этом ресурсы будут распределяться так:

$$R^2 = 0,62R_1; \quad R^K = 0,38R_1, \quad (1.29)$$

$$R^K = 0,62R_2; \quad R^O = 0,38R_2, \quad (1.30)$$

при $R_1 + R_2 = R$,

где R – общий ресурс.

2. ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Объекты, поддерживающие перевозочный процесс

Перевозочный процесс поддерживается множеством объектов инфраструктуры (M^{ou}), вагонов (M^{ov}) и локомотивов (M^{ol}).

В государственной собственности находится большая часть объектов инфраструктуры (M^{ou^2}), меньшая часть вагонного парка (M^{ov^2}) и локомотивный парк (M^{ol}), что может быть описано следующим образом:

$$M^{ou} = M^{ou^2} \cup M^{ou^ч}, \quad (2.1)$$

$$M^{ov} = M^{ov^2} \cup M^{ov^ч}, \quad (2.2)$$

$$M^{ol} = M^{ol^2}, \quad (2.3)$$

где: $M^{ou^ч}$ – подмножество объектов, находящихся в частной собственности;

$M^{ov^ч}$ – подмножество вагонов, находящихся в частной собственности;

M^{ol^2} – множество локомотивов, находящихся в государственной собственности.

При этом множество перевозок, выполняемых по госзаказу (M^{n^2}), поддерживается объектами той и другой форм собственности (2.4), а также выполняется вагонами (2.5), находящимися в разных формах собственности, и локомотивами (2.6).

$$M^{n^2} = f_1(C^{ou^2}, C^{ou^ч}), \quad (2.4)$$

$$M^{n^2} = f_2(C^{ov^2}, C^{ov^ч}), \quad (2.5)$$

$$M^{n^2} = f_3(C^{ol^2}), \quad (2.5)$$

где: C^{ou^2} , $C^{ou^ч}$ – техническое состояние объектов инфраструктуры;

C^{062}, C^{064} – техническое состояние вагонов;

C^{012} – техническое состояние локомотивов;

f_1, f_2, f_3 – функции, определяющие эффективность перевозок в зависимости от состояния объектов инфраструктуры, вагонов и локомотивов.

2.2. Перевозочный процесс

Цель перевозочного процесса состоит в том, чтобы осуществлять перевозки грузов и пассажиров. Требования к грузовым и пассажирским перевозкам значительно отличаются друг от друга. Они обеспечиваются различными техническими средствами, и поэтому традиционно принято различать процессы грузовой (P^z) и пассажирской (P^n) работы (2.7)*:

$$P_{ц}^{nn} = P^z \cup P^n, \quad (2.7)$$

где $P_{ц}^{nn}$ – множество целевых подпроцессов перевозочного процесса или процессов перевозочной работы.

Поскольку оба указанных подпроцесса выполняются на единой железнодорожной сети, то между ними есть и общие черты – это передвижения по одним и тем же станциям и перегонам. Поэтому с точки зрения технической реализации перевозочный процесс (P_T^{nn}) можно рассматривать также как совокупность процессов поездной (P^{np}) и маневровой (P^{mp}) работы (2.8):

$$P_T^{nn} = P^{np} \cup P^{mp}, \quad (2.8)$$

Перевозочный процесс, рассматриваемый в настоящей работе в качестве объекта управления, выступает в качестве

* В состав технических средств, обеспечивающих пассажирские перевозки, входят вокзалы, платформы, билетные кассы и т. д., которые не нужны для обеспечения грузовых перевозок. В состав технических средств, обеспечивающих грузовые перевозки, входят весы, сортировочные горки и т. д., которые не нужны для обеспечения пассажирских перевозок.

«базиса» относительно над «стройки», в качестве которой рассматривается информационная технология, реализующая функции управления. В жизненном цикле перевозочного процесса можно выделить две стадии: организация и функционирование после завершения организации. В соответствии с этим в настоящей работе рассматриваются возможности управления с распределением их по этим стадиям.

2.3. Компании операторов вагонных парков

Наличие множества компаний операторов вагонных парков создает конкурентную среду для организации эффективного процесса грузовой работы. В настоящее время сложилась такая ситуация, когда каждая компания «захватила» некую нишу определенных перевозок и удерживает свою монополию в этой области [10]. Характеристику (модель) каждого оператора (*NOP*) можно описать следующим образом:

$$NOP = \{NG, \{TV, KV, \{NMAR\}[kmar]\}[ktp]\}[kg], \quad (2.9)$$

где *NG* – код груза;

TV – тип вагона;

KV – количество вагонов данного типа у данного оператора;

NMAR – код маршрута курсирования вагонов данного типа;

kmar – количество маршрутов курсирования вагонов данного типа;

ktp^- количество типов вагона, выделенных для перевозки данного груза;

kg – количество перевозимых грузов данного оператора.

2.4. Холдинг

Холдингом считается компания, целью функционирования которой является скупить все акции конкурирующих компаний. Миссия ОАО «РЖД» состоит в завоевании лидирующих позиций на рынке транспортных услуг [9]. Это

подходит под определение понятия холдинга. Поэтому экономическое управление холдингом следует рассматривать как управление процессом конкуренции.

Конкурентами ОАО «РЖД» являются другие перевозчики железнодорожного и других видов транспорта. Выигрыш в конкуренции возможен за счёт:

- снижения тарифов на перевозки (*STAR*);
- сокращения времени доставки грузов (*TDG*);
- повышения точности сроков доставки грузов (ΔTDG);
- повышения уровня сервиса для грузоотправителей и грузополучателей (*USER*);
- повышения степени сохранности и сохранения качеств грузов (*USOH*).

В связи с этим результат (модель) деятельности холдинга ОАО «РЖД» (*DH*) можно охарактеризовать так:

$$DH = f_4(STAR, TDG, \Delta TDG, USER, USOH), \quad (2.10)$$

2.5. Договорные процессы

2.5.1. Субъекты договора на перевозку

На рынке транспортных услуг в настоящее время присутствует три игрока:

- грузоотправитель, оплачивающий перевозку;
- оператор вагонного парка, обеспечивающий погрузку по заявкам грузоотправителя;
- владелец инфраструктуры и тяговых средств, обеспечивающий доставку порожних вагонов и грузов в заданные пункты назначения.

При заключении договора грузоотправитель стремится к снижению провозной паты, а остальные игроки – к её повышению, т. к. она составляет источник дохода. Ограничением повышения служит конкуренция:

- между дирекциями управления движением;
- между компаниями операторов;
- между каждой дирекцией и другими видами транспорта.

Кроме того имеется ограничение со стороны антимонопольного комитета, устанавливающего тарифы на отдельные перевозки.

Грузоотправитель может заключать договор либо с дирекцией, либо с операторской компанией. В первом случае дирекция привлекает компанию, во втором – компания дирекцию. В любом случае провозная плата делится между дирекцией и компанией. Причем в каждой перевозке может участвовать несколько дирекций и несколько компаний.

Результат деятельности грузоотправителя можно описать таким образом:

$$NGO = KP, \{N Z P\} [kzpp], \quad (2.11)$$

где NGO – код грузоотправителя;

KP – календарный план погрузки (на квартал или на год);

$N Z P$ – номер первичной заявки на перевозку груза;

$kzpp$ – количество заявок на периоде планирования (от трех до семи дней).

Результат деятельности погрузочной дирекции управления движением на стадии заключения договора:

$$NDPD = NGO, \quad (2.12)$$

Содержание результата отличается от результата деятельности грузоотправителя тем, что оно является согласованным (и, возможно, скорректированным) с причастными подразделениями причастных дирекций управления движением.

Результатом деятельности компании оператора на стадии заключения договора является предложение по ценам на доставку грузов

$$NDPD = \{N Z P, C\} [kzpp], \quad (2.13)$$

где C – предлагаемая цена перевозки по данной заявке.

2.5.2. Заявки на перевозки грузов

Первичные заявки (2.14) грузоотправителя подлежат согласованию с возможной корректировкой или неприятием к исполнению. Согласованная заявка подлежит исполнению. Поскольку на периоде планирования имеется множество заявок, то встает вопрос об очередности включения их в план перевозок.

$$MZP = \{KSV, NZ, NOT, ISTO, NSTO, KGO, IG, NG, PG, ISTRN, NSTRN, IDN, NDN, ISTN, NSTN, DPR, TV, NSTOT, KGP, DPV, DPG, NPR\} [kot1] \quad (2.14)$$

где: *KSV* – код собственника;

NZ – номер заявки;

NOT – номер отправки;

ISTO – имя станции отправления;

NSTO – код станции отправления;

KGO – код грузоотправителя;

IG – наименование груза;

NG – код груза;

PG – вес груза;

ISTRN – имя страны назначения;

NSTRN – код страны назначения;

IDN – имя дороги назначения;

NDN – код дороги назначения;

ISTN – имя станции назначения;

NSTN – код станции назначения;

DPR – признак делегирования права распределения вагонов;

TV – заданный тип вагона;

NSTOT – код заданной станции отстоя;

KGP – код грузополучателя;

DPV – дата подачи вагонов;

DPG – дата прибытия груза;

NPR – приоритет заявки;

kot1 – количество заявок, отобранных из системы ЭТРАН.

Для выбора очередности включения заявок могут использоваться различные критерии, в том числе и иерархические. Поэтому критерий выбора может быть описан так:

$$KBO3 = f(TV, RG, VR, STAR), \quad (2.15)$$

где *RG* – род груза;

VP – вид перевозки

3. УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

3.1. Управление грузовой работой

3.1.1. Укрупнение малых компаний операторов вагонных парков (1. итк)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

В работе [10] отмечено, что в малых операторских компаниях доля порожнего пробега вагонов выше, чем в крупных. Это объясняется тем, что:

- крупные компании обслуживают более дальние маршруты, вследствие чего доля начально-конечных операций уменьшается;

- в малых компаниях имеет место более высокий уровень специализации вагонов.

Высказывается мысль о подходах к объединению операторов с учетом возможного снижения уровня конкуренции.

Для формирования предложений по объединению компаний в настоящей работе предлагается использование метода «SWOT-анализ» [11].

Таблица 3.1. Сопоставление факторов

Игроки	Сильные стороны	Слабые стороны	Угрозы	Возможности
Владелец инфраструктуры и перевозчик	Снижение нагрузки на инфраструктуру	Снижение уровня конкуренции	Монополизация процесса обеспечения погрузки	Снижение затрат на содержание объектов
Крупная компания	Снижение уровня конкуренции			Увеличение доходов
Мелкая компания			Лишение рабочих мест	

Для использования метода в условиях конкретного полигона необходимо получить количественные оценки факторов и на основании их принимать решения.

Для определения компаний, подлежащих укрупнению, предлагается следующая постановка задачи.

Входная текущая информация:

– характеристики компаний операторов:

$$МНКО = \{NOP\} [kop], \quad (3.1)$$

где NOP – см. (13);

kop – количество операторов вагонного парка, рассматриваемых в проекте укрупнения.

– заявки на перевозки, полученные в учетном месяце – см. (38).

Нормативно-справочная информация:

– протяженности маршрутов курсирования:

$$МРМК = \{NMAR, L\} [kmar], \quad (3.2)$$

где L – протяженность;

– допустимая длина маршрута для малых компаний – DL ;

– допустимое количество типов взаимозаменяемых вагонов – $DTZV$;

– допустимое количество вагонов данного типа – DTV ;

– грузовая специализация вагонов:

$$MGSV = \{RG, RV, \{KGN, KGK, STAT, KGTV, \{KTVG\{TV, POV\} [ktvg]\} [kgtv]\} [kdg]\} [krg], \quad (3.3)$$

где: RG – род груза;

RV – род вагона;

KGN – начальный код группы груза;

KGK – то же, конечный;

$STAT$ – статическая нагрузка на вагон;

$KGTV, kgtv$ – количество взаимозаменяемых групп типов вагона с разными грузоподъёмностями (ёмкостями);

$KTVG, ktvg$ – количество типов вагона с одинаковой грузоподъёмностью (ёмкостью) в группе;

TV – тип (модель) вагона;

POV – грузоподъёмность (вместимость) вагона;

kdg – количество диапазонов кода груза;

krg – то же, родов груза, охваченных внутридорожными перевозками.

Выходная информация:

– характеристики компаний, подлежащих укрупнению:

$$MНКОU = \{NOPU\} [kop], \quad (3.4)$$

где $NOPU$ – характеристики одной компании из множества $MНКО$, см. (13);

kop – количество компаний операторов, подлежащих укрупнению.

Критерий оптимальности – минимум значения коэффициента порожнего пробега вагона за месяц для данного рода вагонов в выделенном подмножестве собственников вагонов

$$K = \min_{i \in M^{ey}} \left\{ \sum_{j=1}^{30} (K_n^6 \cdot L_n / K^6 \cdot L) \right\}_i, \quad (3.5)$$

где K_n^6 – количество порожних вагонов, отправленных в течение суток учётного месяца;

K^B – то же, порожних и гружёных вагонов;

L_n – средний пробег порожнего вагона;

L – то же, порожнего и гружёного;

30 – число дней в учетном месяце;

i – текущий вариант укрупнения компаний;

M^{ey} – множество вариантов укрупнения.

Управляющее воздействие – изменение количества операторов вагонного парка:

$$2 \rightarrow k \rightarrow kor. \quad (3.6)$$

Ограничение на управление – исключение возможности монополизации процесса обеспечения грузоотправителей погрузочными ресурсами:

$$kor \geq 2. \quad (3.7)$$

Для поиска оптимального значения количества компаний необходимо имитационное моделирование выполнения заявок в течение месяца разным количеством компаний-операторов. При этом требуется установить и учесть влияние « k » на K_n^e, L_n .

3.1.2. Составление плана формирования грузовых поездов. (2. spf)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

Автоматизированное составление плана формирования поездов осуществляется с помощью системы СРПФП. Методика решения комплекса задач планирования была разработана и развита докторами технических наук Дуваляном С. В., Кудрявцевым В. А., Осьмининым А. Т. и Бородиным А. Ф. Описание системы дано в работе [12]. Цель решения задач в явном виде не сформулирована, но подразумевалась как снижение затрат на перевозки.

Ниже приводится один из возможных вариантов постановки.

Входная текущая информация:

– на сетевом уровне – вагоны, отправленные со станций:

$$MOVS = \{NSTO, \{NSTP, KV\} [kstp] [ksto], \quad (3.8)$$

где $NSTO$ – код станции отправления;

$NSTP$ – код станции назначения;

KV – количество вагонов, отправленных за учетный месяц;

$kstpo$ – количество станций назначения для данной станции отправления;

$ksto$ – количество станций отправления.

– на дорожном уровне:

– поезда, поступившие на стыковые пункты дорог:

$$MPPS = \{NSTPS, \{NSTO, \{NP\} [kpsto]\} [kstos]\} [kstps], \quad (3.9)$$

где $NSTPS$ – код стыковой станции;

NP – номер отправленного поезда;

$kpsto$ – количество поездов, отправленных с данной станции;

$kstos$ – количество станций, отправляющих поезда на стыковую станцию;

$kstps$ – количество рассматриваемых стыковых станций.

– вагоны, поступившие на стыковые пункты дорог:

$$MPVS = \{NSTPS, \{NP, KV\} [kps]\} [kstps], \quad (3.10)$$

где $kstps$ – количество поездов, прибывших на стыковую станцию.

Нормативно-справочная информация:

– расстояния между корреспондирующими станциями:

$$MRST = \{NSTF, \{NSTR, \{NST, L\} [kststr]\} [kstrstf]\} [kstf], \quad (3.11)$$

где:

Выходная информация:

– перечни формируемых сортировочными станциями назначений:

$$MNP = \{NSTF, \{NSTN\} [knstf]\} [kstf], \quad (3.12)$$

где $NSTF$ – код станции формирования поездов;

$NSTN$ – код станции назначения поездов по плану формирования;

$knstf$ – количество назначений, формируемых данной станцией;

kst – количество рассматриваемых станций формирования поездов;

– нормативные маршруты следования поездов по назначениям:

$$MNP = \{NSTF, \{NSTN, \{NSTV\} [kstvn]\} [knstf]\} [ksth], \quad (3.13)$$

где $NSTV$ – код станции на маршруте, определяющий его вариант;

$kstvn$ – количество станций на маршруте, определяющий его вариант;

– закрепление возможных назначений за нормативными:

$$MNP = \{NSTF, \{NSTN, \{NSTZ\} [ksthzn]\} [knstf]\} [ksth], \quad (3.14)$$

где $NSTZ$ – код станции, закреплённой за данным назначением;

$ksthzn$ – количество станций, закреплённых за данным нормативным назначением.

Решение по критерию 1:

Минимум числа локомотивов, требуемых для выполнения перевозок:

$$K_1 = \min_{i \in M^{num}, j \in M^{nstf}, k \in M^{sth}} \left\{ \left\{ \left\{ \sum_{m=1}^{K^{sth}} \sum_{n=1}^{K^{nstf}} \sum_{p=1}^{K^{num}} K^{vnum} \right\} \right\} \right\}_i \left\} \right\}_j \left\} \right\}_k, \quad (3.15)$$

где K^{sth} – рассматриваемое количество станций формирования поездов;

$K^{стф}$ – количество назначений поездов, формируемых данной станцией;

$K^{нит}$ – количество ниток графика, планируемых для данного назначения;

$K^{внит}$ – количество вагонов, планируемых для данной нитки графика;

$M^{нит}$ – множество ниток графика, планируемых для данного назначения;

$M^{стф}$ – множество назначений формируемых данной станцией;

$M^{стф}$ – рассматриваемое множество станций формирования поездов.

Управляющие воздействия:

– изменение количества ниток графика, планируемых для данного назначения:

$$1 \rightarrow i \rightarrow K^{внит}; \quad (3.16)$$

– изменение количества назначений формируемых данной станцией

$$1 \rightarrow j \rightarrow K^{стф}; \quad (3.17)$$

– изменение количества станций формирования:

$$1 \rightarrow k \rightarrow kst. \quad (3.18)$$

Ограничения:

– по количеству ниток:

$$i \leq 1440/\Delta T, \quad (3.19)$$

где ΔT – допустимый интервал между нитками.

– по количеству назначений:

$$j \leq ksp, \quad (3.20)$$

где ksp – количество сортировочных путей на станции формирования.

Решение по критерию 2

Минимум затрат вагоно-километров для доставки грузов и порожних вагонов:

$$K_2 = \min_{q \in M^{\text{вмар}}} \left\{ \sum_{m=1}^{K^{\text{стф}}} \sum_{n=1}^{K^{\text{истф}}} \sum_{p=1}^{K^{\text{нум}}} K^{\text{внут}} \cdot L \right\}_q, \quad (3.21)$$

где L – величина пробега вагонов;

$M^{\text{вмар}}$ – множество вариантов маршрута.

Управляющие воздействия:

– изменение варианта следования по маршруту:

$$1 \rightarrow q \rightarrow kstvn; \quad (3.22)$$

Решение по критерию 3

Минимум затрат вагоно-часов:

$$K_3 = \min_{q \in M^{\text{вмар}}} \left\{ \sum_{m=1}^{K^{\text{стф}}} \sum_{n=1}^{K^{\text{истф}}} \sum_{p=1}^{K^{\text{нум}}} K^{\text{внут}} \cdot T \right\}_q, \quad (3.23)$$

где T – длительность пробега вагонов.

Управляющие воздействия: см. (61).

Наиболее общее решение комплекса задач будет в том случае, когда применяется иерархический критерий:

$$K_1 > K_{21} > K_3; \quad (3.24)$$

Для вычисления значений критериев необходимо имитационное моделирование построения каждого варианта комплекта выходной информации (51–53).

3.1.3. Составление технического плана грузовой работы подразделения (3. stpg)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

Традиционно технический план составлялся для долгосрочного нормирования суточного объема работ в целях обеспечения рентабельности каждого подразделения хозяйства перевозок. При этом считалось, что у подразделения всегда есть спрос на перевозки и соответствующие ему ресурсы. И есть необходимость мобилизации работы персонала за счет сопоставления выполненного объема работ с нормативным. Принципы технического планирования описаны в работе [12].

В условиях рыночной экономики спрос на перевозки возникает неравномерно по независящим от транспорта причинам, как во времени, так и в пространстве. Ресурс поступает также неравномерно. Персонал транспорта мотивирован на поддержание достаточно высокой производительности труда. В связи с этим необходимость в его мобилизации отпала, и цель технического планирования должна измениться.

После того, как вагоны оказались в собственности независимых владельцев, возникла избыточность вагонного парка, а следовательно, и дефицит железнодорожных путей. Конкуренция с другими видами транспорта привела к стремлению интенсифицировать перевозочный процесс. Все это заставляет задуматься об эффективности использования объектов инфраструктуры.

Представляется, что в этих условиях должны вводиться ограничения на суточные объемы работ, причем ограничением может стать технический план, составляемый по новым правилам. Одна из возможных постановок задачи планирования следующая.

Входная текущая информация:

- месячный портфель заявок на перевозки – *MZP* (2.14);
- планируемые месячные доходы от перевозок – *NOPD* (2.13).

Нормативно-справочная информация:

– затраты на содержание объектов инфраструктуры, обеспечивающих погрузку:

$$MZSOIP = \{NSTG, \{TV, KV, CZ\} [ktvst]\} [kstg], \quad (3.25)$$

где $NSTG$ – код грузовой станции;

TV – тип вагона;

KV – количество вагонов;

CZ – стоимость затрат на содержание объекта при заданном суточном объёме работ;

$ktvst$ – количество типов вагона, предназначенных для погрузки на данной станции;

$kstg$ – количество рассматриваемых грузовых станций.

Выходная информация:

– технический план объёмов суточной погрузки для объектов инфраструктуры, соответствующий затратам на их содержание:

$$MTPP = \{NSTG, \{NG, PG, \{TV, KV\} [ktvg]\} [krg]\} [kgst], \quad (3.26)$$

где $NSTG$ – код станции отправления груза;

NG – код груза;

PG – вес груза;

krg – количество родов груза, планируемых к погрузке на данной станции;

$ktvg$ – количество типов вагона, предназначенных для перевозки данного груза;

$kgst$ – количество грузовых станций, охваченных техническим планированием.

Критерий оптимальности управления – максимум суммарной прибыли ОАО «РЖД» и компаний-операторов от перевозок грузов:

$$K_3 = \min_{q \in M^{mn}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{znn}} C - \sum_{j=1}^{K^{ctm}} \sum_{k=1}^{K^{me2}} CZ \right\}_p, \quad (3.27)$$

где C – цена перевозки груза по заявке;

CZ – стоимость затрат на содержание объекта инфраструктуры;

K^{znn} – количество заявок, отобранных для месячного периода;

K^{ctg} – количество грузовых станций на полигоне планирования;

K^{mvg} – количество объектов инфраструктуры на станции;

M^{mnn} – множество вариантов технического плана.

Управляющие воздействия на данном этапе разработки формализовать не удаётся. Они должны быть сформулированы, исходя из следующих предпосылок. В процессе поступления заявок на перевозки предстоящий среднесуточный объем погрузки на месячный период на каждой станции может колебаться. В зависимости от этого должны корректироваться и нормы затрат на содержание объектов инфраструктуры (64). При этом соотношение доходов и расходов будет меняться. И нужно выбрать такой вариант соотношения, который дает максимум прибыли.

3.1.4. Составление сменно-суточного плана (4. sspg)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Сменно-суточное планирование традиционно предназначалось для уровня отделения дороги [12]. Оно рассматривалось как «ручное» планирование с использованием входной информации, получаемой из ЭВМ. В связи с этим математических постановок задач планирования не приводилось. В работе [13] была предложена новая модель системы управления, в которой автоматизированное оперативное управление распространялось на все уровни организационной структуры. Впоследствии были разработаны описания [14], а затем и математические постановки [15] соответствующих задач. Эти задачи не являются оптимизационными и, поэтому, в настоя-

щей работе дан только их перечень для установления связи с другими задачами.

Для сетевого и дорожного уровня поставлены следующие задачи:

- сбор информации (СИ);
- сортировка заявок (СЗ);
- формирование суточного портфеля заказов (ФСПЗ);
- формирование суточного плана перевозок (ФСПП);
- контроль наличия грузов в местах погрузки (КНГ);
- контроль наличия свободных емкостей складов (КНМ).

Такие же задачи могут быть поставлены и для районного уровня.

Как отмечалось в главе 1, конечные цели могут быть государственными и коммерческими. Государственные цели естественно относить к государственным перевозкам, а коммерческие – к коммерческим. Поэтому главной целью управления государственными перевозками является наилучшее выполнение госзаказа. При наличии нескольких вариантов, равноценных по государственному критерию, ставится вторая цель – снижение затрат на перевозки. В соответствии со сказанным в данном случае целесообразно применение критерия оптимальности управления типа (1.13). Тогда получается:

$$K^2 = f_{\text{я}} (\eta (M^{n_2})) > Z^2, \quad (3.28)$$

где: $f_{\text{я}}$ – операция поиска оптимального варианта плана перевозок по госзаказу;

$\eta (M^{n_2})$ – мощность множества перевозок, которые предстоит выполнить по госзаказу;

Z – затраты на перевозки по госзаказу.

$>$ – символ предшествования.

Предположим, что каждая планируемая перевозка отражена отдельной строкой в портфеле заказов. Тогда этот портфель можно описать так:

$$M^{nz} = \{p^z\} K^{nep}, \quad (3.29)$$

где: p^z – строка портфеля;

K^{nep} – количество заявленных перевозок.

Задачу управления перевозками можно решать в два этапа: сначала найти оптимальный вариант по левой части критерия (3.28), т. е. по максимально допустимому на данный период планирования количеству (K^{ozp}) исполняемых заявок (3.30), а если таких вариантов окажется несколько, то осуществить выбор из них по второй части этого же критерия (3.31), аналогично второму туру голосования.

$$K^{nep} \leq K^{ozp}, \quad (3.30)$$

$$S^3 = \min_{1 \rightarrow j \rightarrow K^{enz}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{nep}} S_i^3 \right\}_j, \quad (3.31)$$

причём: $S_i^0 \in p^z$.

Величина K^{ozp} может быть задана техническим планом подразделения хозяйства перевозок, для которого осуществляется планирование. Она определяет ресурсообеспеченность объектов инфраструктуры этого хозяйства на период действия технического плана, т. е. техническую возможность обеспечить определенный объём перевозок за каждый период суточного, сменного или внутрисменного планирования.

Величина S_i^3 может быть рассчитана по расходным ставкам одного вагоно-километра и одного поездо-километра, а результат также записан в проект плана перевозок.

Решение задачи при такой постановке обеспечивает:

- наиболее полное удовлетворение заданий Госзаказа;
- не превышение технических возможностей ОАО «РЖД».

Задачу управления коммерческими перевозками можно решать по одному из четырёх критериев: по максимально допустимому на данный период планирования количеству (K^{opp}) исполняемых заявок (3.30), по максимальной доходности перевозок (3.32), по их минимальной затратности (70) и по максимальной прибыльности (3.33).

$$S^{\partial} = \max_{1 \rightarrow j \rightarrow K^{enn}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{nep}} S_i^{\partial} \right\}_j, \quad (3.32)$$

$$S^{\partial} = \max_{1 \rightarrow j \rightarrow K^{enn}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{nep}} (S_i^{\partial} - S_i^3) \right\}_j, \quad (3.33)$$

причём: $S_i^{\partial} \in p^e$, $S_i^3 \in p^e$.

Величина может быть рассчитана по тарифам, как провозная плата за перевозки грузов и доставку порожних вагонов, а результат записан в проект плана перевозок.

Критерий может быть выбран в зависимости от текущей ситуации.

Задача формирования суточного плана перевозок упорядочивает строки проекта плана по возрастанию затрат (S_i^3) или по убыванию доходов (S_i^{∂}) и отбирает из упорядоченного массива данных наименее затратные или наиболее доходные заявки в количестве, удовлетворяющем ограничению (69). Тем самым устанавливается такая очередность обслуживания заявок, в которой приоритет отдается наименее затратным или более доходным перевозкам.

Для станционного уровня в работе [16] разработана информационная технология составления суточного и сменного плана ручным способом с использованием средств диалога.

3.1.5. Привязка вагонов к заявкам на погрузку (5. pvz)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Задача была предложена в работе [17]. Целью решения является привязка к заявкам на погрузку максимальное количество собственных вагонов. При этом собственник выбирается по конкурсу.

Входная текущая информация:

– перечень разыгрываемых заявок на перевозки:

$$MRZP = \{NZ, NG, CZ\} [krz], \quad (3.34)$$

где NZ – номер заявки;

NG – код груза;

CZ – цена перевозки, предлагаемая грузоотправителем;

krz – количество предлагаемых заявок.

– перечень разыгрываемых предложений по вагонам:

$$MRPVAG = \{NZ, NSOB, CSOB\} [krpv], \quad (3.35)$$

где $NSOB$ – код собственника (арендатора) вагона, у которого имеются конкуренты;

$CSOB$ – цена услуги собственника;

$krpv$ – количество заявок, участвующих в разыгрывании.

Выходная информация:

– план перевозок по выигранным заявкам:

$$MPVZ = \{NZ, NSOB\} [kvz], \quad (3.36)$$

где kvz – количество выигранных заявок.

Нормативно-справочная информация – таблицы вариантов:

– для двух заявок (предложений):

$$M2 = \{ \{NO\} [2] \} [2], \quad (3.37)$$

– для трёх заявок (предложений):

$$M3 = \{ \{NO\} [3] \} [6], \quad (3.38)$$

– для четырёх заявок (предложений):

$$M4 = \{ \{NO\} [4] \} [24], \quad (3.39)$$

и т. д.

Критерий оптимальности

$$K = \max_{k \in M^{63c3}} \left\{ \sum_{j=1}^{K^{p3}} I \left(N^{cob} \neq 0 \right)_j \right\}_k, \quad (3.40)$$

где: I – индикатор множества строк плана;

K^{p3} – количество разыгрываемых заявок

M^{63c3} – множество вариантов плана, при условии, что прикрепление каждого предложения происходит при совпадении цены, назначенной собственником (арендатором), с ценой грузовладельца:

$$MRPVAG CSOB = MRZP CZ, \quad (3.41)$$

Управляющие воздействия

– выбор очередности опроса заявок:

$$\left(1 \rightarrow x \rightarrow K^{p3} ! \right); \quad (3.42)$$

– выбор очередности опроса предложений:

$$\left(1 \rightarrow y \rightarrow K^{cob} ! \right); \quad (3.43)$$

3.1.6. Распределение порожних вагонов между станциями погрузки (б. груз)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Распределение порожних вагонов – это ключевая и достаточно сложная задача управления. В разные периоды отечественной истории она решалась по-разному.

В период плановой экономики распределение велось на ежесуточном селекторном совещании в МПС методом директивного планирования. Оно заключалось в том, что освободившиеся на одной дороге вагоны направлялись на другие дороги, где они были востребованы в данный момент. Для обеспечения фронтов стабильной массовой погрузки устанавливались постоянные правила сдачи вагонов. Так все порожние полувагоны направлялись в Кузбасс для погрузки угля и дальнейшего распределения избытков. Все порожние цистерны аналогичным образом направлялись на Куйбышевскую железную дорогу.

В дальнейшем была разработана задача регулирования вагонного парка [18] и создания резерва на станции выгрузки [19]. Наиболее распространённым стал так называемый балансовый метод, который предусматривает постоянное закрепление станций погрузки за определёнными станциями накопления порожних вагонов.

После распределения единого парка вагонов между независимыми собственниками укоренился метод установления постоянных маршрутов курсирования для каждой компании-оператора. Вследствие этого образовался избыток вагонов, выросла доля их порожнего пробега и недостаточность путевого развития сети [10].

В качестве одного из приёмов оперативного регулирования в целях снижения доли порожнего пробега вагона, в работе [20] предложена оперативная корректировка плана формирования поездов по инициативе операторов вагонного парка.

Вместе с тем, имеются разработки задачи распределения вагонов между станциями погрузки, которая может применяться как при централизованном, так и при локальном управлении без корректировки плана формирования. Она

рассчитана на такие условия, в которых имеется любое множество станций погрузки и любое множество станций накопления вагонов без постоянного закрепления их друг за другом [15]. Постановка этой задачи следующая.

Входная текущая информация:

– копия плана внутридорожных перевозок на 3 ч:

$$MZP4 = \{KSV, NZ, NOT, ISTO, NSTO, KGO, IG, NG, PG, ISTRN, NSTRN, IDN, NDN, ISTN, NSTN, DPR, TV, NSTOT, KGP, DPV, DPG, NPR\} [kot3]; \quad (3.44)$$

– копия плана распределения порожних вагонов между станциями погрузки для обеспечения сетевых перевозок:

$$MPRVPS 1 = \{KSV, \{NSTD, \{NSTP, DP, NZ, \{TV, KV, \{KVD, SD\} [2]\} [ktvop]\} [kstos]\} [kstd]\} [ksob]; \quad (3.45)$$

где: *KSV* – код собственника вагонов;

NSTD – код станции дислокации вагонов;

NSTP – код станции погрузки;

DP – дата прибытия вагонов;

NZ – номер заявки

TV – тип (модель) вагонов;

KV – количество вагонов данного типа;

KVD – количество доставляемых вагонов;

SD – способ доставки;

2 – два способа доставки (маршрутом или прицепной группой)

ktvop – количество типов вагона, направляемых с одной станции на другую;

kstd – то же, станций погрузки, на которые может отправлять вагоны одна станция дислокации;

ksob – то же, станций дислокации вагонов на дороге;

ksob – то же, количество собственников вагонов, охватываемых за один цикл планирования;

– модель дислокации порожних вагонов, годных к погрузке, на станциях своей железной дороги:

$$MDV = \{RV, \{NSTD, \{KSV, \{TV, KV\}[k tips]\}[ksobd]\}[kstrv]\}[krv] ; \quad (3.46)$$

где RV – род вагона;

$k tips$ – количество типов вагона данного собственника;

$ksobd$ – то же, собственников для данной станции дислокации;

$kstrv$ – то же, станций возможной дислокации вагонов данного рода;

krv – то же, рассматриваемых родов вагона.

Нормативно-справочная информация:

– грузовая специализация вагонов: ($MGSV$);

$$MGSV = \{RG, RV, \{KGN, KGK, STAT, KGTV, \{KTVG \{TV, POV\}[ktvg]\}[kgtv]\}[kdg]\}[krg]; \quad (3.47)$$

где: RG – род груза;

KGN – начальный код группы груза;

KGK – то же, конечный;

$STAT$ – статическая нагрузка на вагон;

$KGTV, kgtv$ – количество взаимозаменяемых групп типов вагона с разными грузоподъёмностями (ёмкостями);

$KTVG, ktvg$ – количество типов вагона с одинаковой грузоподъёмностью (ёмкостью) в группе;

TV – тип (модель) вагона;

POV – грузоподъёмность (вместимость) вагона;

kdg – количество диапазонов кода груза;

krg – то же, родов груза, охваченных внутридорожными перевозками.

– эксплуатационные расстояния (MAR);

$$MAR = \{RV, \{NSTO, \{NSTN, L, KV\}[kstno]\}[kstorv]\}[krv], \quad (3.48)$$

где: RV – род вагона;

$NSTO$ – код станции отправления;

$NSTN$ – код станции назначения;

L – эксплуатационное расстояние;

KV – допустимое количество вагонов в поезде;

$kstno$ – количество станций назначения, разрешённых планом формирования для данной станции отправления;

$kstorv$ – то же, станций отправления данного рода вагонов;

krv – то же, родов вагона, распределяемых на дороге для обеспечения внутридорожных перевозок.

– варианты очередности двух объектов:

$$MVO\ 2 = \{ \{ N \} [2] \} [2], \quad (3.49)$$

где: N – код объекта (станции дислокации, станции погрузки, станции отстоя, типа вагона);

2 – число объектов в очереди;

2 – количество вариантов очередности.

– варианты очередности трёх объектов:

$$MVO\ 3 = \{ \{ N \} [3] \} [6], \quad (3.50)$$

где: 3 – число объектов в очереди;

6 – количество вариантов очередности и т. д.

– другие нормативы:

$$MNORM = (ktvop, kstpd, kstd, kot3, knsti, ktips, kstrv, krv, ksob, ksobd, kstorv, kstno, krg, kdg, ktgv), \quad (3.51)$$

– условные обозначения см. выше.

Выходная информация:

– план распределения порожних вагонов между станциями погрузки:

$$MPRVP = \{KSV, \{NSTD, \{NSTP, DP, NZ, \{TV, KV, \{VD, SD\} [2]\} [ktvop]\} [kstp] \} [kstd]\} [ksob], \quad (3.52)$$

где: *KSV* – код собственника вагонов;

NSTD – код станции дислокации вагонов;

NSTP – код станции погрузки;

DP – дата прибытия на станцию погрузки;

NZ – номер заявки;

TV – тип (модель) вагона;

KV – количество вагонов;

KVD – количество доставляемых вагонов (рассчитывается задачей выбора способов доставки;

SD – способ доставки (рассчитывается задачей *BCD*);

2 – количество вариантов доставки (маршрутом или прицепной группой);

ktvop – количество типов вагона, направляемых с одной станции на другую;

kstdp – то же, станций погрузки, на которые может отправлять вагоны одна станция дислокации;

kstd – то же, станций дислокации на дороге;

ksob – то же, собственников, охватываемых в одном цикле планирования.

Критерий оптимальности плана распределения вагонов – минимальная сумма затрат вагонокилометров:

$$K = \min_{J=M^{ep}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{cmn}} \left(K^6 \cdot L \right)_i \right\}_j, \quad (3.53)$$

где: K^6 – количество вагонов в строке плана *MPRVP*;

L – планируемый пробег вагонов;

K^{cmn} – количество строк плана (*kstdp* · *kstd* · *ksob*);

M^{ep} – множество вариантов плана.

Управляющие воздействия:

– изменение варианта очередности обслуживания станций погрузки:

$$x \in M^{6ocn}, 1 \rightarrow x \rightarrow kstpd! \quad (3.54)$$

где: M^{6ocn} – множество вариантов очередности обслуживания станций погрузки;

$kstpd$ – станций погрузки, на которые может отправлять вагоны одна станция дислокации.

– изменение варианта очередности использования ресурсов станции дислокации:

$$y \in M^{6ocd}, 1 \rightarrow y \rightarrow kstd! \quad (3.55)$$

где: M^{6ocd} – множество вариантов станций дислокации вагонов на дороге;

$kstd$ – количество станций дислокации;

– изменение варианта типа отбираемых вагонов:

$$e \in M^{6m6}, 1 \rightarrow y \rightarrow ktst! \\ \text{при } KV_e = f_1(TV_e), TV_e = f_2(NG_i), \quad (3.56)$$

где: M^{6m6} – множество вариантов типа вагона;

$ktst$ – количество типов вагона;

TV – тип (модель) вагона;

NG – код груза;

f_1, f_2 – дискретные табличные функции.

Ограничения:

– по необходимости группировки заявок по видам груза с последовательным планированием групп:

$$MGZG = \{NG, RV, KZ, \{NZ, PG, PGN, NSTP, DP, KGTV, \{KTVG, \\ \{TV, P1\} [ktvg]\} [kgtv]\} [kzg]\} [kg], \quad (3.57)$$

где: NG – код груза;
 RV – род вагона;
 KZ – количество заявок на погрузку;
 NZ – номер заявки;
 PG – вес груза;
 PGN – не обеспеченный вагонами вес груза;
 $NSTP$ – код станции погрузки;
 DP – дата прибытия вагонов;
 $KGTV$, $kgtv$ – количество взаимозаменяемых групп типов вагона с разными грузоподъёмностями (ёмкостями);
 $KTVG$, $ktvg$ – количество типов вагона с одинаковой грузоподъёмностью (ёмкостью) в группе;
 TV – тип вагона;
 $P1$ – грузоподъёмность вагона данной модели
 kzg – заявок на погрузку одного и того же груза;
 kg – количество видов груза, планируемых совместно.

– по численности заявок:

$$kot\ 3 \leq kot\ 1/8, \quad (3.58)$$

– по делегированию права распределения вагонов данного собственника:

$$MZP4\ DPR = 1; \quad (3.59)$$

– по делегированию права выбора типа вагона:

$$MZP4\ TV = 0; \quad (3.60)$$

– по делегированию права выбора станции отстоя вагонов данного собственника:

$$MZP4\ NSTOT = 0; \quad (3.61)$$

– по числу просматриваемых станций дислокации вагонов:

для $MDV_{kstrv}(i) \leq kstd(i),$ (3.62)

где: $kstd(i)$ – количество формируемых назначений данной станции по плану формирования;

– по бронированию вагонов для сетевых перевозок:

$MPRVPS1$ – копия плана распределения порожних вагонов между станциями погрузки для обеспечения сетевых перевозок.

3.1.7. Распределение порожних вагонов между станциями отстоя (7. грво)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Избыточность парка вагонов в современных условиях побуждает к поиску таких решений, которые компенсируют недостаточность путевого развития. В работе [20] предложено:

– направлять порожние вагоны на опорную станцию для распыления вагонопотока;

– отставлять вагоны от движения с направлением на станцию отстоя.

Эти предложения могут быть реализованы при поддержке заблаговременным решением задачи распределения вагонов между станциями отстоя [15]. Постановка задачи следующая:

Входная текущая информация:

– $MZP4$ – копия плана внутридорожных перевозок на 3 ч – см. (2.14);

– копия плана передислокации вагонов в сетевом масштабе – см. (3.45);

– MDV – модель дислокации порожних вагонов, годных к погрузке, на станциях своей железной дороги – см. (3.46);

– вагонные модели станций отстоя (см. файлы «pp» АСУСС).

Нормативно-справочная информация

– $MGSV$ – грузовая специализация вагонов (3.47);

- *MAR* – эксплуатационные расстояния (3.48);
- *MVO2* – варианты очередности двух объектов (3.49);
- *MVO3* – варианты очередности трёх объектов (3.40);
- *MNORM* – отдельные нормативы (3.51).

Выходная информация:

– *MPRVO* – план передислокации порожних вагонов, структура которого аналогична *MPRVP* – см. (3.52) и отличается только тем, что реквизит *NSTP* заменен реквизитом *NSTO* (код станции отстоя).

Критерий оптимальности плана передислокации вагонов:

- минимальная сумма затрат вагоно-километров (3.53).

Управляющие воздействия:

– изменение варианта очередности обслуживания станций отстоя:

$$x \in M^{60CO}, 1 \rightarrow x \rightarrow kstod! , \quad (3.63)$$

где: M^{60CO} – множество вариантов очередности обслуживания станций отстоя;

kstod – станций отстоя, на которые может отправлять вагоны одна станция дислокации.

– изменение варианта очередности использования ресурсов станции дислокации (3.49).

Ограничения:

– по делегированию права выбора станции отстоя вагонов данного собственника:

$$MZP \ 4 \ NSTOT = 0 ; \quad (3.64)$$

– по числу просматриваемых станций дислокации вагонов (3.56):

– по бронированию вагонов для сетевых перевозок.

3.2. Управление пассажирской работой

3.2.1. Распределение транзитных пассажиропотоков по сети дорог и по полигону (8. rtp)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

В настоящее время задача распределения пассажиропотоков не формализована и решается «вручную», исходя из следующих соображений.

Полигон сети железных дорог может включать несколько параллельных однопутных и двухпутных линий, соединяющих экономические районы страны. В зависимости от назначения пассажирские потоки делят на распределяемые и нераспределяемые.

К распределяемым потокам относятся такие, которые являются транзитными для данного полигона сети.

К нераспределяемым относят потоки в границах каждой линии полигона сети, а также поступающие по входным пунктам каждой линии полигона сети и погашаемые на ней или зарождаемые на таких линиях и следуемые за пределы выходного пункта.

Количество пропускаемых вагонов по каждой линии (параллельному ходу) зависит от технической вооруженности, следовательно, пропускной и провозной способности каждой из них. Техническая вооруженность каждой линии, в первую очередь, оказывает влияние на вес, составность и скорость пассажирских поездов, что, в свою очередь, определяет в основном потребную пропускную или провозную способность рассматриваемого полигона сети.

Следовательно, загрузка каждой линии в условиях текущей эксплуатации ограничивается заданной пропускной или провозной способностью. В этом случае исходят из фактической на данном этапе мощности пассажирских потоков, существующей технической вооруженности каждой параллельной линии, рода и мощности тяги и др.

При решении задачи на перспективу определяются потребная мощность тяги и характеристики подвижного состава,

техническая вооруженность полигона сети в целом или отдельных направлений и возможное усиление их пропускной (провозной) способности в связи с ростом пассажирских перевозок.

При решении задачи в условиях текущей эксплуатации в качестве исходного варианта можно принять действующее распределение пассажирских поездов на параллельных ходах.

Число вариантов зависит от размеров движения распределяемых пассажирских поездов. Если производить перемещение таких поездов с одного параллельного хода на другой, то максимальное число вариантов будет зависеть от размеров движения распределяемых пассажирских поездов и числа параллельных ходов.

Протяженность параллельных линий полигона сети может быть различной. Вместе с тем направление потока по кратчайшим расстояниям не всегда является целесообразным, так как существенное влияние на распределение потоков оказывает время следования поездов и простоя на станциях. Время следования зависит от мощности, плана и профиля пути и других факторов, простои же поездов – от технического развития станций.

При решении задачи распределения пассажирских и грузовых потоков по параллельным линиям возможна специализация этих линий только для пассажирского или грузового движения. При такой специализации на линии, обслуживающей грузовое движение, будут следовать пригородные и местные пассажирские поезда с нераспределяемым пассажиропотоком. Точно так же на линиях, обслуживающих пассажирское движение, возможно следование грузовых поездов с нераспределяемым грузопотоком. Такие поезда целесообразно пропускать в ночное время, когда линия свободна от пассажирского движения.

В ходе решения разработчики стремятся найти вариант с минимальными приведенными затратами. При этом нет гарантии в том, что найденный ими вариант является действительно оптимальным.

В связи с этим предлагается формализованная постановка рассматриваемой задачи.

Цель управления – минимизация затрат на пассажирские перевозки.

Входная текущая информация:

– регулируемые параметры распределяемых пассажиропотоков:

$$MRP = \{NRP, KPAS, KP\}[krp], \quad (3.65)$$

где NRP – номер (имя) распределяемого потока;

$KPAS$ – количество пассажиров в сутки;

KP – количество поездов в сутки;

krp – количество распределяемых потоков на расчётном полигоне;

– регулируемые параметры параллельных линий:

$$MRPL = \{NL, KNIT\}[kl], \quad (3.66)$$

где NL – номер (имя) линии;

$KNIT$ – количество выделяемых ниток графика движения;

kl – количество параллельных линий на расчетном полигоне.

Нормативно-справочная информация:

– нормативные параметры распределяемых пассажиропотоков:

$$MNP = \{NRP, NSIVH, NSTV\}[krp], \quad (3.67)$$

где $NSIVH$ – код станции входа потока;

$NSTV$ – то же, выхода;

– нормативные параметры параллельных линий:

$$MRPL = \{NL, NSTN, NSTK, CNIT\}[kl], \quad (3.68)$$

где $NSTN$ – код станции начала линии;
 $NSTK$ – то же, конца;
 $CNIT$ – стоимость одной нитки графика движения;

– варианты прикрепления потоков к линиям:

– по одному потоку к каждой линии:

– для двух линий:

$$MV1P1L = \{ \{ NL, NP \} [2] \} [2] ; \quad (3.69)$$

– для трех линий:

$$MV1P1L = \{ \{ NL, NP \} [3] \} [6] ; \quad (3.70)$$

– для четырёх линий:

$$MV1P1L = \{ \{ NL, NP \} [4] \} [24] ; \quad (3.71)$$

– по два потока к каждой линии:

– для двух линий:

$$MV2P1L = \{ \{ NL, NP1, NP2 \} [2] \} [4] ; \quad (3.72)$$

– для трёх линий:

$$MV3P1L = \{ \{ NL, NP1, NP2 \} [3] \} [19] . \quad (3.73)$$

Возможны и другие варианты, которые можно описать аналогичным образом.

Выходная информация:

– план прикрепления пассажиропотоков к линиям:

$$MPPL = \{ NL, \{ NP \} [kpl] \} [kl], \quad (3.74)$$

где kpl – количество потоков, прикреплённых к одной нитке.

Критерий оптимальности прикрепления:

– минимум затрат на поддержание ниток графика, обеспечивающих прикрепленные потоки:

$$K = \min_{J=M^{en}} \left\{ \sum_{j=1}^{K^l} K^{нит} \cdot C^{нит} \right\}_i, \quad (3.75)$$

где $K^{нит}$ – количество ниток графика, выделенных для распределяемых потоков на данной линии;

$C^{нит}$ – стоимость одной нитки графика;

K^l – количество линий, к которым прикреплены распределяемые потоки;

M^{en} – множество вариантов плана прикрепления.

Управляющие воздействия:

– выбор варианта прикрепления потоков к линиям:

$$1 \rightarrow i \rightarrow K^{en}, \quad (3.76)$$

где K^{en} – количество вариантов плана прикрепления.

Ограничение:

– достаточность количества ниток графика для реализации данного потока на данной линии: $KNTT \sim KP$.

3.2.2. Выбор массы, скорости и композиции составов (9. vmsk)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

Схема состава пассажирского поезда, содержащего вагоны различных категорий, называется композицией состава. Как правило, в состав поезда включаются вагоны: купейные (К), плацкартные (ПЛ), один вагон-ресторан (Р) и на некоторых направлениях один или два вагона класса СВ. В отдельных случаях состав пассажирского поезда включает в себя багажный и (или) почтовый вагоны.

В некоторых случаях в составы поездов включаются пассажирские вагоны с разной категорией мест: в одном вагоне находятся четыре купе класса К, четыре купе класса СВ и одно штабное купе. Такие вагоны используются на направлениях, где вагоны СВ в составе поезда имеют низкую фактическую населенность.

По типам вагоны классифицируются следующим образом:

– вагоны «ядра» поезда – пассажирские вагоны, закрепленные за составом, обращаемые только в закрепленном составе по маршруту следования;

– факультативные вагоны – вагоны, включаемые в состав поезда в периоды возрастания пассажиропотоков, когда в АСУ «Экспресс-3» в предварительной продаже билетов на места вагонов «ядра» поезда заканчиваются свободные места ранее, чем за пять суток до определенного дня отправления;

– вагоны беспересадочного сообщения – группа вагонов, следующих от станции отправления до станции назначения в составах различных поездов, перецепляемых на технически оснащенных станциях;

– прицепные вагоны – вагоны, находящиеся в составе пассажирского поезда только на определённых участках маршрута его следования и отцепляемые в пути следования на станциях массовой высадки попутных пассажиров.

Композиция состава устанавливает расчетную населенность состава пассажирского поезда и его вес, который влияет на его ходовые качества. Вместимость состава в зависимости от композиции изменяется в пределах от 400 до 1100 пассажиров.

Как следует из изложенного, одной из задач организации пассажирского движения является выбор композиции составов пассажирских поездов, соответствующих спросу населения на перевозки. При этом перевозчик стремится как можно эффективнее использовать сложившийся парк пассажирских вагонов.

Расчёт показателей использования подвижного состава ведется по известным формулам. Рассмотрение альтернативных вариантов композиции проводится без использования вычислительной техники и математических методов. В связи с этим нет гарантии того, что выбирается именно оптимальный вариант. Поэтому предлагается формализованная постановка задачи выбора значений взаимосвязанных показателей: массы, скорости и композиции состава.

Цель управления – увеличение прибыли от пассажирских перевозок.

Входная текущая информация:

– ожидаемый спрос на пассажирские перевозки по данному маршруту:

$$MSP = NMAR, \{KV, KPAS, \{CB \{V\} [kvvc]\} [kttv]\} [kkv], \quad (3.77)$$

где $NMAR$ – код маршрута;

KV – категория вагона;

$KPAS$ – количество пассажиров, ожидаемых по данной категории вагона;

CB – ожидаемая платёжеспособность пассажиров данной категории вагона (цена билета);

V – ожидаемая скорость доставки пассажира, за которую он готов платить

$kvvc$ – количество ожидаемых вариантов скорости доставки пассажиров при данном тарифе;

$kttv$ – количество ожидаемых тарифов для группы пассажиров данной категории вагона;

kkv – количество востребованных категорий вагонов.

Нормативно-справочная информация:

– наличный рабочий парк пассажирских (пригородных) вагонов;

$$MRPV = \{KV, KVK, KMEST, CRM\} [kkv], \quad (3.78)$$

где KVK – наличное количество вагонов данной категории;

$KMEST$ – количество мест в вагоне данной категории;

CRM – расходная ставка одного места для данного маршрута;

– нормы длины и массы поезда:

$$MNORM = (NLP, NPP); \quad (3.79)$$

– варианты сочетаний количеств вагонов каждой категории:

$$MVK = \{KK, KP, KSV\}[kvar], \quad (3.80)$$

где KK – количество купейных вагонов в поезде;

KP – то же, плацкартных;

KSV – то же, CB

$kvar$ – устанавливаемое количество просматриваемых вариантов.

Выходная информация:

– планируемая композиция состава поезда для нормативной (без учета спроса) скорости доставки:

$$MPP = NMP, \{NP, VP, \{KV, KVK, CRKV, CBKV\}\}[kvp], \quad (3.81)$$

где NP – порядковый номер поезда, планируемого для данного маршрута;

VP – нормативная скорость доставки пассажиров;

KV – категория вагонов в поезде;

KVK – количество вагонов данной категории; (119);

$CRKV$ – расходы, отнесённые на вагоны данной категории;

$CBKV$ – цена билетов на места данной категории вагонов;

kvp – количество категорий вагонов в поезде;

kp – количество поездов, планируемых для данного маршрута.

Критерий оптимальности плана:

$$K = \max_{i \in M^{en}} \left\{ \sum_{p=1}^{K^n} \sum_{q=1}^{K^{kn}} (C^{\bar{b}} - C^p)_i \right\}, \quad (3.82)$$

где $C^{\bar{b}}$ – доходы от продажи билетов;

C^p – расходы, отнесённые на данную категорию вагонов;

K^{kn} – количество категорий вагонов в данном поезде;

K^n – количество поездов, планируемых на маршрут;

M^{en} – множество вариантов планируемой композиции.

Управляющие воздействия:

– изменение категории вагонов (соотношения расходной ставки и цены билета):

$$1 \rightarrow i \rightarrow k \text{ var}, \quad (3.83)$$

Ограничения:

– по длине планируемого поезда:

$$\sum_{q=1}^{K^{kn}} K^{6k} \leq NLP, \quad (3.84)$$

– по количеству вагонов СВ:

$$KSV \leq 2, \quad (3.85)$$

Задача в предложенной постановке должна решаться для нескольких скоростей доставки, на которые есть спрос. Выбор между результатами следует осуществлять по значению наибольшей прибыли. После выбора можно рассчитать массу поезда.

3.3. Управление поездной работой

3.3.1. Выбор границ между участками работы поездных диспетчеров (10. vgu)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

Участок поездного диспетчера может быть линейным и разветвлённым, может иметь одну или несколько границ. Размеры его ограничиваются допустимой величиной информационной нагрузки поездного диспетчера, соответствующей 78,7% продолжительности его сменного времени [21]. Границы следует проводить таким образом, чтобы:

- размер участка был по возможности как можно более протяженным;
- информационная нагрузка диспетчера при этом не превышала допустимой величины.

Для подбора границ были установлены расчетные формулы, по которым можно рассчитывать затраты времени диспетчера. А процедура перебора вариантов, которые требуется рассчитать, предложены не были. В связи с этим ниже приводится предлагаемая постановка задачи, предусматривающая возможность организации перебора вариантов с выбором оптимального.

Входная текущая информация:

– схема путевого развития района управления:

$$MSH = \{NST, KPER, (NPER, KOK, KPUT, \{NPUT\}\{kput\})\{kper\} [kstk], \quad (3.86)$$

где NST – код станции;

KPER, *kper* – количество перегонов, примыкающих к станции;

NPER – код данного перегона;

KOK – среднее количество «окон» на перегоне в сутки;

KPUT, *kput* – количество путей данного перегона;

NPUT – номер пути на перегоне;

kstk – количество крупных станций в районе управления;

– размеры движения поездов и локомотивов по станциям

$$MRD = \{NST, KDM, KP, KSU, KPE, KSB, KDL, KH\} [kst], \quad (3.87)$$

где *KDM* – количество дальних и местных поездов;

KP – то же, пригородных;

KSU – то же, сквозных и участковых;

KPE – то же, передаточных;

KSB – то же, сборных;

KD – то же, диспетчерских локомотивов,

KH – то же, хозяйственных;

– данные по каждой станции района:

$$MDR = \{NPER, \{NST, TUS, OGR, KPMD, KPSG, KPSP, KSKR, KPPP, KPPSU, KPPS, KPPER, KPRIG, KRPAS, KRSK, KRSB, KRPER, KR, KFPAS, KFSK, KFSB, KFPER, KFD, KPM, KPH, KOK, KDU\} [kstp]\} [kperr], \quad (3.88)$$

где *TUS* – тип устройств СЦБ;

OGR – признак «Станция открыта для грузовой работы»;

KPMD – количество поездов, передаваемых по междо-
рожному стыку;

KPSG – то же, со сменой локомотивов или бригад грузо-
вых поездов;

KPSP – то же, пассажирских;

KSKR – количество скрещений поездов на однопутном
участке;

KPPP – количество пропускаемых поездов пассажирских;

KPPSU – то же, сквозных и участковых;

KPPS – то же, сборных;

KPPER – количество пропускаемых диспетчерских локо-
мотивов;

KPRIG – количество пригородных поездов;

KRPAS – количество пассажирских поездов расформируе-
мых;

KFPAS – то же, формируемых;

KRSK – количество сквозных и участковых поездов рас-
формируемых;

KFSK – то же, формируемых;

KRSB – количество сборных поездов расформируемых;

KFSB – то же, формируемых;

KRPER – количество передаточных поездов расформиру-
емых;

KFPER – то же, формируемых;

KRD – количество диспетчерских локомотивов расформи-
руемых;

KFD – то же, формируемых;

KPM – количество местных поездов с работой;

KPH – количество хозяйственных поездов;

KOK – количество «окон»;

KDU – количество прилегающих диспетчерских участков;

kst – количество станций, обслуживающих данный перегон;

$krerr$ – количество перегонов в районе управления.

– затраты времени на обслуживание диспетчерского участка, мин./сут. (Указанные обозначения заданы в литературном источнике и используются в расчётных формулах)

$$MZVO = T_{\text{одинак. для всех уч.}}, T_{\text{харак. уч-ка}}, \sum T_{\text{поезд}}^j, T_{\text{неиспр.}}, \Delta T_{\text{ДЦ}},$$
$$T_{\text{пропуск (пасс.+ груз.)}}, T_{\text{пропуск пригор.}}, T_{\text{форм.}}, T_{\text{скрещ.}}, T_{\text{мест. раб.}}, \quad (3.89)$$

где: $T_{\text{одинак. для всех уч.}}$ – затраты времени на выполнение операций,

одинаковых для всех участков, мин./сут.;

$T_{\text{харак. уч-ка}}$ – затраты времени, которые рассчитываются от-

дельно для каждого участка в зависимости от его индивидуальных характеристик, мин./сут.;

$\sum T_{\text{поезд}}^j$ – затраты времени на операции, возникающие с отдельными поездами (при отправлении и пропуске поездов вне расписания, с негабаритным грузом, длинносоставных поездов и т. п.), мин./сут.;

$T_{\text{неиспр.}}$ – затраты времени на операции, связанные с возникновением различных неисправностей на участке, мин./сут.;

$\Delta T_{\text{ДЦ}}$ – дополнительные затраты времени на обслуживание участков, оснащенных устройствами диспетчерской централизации, мин./сут.

$T_{\text{пропуск}}$ (пасс.+груз.) – затраты времени на операции, выполняе-

мые при сквозном пропуске пассажирских и грузовых поездов, локомотивов, других подвижных единиц, мин./сут.;

$T_{\text{пропуск}}$ пригор. – затраты времени на операции, выполняемые

при пропуске пригородных поездов, мин./сут.;

$T_{\text{расф}}$ – затраты времени на операции, выполняемые при приеме грузовых и пассажирских поездов на станцию назначения, мин./сут.;

$T_{\text{форм}}$ – затраты времени на операции, выполняемые при отправлении грузовых и пассажирских поездов со станции формирования, мин./сут.;

$T_{\text{мест.}}$ раб. – затраты времени на операции, выполняемые при

приеме-отправлении местных поездов с производством работы на станции, мин./сут.;

$T_{\text{скреж}}$ – затраты времени на операции, выполняемые при скрещении поездов на однопутном участке, мин./сут.

– рассматриваемые варианты границ участка:

$$MVGU = \{ \{ NSTG \} [kstv] \} [kvg], \quad (3.90)$$

где $NSTG$ – количество станции на границе участка;

$kstv$ – количество станций в данном варианте;

kvg – количество рассматриваемых вариантов.

Критерий оптимальности выбора границ – максимум числа поездов, которые диспетчеры смогут пропустить по участку в сутки:

$$K = \max_{i \in M^{62}} \left\{ \sum_{j=1}^{K^{kn}} K^{несум} \right\}_j, \quad (3.91)$$

где $K^{несум}$ – количество поездов данной категории, планируемых к пропуску за сутки;

K^{kn} – количество категорий поездов;

M^{62} – множество заданных вариантов границ участка.

Управляющее воздействие – перебор вариантов границ:

$$1 \rightarrow j \rightarrow kvg, \quad (3.92)$$

Ограничение на управление – допустимая загрузка диспетчера:

$$T \leq T^{don}, \quad (3.93)$$

где $T^{don} = 78,7\%$ сменного времени или $0,787 \times 720 = 566,64$ минуты.

Разбиение района на участки диктуется множеством технологических условий, которые нельзя оценить количественно. При этом напрашивается некоторое количество допустимых с точки зрения этих условий вариантов. Эти варианты можно задать в качестве входной информации – массива $MVGU$. Рассматриваемая задача может выбрать из указанных вариантов оптимальный или не выбрать никакой. В последнем случае перечень вариантов должен быть пересмотрен.

3.3.2. Составление графика движения грузовых поездов (11. sgdg)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

В настоящее время график движения грузовых поездов составляется автоматизированным способом в системе АСРГД [12]. В литературе описана информационная технология составления графика, названы функции и задачи. При этом формализованных постановок задач в доступной печати нет, вопрос о получении оптимального графика не ставился. В связи с этим в настоящей работе делается попытка дать формализованную постановку задачи составления оптимального графика для одного диспетчерского участка.

Оптимальным можно считать график в двух случаях:

– при достижении максимума пропускной способности:

– либо при достижении минимума числа используемых локомотивов.

При стремлении повысить пропускную способность участка в качестве критерия предлагается максимальное число пропускаемых по участку поездов:

$$K_1 = \max_{j \in M^{62}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{kn}} K^{nk} T^k \right\} j, \quad (3.94)$$

где K^{nk} – количество поездов данной категории;

T^k – длительность хода по участку поезда данной категории;

K^{kn} – количество поездов данной категории в сутки;

M^{62} – множество просматриваемых вариантов сочетаний количеств поездов разных категорий.

Управляющие воздействия – перебор вариантов сочетаний количества поездов разных категорий (j)

Ограничения:

– продолжительность суточного времени:

$$\sum_{i=1}^{K^{kn}} T \leq 1440, \quad (3.95)$$

– не превышение планируемых размеров движения поездов по категориям (K^{nk}) тех размеров, которые были приняты при расчете загрузки диспетчера (KDM , KP и т. д. – (3.87)).

Входная текущая информация:

– длительности пропуска поездов по категориям

$$MKP = \{NKAT, T\} [kkp], \quad (3.96)$$

где $NKAT$ – код категории поезда;

T – длительность хода поезда данной категории;

kkp – количество категорий.

– рассматриваемые варианты сочетаний количеств поездов:

$$MVAR = \{ \{ NKAT, KPK \} [kkr] \} [kvp], \quad (3.97)$$

где kvp – количество просматриваемых вариантов сочетаний количеств поездов разных категорий.

При достижении минимума числа используемых локомотивов в качестве **критерия оптимальности №2** – предлагается минимум числа ниток графика:

$$K_1 = \min_{j \in M^{62}} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{kn}} K^{nk} T^k \right\} j. \quad (3.98)$$

Управляющие воздействия – перебор вариантов сочетаний количества поездов разных категорий (j).

Ограничение: для каждого планируемого поезда иметь две нитки (одна из которых является запасной) при соблюдении (3.88).

3.3.3. Составление технического плана поезда работы подразделения (12. stpp)

Задача предназначена для стадии организации процессов.

Обоснование необходимости совершенствования технического планирования рассмотрены в п. 3.1.3. Постановка задачи планирования поезда работы аналогична постановке задачи планирования грузовой работы.

Входная текущая информация:

- месячный портфель заявок на перевозки – MZP (2.14);
- планируемые месячные доходы от перевозок – $NOPD$ (2.13);
- технический план объёмов суточной погрузки для объектов инфраструктуры, соответствующий затратам на их содержание (3.26).

Нормативно-справочная информация:

– затраты на содержание объектов инфраструктуры, обеспечивающих поездную работу:

Выходная информация:

– технический план поездной работы:

$$MTPPR = \{NSTO, \{NSTP, \{NG, PG, KP\} [krgpo]\} [kstp]\} [ksto] \quad . \quad (3.99)$$

где *NSTO* – код станции отправления поезда;

NSTP – то же, прибытия;

NG – код груза;

PG – вес груза;

KP – количество поездов;

krgpo – количество родов груза, планируемых к работе на данной станции;

kstp – количество станций прибытия поездов на данную станцию с данной станции отправления;

ksto – количество рассматриваемых станций отправления груженых или порожних поездов.

Критерий оптимальности управления – максимум суммарной прибыли ОАО «РЖД» и компаний операторов от перевозок грузов (3.27).

3.3.4. Составление сменно-суточного плана (13. sspp)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

При разработке системы СИРИУС предусматривалось создание так называемого «контура планирования перевозок», который должен функционировать по критерию «минимизации отклонения факта от технической нормы» [12]. В работе [22] предусмотрено организация для этой цели подсистемы сменно-суточного планирования. В документе [23] определен состав выходной информации подсистемы для сетевого, дорожного и отделенческого уровня. При этом задачи системы

были только перечислены, а их постановки не приведены. Из содержания указанных материалов можно сделать следующие выводы:

– авторы подходили к разработке как к переложению известных функций персонала на вычислительную технику без применения экономико-математических методов;

– как следствие – в работах и проектах не были использованы системные подходы и принципы выявления, постановки и решения новых задач.

В связи с этим в настоящей работе делается попытка оторваться от привычных представлений и предложить формализованные постановки целенаправленных оптимизационных задач.

Исходной посылкой для постановок задач может быть принято содержащееся в нормативных документах ОАО «РЖД» требование о направлениях (целях) планирования:

– *на сетевом уровне:*

– равномерное и беспрепятственное продвижение поездопотоков по дорогам (*A*) и их подвод к выделенным станциям, портам, пограничным переходам и крупным путям необщего пользования (*B*);

– равномерный обмен поездами по стыковым пунктам между дорогами в соответствии с графиком движения (*C*);

– выполнение установленных по сети дорог (*D*) и по каждой дороге (*E*) показателей использования подвижного состава;

– *на дорожном уровне:*

– беспрепятственное продвижение поездопотоков по дороге (*F*), своевременный подвод к станциям назначения (*G*) и пунктам сдачи (*H*) на основе взаимодействия с портами, пограничными переходами и крупными подъездными путями;

– беспрепятственный обмен поездами по стыковым пунктам дороги (*K*) и её отделений (*L*);

– своевременную передачу (M) и развоз (N) местного груза и порожних вагонов;

– на районном уровне:

– выполнение заданий по приему (R) и отправлению (S) поездов и вагонов, в том числе и по регулировке при условии выполнения графика движения поездов, соблюдения плана формирования и основных качественных показателей работы;

– выполнение установленных показателей использования подвижного состава (T).

Не трудно заметить, что указанные цели взаимозависимы и противоречивы. А главное то, что они не направлены на конечную цель. Поэтому прежде всего следует упорядочить цели по убыванию их значимости (рисунок 3.1).

Оптимизировать заданный план перевозок с целью A можно за счет равномерного распределения плановых заданий по ниткам графика движения.

Но для суточного периода времени это будет неэффективным. Как показано в работе [23], через 3 часа такой план становится нереальным из-за того, что перевозочный процесс выходит из-под контроля. В связи с этим в работе [24] предложено внутрисуточное планирование с дискретностью сеансов, равной 3 часам.

Поэтому в качестве управляющего воздействия предлагается деление суточного объема работ на две части: для первой и для второй смены:

$$M_{сут}^{cmp} = M_1^{cmp} \cup M_2^{cmp}, \quad (3.100)$$

где $M_{сут}^{cmp}$ и др. – множества строк соответствующих планов перевозок.

В качестве второго управляющего воздействия предлагается деление каждого сменного плана (M_1^{cmp}, M_2^{cmp}) на четыре «трехчасовые» части. Например:

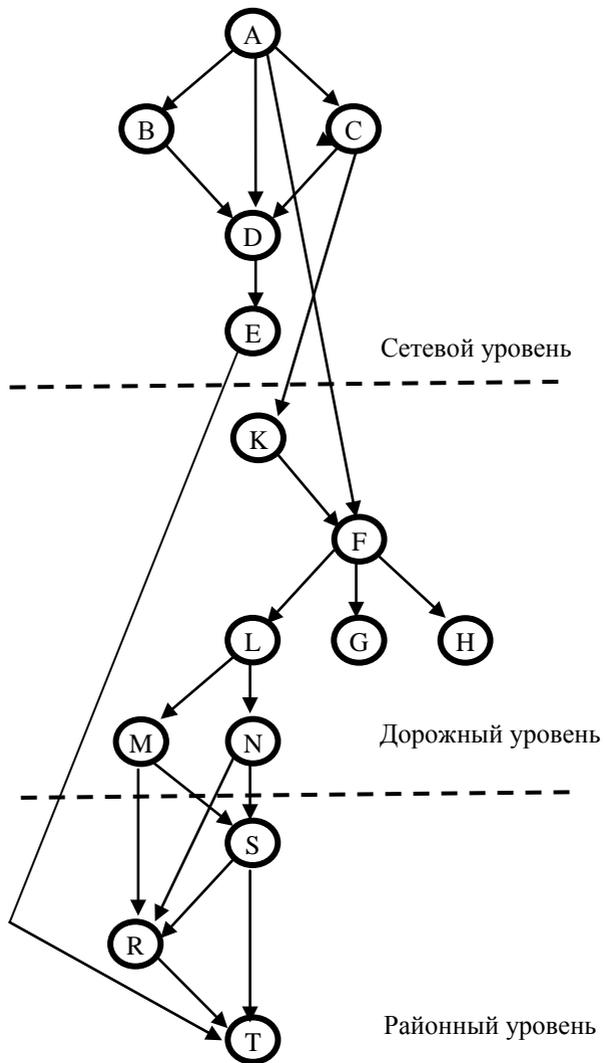


Рисунок 3.1. Дерево целей управления поездной работой при планировании на предстоящие сутки

$$M_1^{cmp} = M_1^3 \cup M_2^3 \cup M_3^3 \cup M_4^3, \quad (3.101)$$

где M_1^3 , и др. – множества строк планов перевозок. первого, второго, третьего и четвертого периодов двенадцатичасовой смены.

При этом в каждом получившемся плане перевозок будут содержаться задания только по груженным поездопотокам. Задания на порожние поездопотоки должны формироваться в процессе распределения порожних вагонов на очередной трехчасовой период.

Очевидно, что цель A может относиться только к сетевым перевозкам, а по отношению к внутридорожным перевозкам выступать в качестве ограничения. Цель F может относиться только к внутридорожным перевозкам и выступать в качестве ограничения для внутрирегионных перевозок (через цели M, N).

В связи с этим предлагается раздельное планирование перевозок на сетевом, полигонном (дорожном) и районном (районном) уровнях с соблюдением иерархии приоритетов этих уровней. При этом для каждого уровня будут соблюдаться правила разбиения плана перевозок, вытекающие из (3.100, 3.101).

Таким образом, в результате сменно-суточного планирования поездной работы будут составляться планы перевозок грузов на каждый трёхчасовой период суток с упорядочением заданий (строк) планов по убыванию доходности. Структура массива каждого плана дана в (2.14).

3.3.5. Привязка локомотивов к ниткам графика движения поездов (15. pln)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Необходимо привязать локомотивы таким образом, чтобы максимальное количество грузовых поездов было доставлено

в пункты назначения в заданные сроки, а каждый освободившийся локомотив успел прибыть на пункт технического обслуживания до истечения нормативного межоперационного времени. Такая постановка задачи была рассмотрена в работе [25].

Входная текущая информация:

– справка о завершении локомотивами последних операций ТО-2:

$$MZTO = \{ NL, DZTO, TZTO \} [kl], \quad (3.102)$$

где NL – номер локомотива;

$DZTO$ – дата завершения операции;

$tZTO$ – время завершения;

kl – количество планируемых локомотивов;

– план отправления поездов со станции подачи локомотива:

$$MPO = \{ NP, DO, TO, NSTN \} [kp], \quad (3.103)$$

где NP – номер поезда;

DO – дата отправления поезда со станции;

TO – момент отправления;

$NSTN$ – код станции назначения поезда;

kp – количество отправляемых поездов по плану.

Нормативно-справочная информация:

– справка о временах хода локомотивов по маршрутам следования

$$MVH = \{ NSTO, \{ NSTN, TH \} [kstno] \} [ksto], \quad (3.104)$$

где $NSTO$ – код станции отправления на маршрут;

TH – время хода поезда между станциями;

$ksto$ – количество станций отправления на участке работы локомотивов;

$kstno$ – количество станций назначения для одной станции отправления;

– код станции размещения пункта технического обслуживания – *NSTPTOL*;

– код станции прибытия локомотивов к составам – *NSTPL*;

– время работы локомотива между двумя операциями ТО-2 – *TTO*;

– нормативные варианты привязки трёх локомотивов:

$$MVP3 = \{ \{ NPL \} [3] \} [6], \quad (3.105)$$

где *NPL* – номер привязываемого локомотива;

– нормативные варианты прикрепления четырёх локомотивов:

$$MVP4 = \{ \{ NPL \} [4] \} [24], \quad (3.106)$$

и т. д.

Выходная информация:

– план прикрепления локомотивов к поездам:

$$MPL = \{ NL, DTP, DVP, TVP, NP, DO, TO, NSTN, DP, TN \} [kl], \quad (3.107)$$

где: *NL* – номер локомотива;

DTP – дата требуемого прибытия локомотива;

TTP – время требуемого прибытия локомотива

DVP – дата возможного прибытия локомотива;

TVP – время возможного прибытия локомотива;

NP – номер поезда;

DO – дата отправления поезда;

TO – время отправления поезда;

NSTN – код станции назначения поезда;

DP – дата прибытия поезда;

TN – время прибытия поезда;

kl – количество планируемых локомотивов.

Критерий оптимальности прикрепления:

Максимальное число поездов, обеспечиваемых локомотивами

$$K = \max_{y \in M^{6лп}} \left\{ \sum_{x=1}^{K^л} I(k=1) \right\}_y, \quad (3.108)$$

где: I – индикатор множества строк плана;
 y – текущий номер варианта плана;
 $M^{6лп}$ – множество вариантов плана.

Ограничение – по срокам прибытия освободившихся локомотивов в пункт технического обслуживания:

$k = 1$ при условии, что:

$$(DVP \leq DTP)_x \ \& \ (TVP \leq TTP)_x, \quad (3.109)$$

Управляющее воздействие – изменение вариантов привязки локомотивов к составам:

$$1 \rightarrow y \rightarrow kl!, \quad (3.110)$$

где: y – текущий номер варианта.

3.3.6. Планирование организации и продвижения поездопотоков (16. ропр)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Необходимо составить такой план отправления и продвижения поездопотоков, чтобы:

- для каждого поездопотока были монополизированы нитки графика по принципу «от двери до двери»;
- затраты на доставку грузов и порожних вагонов по плану были минимальными.

Постановка задачи была рассмотрена в работе [15], где критерием оптимальности плана предложен минимум совокупной стоимости затрат вагоно-часов и локомотиво-часов. В настоящей работе предлагается также и второй критерий – минимум суммы пеней за опоздание доставки грузов и вагонов.

Входная текущая информация:

– план отправления и продвижения сетевых поездопотоков:

$$MPPPS = \{NZ, KP, \{NMAR, NSTO, NSTN, DO, DP, KUCH, PP, LP, IP, \{NSTU, NP, NL, DP, TP, \{NGV, \{NG, KV\} \{kngn\}, \{KSOB, \{TV, KGOD, KV\} \{ktvs\}\} \{ksobn\}\} \{kuchm\}\}, \{kmarz\}\} \{kzp\} \quad , \quad (3.111)$$

где: *NZ* – номер заявки;

NZ – номер заявки;

KP – количество поездов, необходимое для выполнения заявки;

NMAR – номер маршрута;

NSTO – код станции отправления;

NSTN – код станции назначения;

DO – дата отправления;

DP – дата прибытия поезда на станцию назначения;

KUCH – количество участков в маршруте;

PP – масса поезда;

LP – длина поезда;

IP – индекс поезда;

NSTU – код конечной станции графического участка;

NP – номер поезда;

NL – номер локомотива;

DP – дата прибытия поезда на конечную станцию участка;

TP – момент прибытия поезда;

NGV – назначение группы вагонов;

NG – код груза;

KV – количество вагонов с данным грузом;

KSOB – код собственника вагона;

TV – тип (модель) вагонов;

KGOD – категория годности вагонов;

KV – количество вагонов данного типа;

kngn – номенклатур грузов одного назначения;

ktvs – типов вагонов одного собственника в группе;

ksobn – собственников вагонов одного назначения;

kuchm – участков в маршруте;

kmarz – маршрутов, реализующих одну заявку;

kzp – заявок, реализуемых в одном цикле расчёта;

– копия плана внутридорожных перевозок (2.14);

– копия плана распределения порожних вагонов с рекомендациями способов доставки:

$$MPRVP2 = \{KSV, \{NSTD, \{NSTP, DP, NZ, \{TV, KV, \{KVD, SD\} [2]\} \{ktvop\} \} \{kstd\} \} \{ksob\}, \quad (3.112)$$

где *KVD* – количество вагонов, доставляемых одинаковым способом;

SD – способ доставки данной группы вагонов (отдельным поездом или прицепной группой);

другие условные обозначения см. в (3.45);

– копия плана передислокации порожних вагонов с рекомендациями способов доставки (*MPRVO2*), структура которого аналогична приведенной в (3.112), отличающаяся только тем, что реквизит *NSTP* заменен реквизитом *NSTO* (станция отстоя).

Нормативно-справочная информация:

– участковый состав маршрутов:

$$MUSM = \{NMAR, NSTO, NSTN, KVAV, \{NVAR, DOP, PP, LP, KU, \{NUCH\} \{kuchv\} \} \{kvmar\} \} \{kmar\}, \quad (3.113)$$

где: *NMAR* – номер маршрута;

KVAR, *kvmar* – количество вариантов маршрута;

NVAR – номер варианта;

DOP – допустимость варианта;

KU, *kuchv* – количество участков маршрута в данном варианте;

NUCH – номер участка;

kmar – количество прокладываемых маршрутов на дороге;

kuchv – количество участков в варианте маршрута;

kvmar – количество вариантов маршрута;

– графики движения поездов по участкам:

$$MGD = \{NSTO, NSTN, \{NP, PZ, PRZ, NL, TO, TP\} [knit]\} [kuch], \quad (3.114)$$

где: *PZ* – признак занятости нитки;

PRZ – прогноз занятости нитки;

NL – номер локомотива;

TO – момент отправления поезда на участок;

TP – момент прибытия поезда на конечную станцию участка или на станцию назначения;

knit – ниток в графике движения поездов;

kuch – графиковых участков на дороге;

– расходные ставки:

$$MRS = \{NPOK, RST\} [knpok] \quad , \quad (3.115)$$

где: *NPOK* – натуральный показатель;

RST – расходная ставка;

knpok – количество натуральных показателей.

– отдельные нормативы:

$$MNOR = (kngn, ktvs, ksobn, kuchm, kmarz, kzp, kuchv, kvmar, kmar, knit, kuch, knpok), \quad (3.116)$$

Выходная информация:

– план отправления поездов и продвижения внутридорожных поездопотоков (*MPPP* – см. (3.111)):

Критерий №1 оптимальности плана – минимум суммы стоимости затрат вагоно-часов, локомотиво-часов и энергозатрат:

$$K_1 = \min_{p \in M^{6n}} \{ (CVCV \cdot AVCH) + (CLCH \cdot LVCH) + (CKVTKVT \cdot AKVTK) \}_j, \quad (3.117)$$

где: M^{6n} – множество вариантов плана

$CVCH$ – расходная ставка одного вагоно-часа;
 $AVCH$ – затраты вагоно-часов по j -му варианту плана МРРР;

$CLCH$ – расходная ставка одного локомотиво-часа;
 $ALCH$ – затраты локомотиво-часов по j -му варианту плана МРРР;

$СКВТЧ$ – расходная ставка одного киловатт-часа;
 $АКВТЧ$ – затраты киловатт-часов по j -му варианту плана МРРР.

Критерий №2 оптимальности плана – минимум суммы пеней за нарушение сроков доставки грузов и порожних вагонов

$$K = \min_{i \in M^{en}} \left\{ \sum_{p=1}^{K^{cn}} \sum_{q=1}^{K^{on}} (D_n^c - D_n^{nn})_p \cdot C_q^n \right\}_j, \quad (3.118)$$

где D_n^c – дата планируемого прибытия p -го поезда по графику;

D_n^{nn} – то же, по плану перевозок;

C_q^n – размер пени за опоздание q -ой отправки в составе p -го поезда;

K^{on} – количество отправок в поезде (строке плана МРРР);

K^{cn} – количество строк в плане МРРР.

Управляющие воздействия:

– изменение очередности обслуживания поездопотоков:

$$1 \rightarrow j \rightarrow kzp!; \quad (3.119)$$

– изменение варианта маршрута следования поездопотока:

$$1 \rightarrow s \rightarrow kmarz ; \quad (3.120)$$

Ограничения:

– по конкурентности планируемых маршрутов:

$$M_p^{uchm} \cap M_q^{uchm}; \quad (3.121)$$

где: M_p^{uchm} – множество участков p -го маршрута;

M_q^{uchm} – множество участков q -го маршрута;

– по бронированию ниток для сетевых перевозок:

$MPPPSI$ – копия плана отправления поездов и продвижения поездопотоков для выполнения сетевых перевозок (3.112):

– по нарушению срока доставки:

$$\left(D_n^c - D_n^{nn} \right)_p > 0, \quad (3.122)$$

3.3.7. Распределение групп вагонов по неполносоставным поездам (17. rvp)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

Постановка задачи была предложена в работе [26] и формулировалась следующим образом. «Составить такой план прицепок, который обеспечит сведение к минимуму затраты вагоно-часов, возникающих из-за опоздания отправления транзитных поездов и прицепляемых вагонов».

Входная текущая информация:

– перечень групп вагонов, нуждающихся в прицепке:

$$MGV = \{ NGV, NSTN, LGV, PGV \} [kgv], \quad (3.123)$$

где NGV – условный номер группы прицепных вагонов;

$NSTN$ – код станции назначения вагонов;

LGV – длина группы прицепных вагонов;

PGV – их масса брутто;

KTV – количество групп прицепных вагонов;

– план обработки транзитных поездов:

$$MTP = \{ NP, IP, tO, LP, PP \} [ktp], \quad (3.124)$$

где IP – индекс поезда;

tO – момент отправления поезда со станции дислокации прицепных вагонов;

LP – длина поезда в вагонах;

PP – масса поезда брутто;

ktp – количество транзитных поездов в плане.

Нормативно-справочная информация:

– выписка из графика движения поездов:

$$MGD = \{ NP, NSTN, tO LP, PP \} [knit], \quad (3.125)$$

где $kmit$ – количество ниток в графике движения поездов;

– описание вариантов для *двух групп вагонов*:

$$MVAR2 = \{ \{ NP, NGV \} [2] \} [2], \quad (3.126)$$

– описание вариантов для *трех групп вагонов*:

$$MVAR3 = \{ \{ NP, NGV \} [3] \} [6], \quad (3.127)$$

– описание вариантов для *четырёх групп вагонов*:

$$MVAR4 = \{ \{ NP, NGV \} [4] \} [24], \quad (3.128)$$

– средняя длительность операции прицепки группы вагонов – TPR .

Выходная информация:

– план прицепок вагонов к поездам:

$$MPVP = \{ \{ NP, NGV, K \} [kppv], K \} [2], \quad (3.129)$$

где $kppv$ – количество поездов с прицепными вагонами;

K – критерий оптимальности.

– скорректированный план обработки транзитных поездов (МТП-143):

Критерий оптимальности:

$$K = \min_{q \in Q} \left\{ \sum_{i=1}^{K^{nm6}} (t_j^{oc} - t_j^{o3}) \cdot L_j^{nc} \right\}_q, \quad (3.130)$$

где Q – множество вариантов плана прицепок;

t_j^{oc} – момент отправления поезда по скорректированному плану;

t_j^{o3} – то же, по заданному до корректировки;

L_j^{nc} – длина поезда после корректировки плана ;

Управляющее воздействие:

– изменение варианта расчётного закрепления групп прицепляемых вагонов за транзитными поездами

$$1 \rightarrow q \rightarrow K^{63} ; \quad (3.131)$$

где K^{63} – количество вариантов закрепления при заданном количестве групп вагонов (2, 3, 4 и т. д.).

Ограничения

– назначение вагонов в рассматриваемом текущем варианте должно совпадать с назначением поезда (в противном случае постановку задачи и алгоритм следует усложнить):

$$MGV \ NSTN = MTP \ IP \ NSTN ; \quad (3.132)$$

– количество групп вагонов должно быть равно количеству поездов (в противном случае нормативно-справочная информация и комбинаторика должны быть усложнены):

$$ktp = kgv ; \quad (3.133)$$

3.3.8. Планирование обработки транзитных поездов (18. потр)

Задача предназначена для стадии функционирования процессов.

В работе [20] в качестве одного из регулировочных приемов предложено регулирование очередности пропуска транзитных поездов. Поскольку это больше всего касается сортировочных станций, то целесообразно рассмотреть вопрос управления очередностью именно на сортировочных станциях. В работах [13, 6] предложена задача планирования маршрутов для транзитных поездов. При этом она поставлена не как задача управления. В связи с этим в настоящей работе предпринимается попытка дать постановку этой задачи как оптимизирующей.

Входная текущая информация:

– план прибытия поездов:

$$MPRP = \{ \{ NZ, TPRIB, NMS, NP, STF, PNS, STN, VP, NPER, TMAN, LP, PP, \{ NGV, \{ NG, KV \} \} [kkg] \} [kgvz], \{ KSOB, \{ NPV, TV, KV \} \} [ktsv] \} \{ ksobz, NL1, NL2 \} [kp15] \} [kssis], \quad (3.134)$$

где: *NZ* – номер заявки;

TPRIB – момент прибытия «хвоста» поезда за предельный столбик;

NMS – номер поезда;

NP – номер поезда;

STF – код станции формирования поезда;

PNS – порядковый номер состава, сформированного на данной станции;

STN – код станции назначения поезда;

VP – вид перевозок;

NPER – код перегона прибытия;

TMAN – длительность манёвров;

LP – длина поезда;

PP – масса поезда;
NGV – назначение группы груженых вагонов;
NG – код груза;
KV – количество вагонов;
KSOB, ksobz – количество собственников вагона, представленных в одной заявке;
NPV – назначение порожнего вагона;
NL1 – номер головного локомотива;
NL2 – номер второго локомотива;
kgvz – количество видов груза, охваченных одной заявкой;
kgg – количество кодов груза для данного назначения;
kgvz – количество назначений для грузовых вагонов в заявке;
ktvs – количество типов вагона данного собственника в заявке;
kp15 – количество поездов, которое может прибыть за 3 часа;
kssis – количество сортировочных систем на станции;
 – модель текущего состояния парка транзитного парка:

$$MTSPP = \{ \{ NMS, LMS, EMS, NP, LP, STF, PNS, STN, TG, TMAN, TP, NL1, NL2, KOL1, KOL2 \} [kmspp] \} [kssis], \quad (3.135)$$

где: *NMS* – код места стоянки (пути в парке) состава;

LMS – длина места стоянки в вагонах

EMS – состояние места стоянки;

NP – номер поезда;

TG – момент готовности поезда к роспуску;

TMAN – длительность манёвров;

TP – момент прибытия хвоста поезда;

NL1 – номер первого локомотива;

NL2 – номер второго локомотива;

KOL1 – код ориентации первого локомотива;

KOL2 – код ориентации второго локомотива;

kmspp – количество путей парка прибытия;

– заданный план отправления поездов:

$$MPO = \{ \{ VP, \{ NZP, NP, TO, NPF, PP, LP, \{ NGV, \{ NG, KV \} \} [kvg] \} [kgvz], \{ KSOB, \{ NPV, TV, KV \} [ktvs] \} [ksobz], \{ NL, NLB \} [knit] \} [3] \} [kssis], \quad (3.136)$$

где: *VP* – вид перевозок;

TO – время отправления поезда;

NPF – код станции назначения, определяющий направление следования поезда;

NL – номер головного локомотива;

NLB – код бригады головного локомотива;

knit – количество ниток в плане.

Нормативно-справочная информация:

– график движения поездов по отправлению:

$$MGD = \{ \{ NP, TO, NPF, PP, LP \} [knit] \} [kssis], \quad (3.137)$$

где *knit* – количество ниток в графике движения;

– нормативы времени на операции:

$$MNO = \{ NO, T \} [kvto], \quad (3.138)$$

где *NO* – код операции;

T – длительность операции;

kvto – количество нормативов времени;

– варианты очередности отправления двух составов:

$$MVO2 = \{ P, NOCO \} [2] \} [2], \quad (3.139)$$

– варианты очередности отправления трех составов:

$$MVO3 = \{ P, NOCO \} [3] \} [6], \quad (3.140)$$

Выходная информация:

– план установки маршрутов транзитным поездам:

$$MTP = \{ \{ NZ, NP, STF, PNS, STN, NSH, \{ TO, LP, NMO, NMN, NPGD \} [3] \} [ktp3] \} [kssis], \quad (3.141)$$

где: *STF* – код станции формирования поезда;

PNS – порядковый номер состава, отправленного со станции формирования;

NSH – код схемы маршрута;

TO – момент выезда с места отправления;

L – длина поезда в вагонах;

NMO – код пути отправления;

NMN – код пути назначения;

NPGD – номер поезда по отправлению;

ktp3 – количество транзитных поездов на трёхчасовом периоде;

Критерий оптимальности плана – минимальное суммарное отклонение планируемых маршрутов по времени отправления от заданных моментов отправления:

$$K = \min_{i \in M^{smn}} \left\{ \sum_{j=1}^{K^{nmn}} (t^{on} - t^{o3}) \cdot K^{\epsilon} \right\}_i, \quad (3.142)$$

где M^{smn} – множество вариантов плана установки маршрутов транзитным поездам;

t^{on} – планируемый момент отправления поезда;

t^{o3} – заданный момент отправления поезда;

K^{ϵ} – количество вагонов в поезде;

K^{nmn} – количество поездов в плане.

Управляющие воздействия:

– изменение очередности отправления транзитных поездов:

$$1 \rightarrow i \rightarrow (ktp3)! ; \quad (3.143)$$

– изменение пути приема j -го транзитного поезда в i -ом варианте:

$$1 \rightarrow k \rightarrow (ktp) , \quad (3.144)$$

где ktp – количество путей приёма транзитных поездов, по разному влияющих на длительность обработки поезда.

3.4. Управление маневровой работой

3.4.1. Выбор очередности расформирования составов на горке (19. vors)

Традиционно очередность расформирования составов на горке устанавливалась маневровым диспетчером в порядке их прибытия на данную станцию. Такой порядок соответствует традиционным представлением о справедливом оказании услуг и не требует усилий при организации сортировочной работы в масштабе реального времени. При этом остаются неиспользованными имеющиеся возможности достижения более высоких показателей работы станции.

В условиях плановой экономики считалось, что одним из основных показателей является наименьший простой вагона. Поэтому работа маневрового диспетчера оценивалась по количеству отправленных за смену поездов своего формирования. Для ускорения отправления таких поездов диспетчер подбирал для очередного роспуска состав, имеющий хотя бы одну замыкающую группу вагонов. Планирование роспуска велось не более, чем на два-три разборочных состава.

Постановка задачи автоматизированного выбора очередности роспуска первоначально была предложена в работах [27–30]. Дальнейшее развитие теоретических и практических аспектов задачи отражено в работах [16, 31]. Отличие от первоначальных постановок состоит в следующем:

– встроенность процедуры решения в информационную технологию маневрового диспетчера;

– применение в качестве критерия оптимальности отправления иерархического критерия, в котором:

– отражена приоритетность сетевых, дорожных и районных перевозок, а также показателей сменно-суточного плана работы станции;

– анализируется оценка плана по количеству отправляемых гружёных вагонов заданных номенклатур грузов и порожних вагонов заданных типов;

– наличие возможности пересчета формируемых планов в любой момент времени;

– возможность совместного планирования до 4 последовательно и до 7 – параллельно распускаемых составов с приемлемым временем реакции.

Постановка задачи следующая.

Входная текущая информация:

Задание:

– план отправления поездов:

$$MPO = \{ \{ VP, \{ NZP, NP, TO, NPF, PP, LP, \{ NGV, \{ NG, KV \} [kgg] \} [kgvz], \{ KSOB, \{ NPV, TV, KV \} [ktvs] \} [ksobz], \{ NL, NLB \} [kl] \} [3] \} [kssis], \quad (3.145)$$

где: *VP* – вид перевозок;

NZP – номер заявки;

NP – номер поезда;

TO – время отправления поезда;

NPF – код станции назначения, определяющий направление следования поезда;

PP – масса поезда;

LP – длина поезда в вагонах;

NGV – назначение грузового вагона;

NG – код груза;

KV – количество вагонов;

KSOB – код собственника;

NPV – назначение порожнего вагона;
TV – тип вагона;
KV – количество вагонов;
NL – номер головного локомотива;
NLB – код бригады головного локомотива;
kgg – количество кодов груза в данном назначении;
kgvz – количество видов, груза, охваченных одной заявкой;
ktvs – количество типов вагона данного собственника в заявке;
ksobz – количество собственников вагонов в данной заявке;
kl – количество локомотивов в поезде;
kssis – количество сортировочных систем на станции;
 – рекомендации по формированию поездов повышенной транзитности:

$$MPPT = \{ \{ NBD, NPF, LP, NMSSP \} [kpbd] \} [kssis], \quad (3.146)$$

где: *NBD* – код более дальнего назначения
NMSSP – код сортировочного пути накопления вагонов более дальнего назначения;
kpbd – количество заданных более дальних назначений;

Ресурсы:

– рекомендации по режиму работы станции:

$$MRJ = \{ \{ KPR, NPR \} [3] \} [kssis], \quad (3.147)$$

где: *KPR* – код процесса (приёма, отпуска, отправления);
NPR – показатель приоритета (1 ∨ 2 ∨ 3);

– распределения разборочных составов

$$MRS = \{ \{ PR, \{ PP, \{ NP \} [4] \} [3] \} [3] \} [kssis], \quad (3.148)$$

где: *PR* – признак приоритета;
PP – признак половины горки;

– текущее состояние парка прибытия:

$$MTSPP = \{ \{ NMS, LMS, EMS, NP, LP, STF, PNS, STN, TG, TMAN, TP, NL1, NL2, KOL1, KOL2 \} [kmspp] \} [kssis], \quad (3.149)$$

где: *EMS* – состояние пути;

TG – момент готовности поезда к роспуску;

TMAN – длительность манёвров;

TP – момент прибытия хвоста поезда;

NL1 – номер первого локомотива;

NL2 – номер второго локомотива;

KOL1 – код ориентации первого локомотива;

KOL2 – код ориентации второго локомотива;

kmspp – количество путей парка прибытия;

– план прибытия поездов:

$$MPRP = \{ \{ NZ, TPRIB, NP, STF, PNS, STN, VP, NPER, TMAN, LP, PP, \{ NGV, \{ NG, KV \} \} [kkg] \} [kgvz], \{ KSOB, \{ NPV, TV, KV \} \} [ktvs] \} [ksobz], NLG, NLH \} [kp3] \} [kssis], \quad (3.150)$$

где: *TPRIB* – момент прибытия «хвоста» поезда за предельный столбик;

STF – код станции формирования поезда;

PNS – порядковый номер состава, сформированного на данной станции;

STN – код станции назначения поезда;

NPER – код перегона прибытия;

TMAN – длительность манёвров;

NLG – номер головного локомотива;

NLH – номер второго локомотива;

kp3 – количество поездов, которое может прибыть за 3 часа;

– план установки маршрутов вагонам углового потока:

$$MPUP = \{ \{ NZP, NP, PT, NSH, \{ TO, LP, NMO, NMN \} [3] \} [kup15] \} [kssis], \quad (3.151)$$

где: *PT* – признак транзитного поезда;

NSH – код схемы маршрута продвижения по станции;
ТО – момент выезда с места отправления;
NMO – код пути выезда;
NMN – код пути назначения в маршруте;
kip – количество угловых передач за трехчасовой период;
 – характеристика групп вагонов по назначениям:

$$\begin{aligned}
 M H G N = \{ & N P, S T F, P N S, S T N \{ N P F, L, V P, \{ N G, P S \} k g p \}, \\
 \{ T V, K P V \} [k t v p] \} [k n p] \} [k p m h], & \quad (3.152)
 \end{aligned}$$

где: *L* – длина группы вагонов данного назначения в вагонах;
PS – масса отцепы;
kgp – количество видов груза в вагонах данного назначения;
KPV – количество порожних вагонов данного типа;
ktivp – количество типов вагона в группе данного назначения;

knp – количество назначений в поезде

kpmh – количество поездов в массиве характеристик

– план потребности и обеспеченности ниток графика локомотивами:

$$M P O L = \{ \{ N P, T O T, T O W, N L W, N L B W \} [k n i t] \} [k s s i s], \quad (3.153)$$

где: *TOT* – требуемый момент отправления поезда;

TOW – момент отправления поезда, обеспеченный выделенным локомотивом;

NLW – номер выделенного локомотива;

NLBW – код выделенной локомотивной бригады;

– текущее состояние сортировочного парка:

$$M T S S P = \{ \{ N M S, N P F T, P, L [k m s s p] \} [k s s i s], \quad (3.154)$$

где: *NMS* – номер сортировочного пути;

NPFT – код текущей специализации пути;

P – величина накопленной массы груза;

L – длина накопленного состава;

Нормативно-справочная информация:

– тяготение перегонов по прибытию к горочным подсистемам

$$MPER = \{NPER, PG \{NPP\}[kpgor]\}[kper], \quad (3.155)$$

где: *NPER* – код перегона прибытия поездов;

PG – код половины горки;

NPP – код пути приёма поезда;

kpgor – количество путей в данной половине парка прибытия;

– тяготение назначений к горочным подсистемам:

$$MGS = \{\{PPG, \{NPF\}[kmssp]\}[2]\}[kssis], \quad (3.156)$$

где: *PPG* – признак половины горки;

NPF – нормативная специализация сортировочных путей;

kmssp – количество сортировочных путей в парк

– нормы веса и длины поездов:

$$MNVD = \{\{NPF, P, L, DP, DL[knaz]\}[kssis], \quad (3.157)$$

где: *NPF* – код назначения по плану формирования;

P – масса поезда брутто;

L – длина поезда в метрах;

DP – допустимое отклонение по массе;

DL – допустимое отклонение по длине;

knaz – количество назначений, формируемых данной станцией

kper – количество перегонов прибытия разборочных поездов.

– паспорт сортировочной системы:

$$MPASP1 = \{NMAS, \{NREK\}[krek]\}[kmas], \quad (3.158)$$

где: *NMAS* – имя массива;

NREK – реквизит;

krek – количество реквизитов в массиве;
kmas – количество массивов в подсистеме УСР.

– перечень грузов требующих охраны :

$$MOG = \{NGO\}[kngo], \quad (3.159)$$

где: *NGO* – код груза , требующего охраны;
kngo – количество грузов, требующих охраны;

– перечень скоропортящихся грузов:

$$MOGP = \{NGP\}[kngp], \quad (3.160)$$

где: *NGP* – код скоропортящегося груза;
kngp – количество скоропортящихся грузов.

– приоритеты видов перевозок:

$$MPVP = \{VP, PR\}[3], \quad (3.161)$$

где *PR* – приоритет.

Варианты:

– варианты очередности двух объектов:

$$MVOCH2 = \{NO1, NO2\}[2], \quad (3.162)$$

где *NO1* – номер очереди первого (по исходной нумерации) объекта (состава или пары):

NO2 – то же, второго;

– варианты очередности трёх объектов:

$$MVOCH3 = \{NO1, NO2, NO3\}[6], \quad (3.163)$$

где *NO3* – номер очереди третьего (по исходной нумерации) объекта (состава или пары);

– варианты очередности четырёх объектов:

$$MVOCH4 = \{NO1, NO2, NO3, NO4\}[24], \quad (3.164)$$

где *NO4* – номер очереди четвертого (по исходной нумерации) объекта (состава или пары);

– варианты парности для двух пар составов:

$$\begin{aligned} MVAR2 = & (NOL1, NOP1), (NOL2, NOP2)(NOL2, NOP1), \\ & (NOL1, NOP2), \end{aligned} \quad (3.165)$$

где: *NOL* – номер очереди левого состава;

NOP – то же, правого;

– варианты парности для трех пар составов:

$$\begin{aligned} MVAR3 = & (NOL1, NOP1), (NOL2, NOP2), (NOL3, NOP3); \\ & (NOL1, NOP1), (NOL3, NOP2), (NOL2, NOP3); \\ & (NOL2, NOP1), (NOL1, NOP2), (NOL3, NOP3); \\ & (NOL2, NOP1), (NOL3, NOP2), (NOL1, NOP3); \\ & (NOL3, NOP1), (NOL1, NOP2), (NOL2, NOP3); \\ & (NOL3, NOP1), (NOL2, NOP2), (NOL3, NOP3); \end{aligned} \quad (3.166)$$

– варианты непарности для одной пары и одного лишнего состава:

$$\begin{aligned} MV1P1L = & (NOL1, NOP1), NOL2; \\ & (NOL2, NOP1), NOL1; \end{aligned} \quad (3.167)$$

– варианты непарности для одной пары и двух лишних составов:

$$\begin{aligned} MV1P2L = & (NOL1, NOP1), NOL2; NOL3; \\ & (NOL2, NOP1), NOL1, NOL3; \\ & (NOL3, NOP1), NOL1, NOL2; \end{aligned} \quad (3.168)$$

– варианты непарности для одной пары и трех лишних составов

$$\begin{aligned}
MV1P3L = & (NOL1, NOP1), NOL2; NOL3; NOL4; \\
& (NOL2, NOP1), NOL1, NOL3; NOL4; \\
& (NOL3, NOP1), NOL1, NOL2, NOL4; \\
& (NOL4, NOP1), NOL1, NOL2, NOL3; \quad (3.169)
\end{aligned}$$

– варианты непарности для двух пар и одного лишнего состава:

$$\begin{aligned}
MV2P1L = & (NOL1, NOP1), (NOL2, NOP2), NOL3; \\
& (NOL3, NOP1), (NOL2, NOP2), NOL1; \\
& (NOL1, NOP1), (NOL3, NOP2), NOL2; \quad (3.170)
\end{aligned}$$

– варианты непарности для двух пар и двух лишних составов:

$$\begin{aligned}
MV2P1L = & (NOL1, NOP1), (NOL2, NOP2), NOL3, NOL4; \\
& (NOL3, NOP1), (NOL2, NOP2), NOL1, NOL4; \\
& (NOL1, NOP1), (NOL3, NOP2), NOL2, NOL4; \\
& (NOL4, NOP1), (NOL2, NOP2), NOL3, NOL1; \\
& (NOL1, NOP1), (NOL4, NOP2), NOL1, NOL2; \\
& (NOL3, NOP1), (NOL4, NOP2), NOL1; NOL2, \\
& (NOL4, NOP1), (NOL3, NOP2), NOL1; NOL2; \quad (3.171)
\end{aligned}$$

– варианты непарности для трех пар и одного лишнего состава:

$$\begin{aligned}
MV3P1L = & (NOL1, NOP1), (NOL2, NOP2), (NOL3, NOL3), NOL4; \\
& (NOL4, NOP1), (NOL2, NOP2), (NOL3, NOL3), NOL1; \\
& (NOL1, NOP1), (NOL4, NOP2), (NOL3, NOL3), NOL2; \\
& (NOL1, NOP1), (NOL2, NOP2), (NOL4, NOL3), NOL3 \quad (3.172)
\end{aligned}$$

Выходная информация:

– план приёма разборочных поездов:

$$MPP = \{ TP, NP, LP, NPER, NPP \} [kp3], \quad (3.173)$$

где: TP – момент открытия входного сигнала;

$NPER$ – код перегона прибытия поезда;

NPP – код пути приёма поезда;

$kp3$ – количество разборочных поездов, прибывающих на трёхчасовом периоде;

– план роспуска составов с горки:

$$MPR = \{ TNR, TKR, NP, LP, PR, PG \} [7], \quad (3.174)$$

где TNR – момент начала роспуска состава;

TKR – момент окончания роспуска состава;

PR – признак параллельного роспуска составов;

PG – половина горки (левая или правая)

– прогноз накопления вагонов в сортировочном парке:

$$MPN = \{ NPSP, NSTN, NPO, P, L, TZN \} [kpsp], \quad (3.175)$$

где: $NPSP$ – код пути накопления в сортировочном парке;

$NSTN$ – текущая специализация пути;

NPO – номер поезда по отправлению;

P – масса накопленного состава;

L – длина накопленного состава в вагонах;

TZN – момент завершения накопления;

$kpsp$ – количество сортировочных путей в парке;

– план отправления поездов своего формирования:

$$MPOSF = \{ VP, \{ NZP, NP, TO, NPF, PP, LP, NMSP, \{ NG, KV \} [kgs] \}, \{ TV, KV \} [kts], NL, NLB \} [knit3] \} [3], \quad (3.176)$$

где $knit3$ – количество ниток графика на трёхчасовом периоде;

Управляющие воздействия:

– изменение варианта непарности составов:

$$1 \rightarrow I \rightarrow K^{внен}, \quad (3.177)$$

где $K^{внен}$ – количество вариантов непарности (2 для (3.167), 3 для (3.168), 4 для (3.169), 3 для (3.170), 7 для (3.171), 4 для (3.172));

– изменение варианта комплектации пар составов:

$$1 \rightarrow j \rightarrow K^{впар}, \quad (3.178)$$

где $K^{впар}$ – количество вариантов пар (2 для (3.165), 6 для (3.166));

– изменение варианта очередности объектов (пар, непарных и лишних составов):

$$1 \rightarrow k \rightarrow K^{воч}, \quad (3.179)$$

где $K^{воч}$ – количество вариантов очередности (2 для (3.162), 6 для (3.163), 24 для (3.164)).

Ограничение – время реакции задачи не должно превышать 1 минуты.

Глобальный критерий – оптимальный план сортировочной работы для обеспечения сетевых, внутридорожных и внутрирайонных перевозок:

$$K_1 = \min_{p \in M^{гон}} \left\{ K^c \cdot Q^c + K^d \cdot Q^d + K^p \cdot Q^p \right\}_p, \quad (3.180)$$

где K^c – критерий оптимальности для сетевых перевозок;

K^d – то же, для внутридорожных;

K^p – то же, для внутрирайонных;

Q^c – весовой коэффициент сетевых перевозок;

Q^{∂} – то же, внутривидовых;

Q^p – то же, внутрирайонных;

M^{60n} – множество вариантов оптимизируемого плана (MPOSF или, MPR или MPOPP – плана освобождения путей парка прибытия).

Для каждого вида перевозок оптимизация возможна по одному из трёх критериев – в зависимости от рекомендации по режиму работы станции (MRJ):

$$K^c = K^o \vee K^p \vee K^n, \quad (3.181)$$

$$K^{\partial} = K^o \vee K^p \vee K^n, \quad (3.182)$$

$$K^p = K^o \vee K^p \vee K^n, \quad (3.183)$$

где K^o – критерий оптимальности отправления;

K^p – критерий оптимальности отпуска;

K^n – критерий оптимальности приёма;

Критерий № 1 – оптимальное отправление:

$$K^o = \min_{j \in M^{60p}} \left\{ \sum_{d=1}^{K^{нит3}} \left(\sum_{e=1}^{K^{m6}} (K_{de}^{6n} - K_{de}^{6nc}) + \sum_{f=1}^{K^2} (K_{df}^{6z} - K_{df}^{6zc}) \right) \right\}_j, \quad (3.184)$$

где K_{de}^{6n} – количество порожних вагонов e -го типа по плану M^{no} ;

K_{de}^{6nc} – то же, по станционному плану;

K_{df}^{6z} – количество гружёных вагонов с f -ным кодом груза

по плану M^{no} ;

K_{df}^{6zc} – то же, по станционному плану;

$K^{нит3}$ – количество ниток графика на 3 часовом периоде;

$K^{тв}$ – количество типов вагонов;

K^2 – количество родов грузов в плане.

$M^{роп}$ – множество вариантов плана отпуска;

Ограничения: отправление грузов и вагонов на заданные назначения:

$$N_e^{нвс} = N_e^{нв}; \quad N_f^{звс} = N_f^{зв} \quad (3.185)$$

где $N_e^{нвс}$, $N_f^{звс}$ – станционные назначения;

$N_e^{нв}$, $N_f^{зв}$ – заданные назначения.

Критерий № 2 – оптимальный отпуск:

$$K^P = \min_{j \in M^{роп}} \left\{ t^{кpn} \right\}_j, \quad (3.186)$$

где: $t^{кpn}$ – момент окончания отпуска последнего планируемого состава.

Критерий № 3 – оптимальный приём:

$$K^n = \min_{j \in M^{роп}} \left\{ \sum_{v=1}^{K^{нод}} \sum_{u=1}^{K_v^{нз}} C^{мар} \cdot A_{uv}^{гч} \right\}_j, \quad (3.187)$$

где $C^{мар}$ – весовой коэффициент маршрута;

$A_{uv}^{гч}$ – затраты вагоно-часов простоя u -го поезда на v -ом пути подхода (перегоне);

$K_v^{нз}$ – количество поездов, прибывающих с данного пути подхода за 3 часа;

$K^{нод}$ – количество путей подхода к сортировочной системе;

$M^{роп}$ – множество номеров вариантов очередности отпуска;

3.4.2. Распределение работы между маневровыми локомотивами (20. rml)

Традиционно работа маневровых локомотивов разграничена некоторыми территориальными районами. На это имеется две причины:

- отпадает необходимость оперативного распределения работы между ними;

- используется заложенная в проекты СЦБ возможность развязки враждебных маршрутов.

При таком разграничении работы локомотивов упрощается работа ДСПЦ. Но теряется возможность получения эффекта от централизованного управления:

- бывают ситуации, когда одни машинисты перегружены, а другие простаивают и не могут им помочь;

- развязка враждебных маршрутов достигается за счет задержки одних передвижений за счёт других.

В связи с этим возникает задача централизованного оперативного распределения работы между локомотивами с развязкой враждебности на стадии планирования. Постановка задачи была предложена в работе [6] в составе комплекса задач управления поездной и маневровой работой в парке (УПМР). Дело в том, что изолированно решать задачу распределения не имеет смысла, т. к. изменение текущего варианта распределения влечет за собой изменение вариантов маршрутов и, как следствие, создает новую ситуацию с враждебностью маршрутов. Поэтому и в настоящей работе рассматривается весь комплекс задач УПМР (за исключением контроля)

Входная текущая информация, поступающая в АРМ дежурного поста централизации парка прибытия ДСПЦ-ППЧ (ДСПЦ-ППН):

- план установки маршрутов транзитным поездам:

$$MTP = \{ NZP, NP, STF, PNS, STN, NSH, \{ TO, LP, NMO, NMN, NPGD \} [3] \} [ktp3], \quad (3.188)$$

где: *NZP* – номер заявки клиента;
NP – номер поезда;
STF – код станции формирования поезда;
PNS – порядковый номер состава, отправленного со станции формирования;
STN – код станции назначения;
NSH – код схемы маршрута;
TO – момент выезда с места отправления;
L – длина поезда в вагонах;
NMO – код пути отправления;
NMN – код пути назначения;
NPGD – номер поезда по отправлению;
ktp3 – количество транзитных поездов на трёхчасовом периоде;

– план установки маршрутов вагонам углового потока:

$$MPUP = \{NZP, NP, PT, NSH, \{TO, LP, NMO, NMN, \}[3]\}[kup3], \quad (3.189)$$

где: *PT* – признак транзитного поезда;
NMO – код пути выезда;
NMN – код пути назначения в маршруте;
kup3 – количество угловых передач за трехчасовой период;

– план приёма поездов:

$$MPP = \{TP, NP, LP, NPER, NPP\}[kp3], \quad (3.190)$$

где: *TP* – момент открытия входного сигнала;
NPER – код перегона прибытия поезда;
NPP – код пути приёма поезда;
kp3 – количество разборочных поездов, прибывающих на трёхчасовом периоде;

– план роспуска составов:

$$MPR = \{TNR, TKR, NP, LP, PR, PG\}[7], \quad (3.191)$$

где TNR – момент начала отпуска;
 TKR – момент окончания отпуска;
 PR – признак параллельного отпуска;
 PG – признак половины горки;

– модель текущего состояния парка прибытия:

$$MTSPP = \{NMS, LMS, EMS, NP, LP, STF, PNS, STN, TG, TMAN, TP, NL1, NL2, KOL1, KOL2\} [kmspp], \quad (3.192)$$

где: NMS – код места стоянки (пути);
 EMS – состояние места стоянки;
 TG – момент готовности поезда к отпуску;
 $TMAN$ – длительность манёвров;
 TP – момент прибытия хвоста поезда;
 $NL1$ – номер первого локомотива;
 $NL2$ – номер второго локомотива;
 $KOL1$ – код ориентации первого локомотива;
 $KOL2$ – код ориентации второго локомотива;
 $kmspp$ – количество путей парка прибытия;

Входная текущая информация, поступающая в АРМ дежурного поста централизации парка отправления ДСПЦ-ПОЧ (ДСПЦ-ПОН):

- план установки маршрутов транзитным поездам (207);
- план установки маршрутов вагонам углового потока (208);
- план накопления вагонов:

$$MPN = \{NPSP, NSTN, NPO, P, LP, TZN\} [kpsp], \quad (3.193)$$

где $NPSP$ – номер пути сортировочного парка;
 $NSTN$ – код специализации пути;
 NPO – номер поезда по отправлению;
 P – масса накопленной части состава;
 L – длина накопленной части состава в вагонах;
 TZN – момент завершения накопления;

– план отправления поездов своего формирования

$$MPOSF = \{VP, \{NZP, NP, TO, NPF, PP, LP, NMSP, \{NG, KV\}[kgg]\}, \{TV, KV\}[ktvs], NL, NLB\}[knit]\}[3], \quad (3.194)$$

где VP – вид перевозок;

NPF – код назначения по плану формирования;

PP – масса поезда;

$NMSP$ – номер пути накопления вагонов в сортировочном парке;

NG – код груза;

KV – количество вагонов;

TV – тип вагона;

NL – номер локомотива;

NLB – код локомотивной бригады;

kgg – количество видов груза в поезде;

$knit$ – количество ниток графика, выделенных для данного вида перевозок;

$ktvs$ – количество типов вагона в составе:

– модель текущего состояния парка отправления:

$$MTSPO = \{NMS, LMS, EMS, NP, LP, NL1, NL2, KOL1, KOL2\}[kmspo], \quad (3.195)$$

где LMS – длина места стоянки в вагонах;

$kmspo$ – количество мест стоянки в парке отправления.

Нормативно-справочная информация:

– варианты назначения четырёх локомотивов:

$$MVNL4 = \{\{NL\}[4]\}[24], \quad (3.196)$$

где: NL – номер локомотива;

– варианты назначения трёх локомотивов:

$$MVNL3 = \{\{NL\}[3]\}[6], \quad (3.197)$$

– варианты назначения двух локомотивов:

$$MVNL2 = \{ \{NL\}[2] \}[2] , \quad (3.198)$$

– варианты сочетаний направлений отправления и прибытия:

$$MVN = \{ \{NOP\}[2] \}[4] , \quad (3.199)$$

где: *NOP* – сочетание направлений отправления и прибытия;

– перечень элементов, образующих полные маршруты:

$$MPM = \{NMST, NMS\}[kms] , \quad (3.200)$$

где: *NMST* – имя места стоянки (отрезка пути);

NMS – то же, код;

kms – количество мест стоянки в парке;

– варианты путей обгона для маневровых локомотивов:

$$MNSIG = \{NSIG, \{NMS, \{NMN\}[kpt]\}[ksig] , \quad (3.201)$$

где: *NSIG* – код промежуточного светофора;

kpt – количество путей транзита;

ksig – количество промежуточных маневровых светофоров, за которые можно устанавливать варианты маршруты;

– паспорт парка станции:

$$MPASP = kgg, kgvz, kiz, kl, kmarp, kmarpuch1, kmarpuch2, kmnmo, kmo, kms, kmspo, kmspp, kmssp, knit, kpero, kp3, kpsp, kpt, kptpuch1, kptpuch2, kpuch1, kpuch2, kpuchv1, kpuchv2, kpucht1, kpucht2, ksig, ksl1, ksl2, ksobz, kspm, ksp0,5, kstps, kstrp, ktp, ktvs, kvmar1, kvmar2, kuz , \quad (3.202)$$

Вариант №1. Секционн о е описание схемы путей:

– секционный состав маршрутов:

$$MSS = \{NMO, \{NMN, \{NSP, T\}[kspm]\}[kmnmo]\}[kmo] , \quad (3.203)$$

где: NSP – то же, стрелочного путевого участка;
 T – длительность движения по участку;
 k_{spm} – количество участков в маршруте;
 $kmnmo$ – количество вариантов конечных точек маршрутов для данного начала маршрута;
 kmo – количество мест отправления (начал маршрутов).

Вариант №2. Пучковое описание схемы путей:

– наборы вариантов полных маршрутов в горловине:
 №1 (№2):

$$MVM1(MVM2) = \{KVMAR, \{HD, T, \{NSIG\}[2] KPUCHV, \{MARVN, MARVK, NVARMIN, NVARMAX\}[kpuchv]\}[kvmar]\}[kpuch], \quad (3.204)$$

где: $KVMAR$ – количество вариантов маршрутов в наборе маршрутов;

HD – характер движения (поездной или маневровой);

$KPUCHV$, $kpuchv$ – количество пучков маршрута в его данном варианте;

$MARVN$ – начальный номер маршрута в варианте пучка маршрутов;

$MARVK$ – то же, конечный;

$NVARMIN$ – минимальный номер варианта маршрута;

$NVARMAX$ – то же, максимальный;

$kvmar$ – количество вариантов данного маршрута;

$kpuch$ – количество пучков в наборе;

– перечень пучков маршрутов в горловине №1 (№2):

$$MPUCH1(MPUH2) = \{KMAR, \{NMAR\}[kmarpuch]\}[kpuch], \quad (3.205)$$

где: $KMAR$, $kmarpuch$ – количество маршрутов в пучке;

$NMAR$ – номер маршрута;

– варианты путей транзита в горловине №1 (или №2):

$$MVPT1 = MVPT2 = \{NMSN, NMSK, KPTPUCH, \{NMS\} [kptpuch]\} [kpucht1], \quad (3.206)$$

где: *NMSN* – имя начального места стоянки (пути) в пучке;

NMSK – то же, конечного;

KPTPUCH – количество путей транзита в пучке;

NMS – код места стоянки (пути);

kptpuch – количество путей транзита в пучке;

kpucht1 – количество пучков.

Выходная информация:

– порейсовый рабочий план передвижения:

$$MR = \{TO, NP, NL, NOP, NMO, NMN, NN\} [kmar] \quad , \quad (3.207)$$

где *NOP* – код операции;

NN – направление прибытия в место назначения;

kmar – количество маршрутов в плане.

Критерий оптимальности:

Минимум совокупной стоимости затрат:

– вагоно-часов опоздания с выполнением операций;

– локомотиво-часов пробега.

Критерий №1 – для парка прибытия:

$$K_1 = \min_{i \in M^{сон}} \left\{ \sum_{j=1}^{K^{3nn}} (t_p^{npr} - t_j^{3nn}) \cdot K_p^g \cdot C^{6ч} + \sum_{k=1}^{K^{3np}} (t_q^{npr} - t_k^{3np}) \times \right. \\ \left. \times K_q^g \cdot C^{6ч} + \sum_{r=1}^{K^{3np}} (t_r^{npr} - t_r^{онн}) \cdot C^{лч} \right\}_i, \quad (3.208)$$

где: K^{3nn} – количество заданий в плане приёма поездов;

t_p^{npr} – момент прибытия вагонов на путь назначения, планируемый в порейсовом рабочем плане;

t_j^{3nn} – то же, заданный в плане приёма поездов;

K_p^6 – планируемое для приёма количество вагонов;
 $C^{6ч}$ – стоимость затрат одного вагоно-часа;
 K^{3np} – количество заданий в плане роспуска составов;
 t_k^{3np} – момент окончания роспуска, заданный в плане роспуска составов;

K_q^6 – планируемое для роспуска количество вагонов;
 K^{3pn} – количество планируемых заданий в рабочем плане;
 t_r^{opn} – момент выезда локомотива с пути дислокации, планируемый в порейсовом рабочем плане (с вагонами или без вагонов);

$C^{лч}$ – стоимость затрат локомотиво-часа;

j – номер варианта порейсового плана;

M^{6on} – множество номеров вариантов порейсового плана.

Критерий №2 – для парка отправления:

$$K_1 = \min_{i \in M^{6on}} \left\{ \sum_{j=1}^{K^{nnn}} (t_p^{npr} - t_j^{nnn}) \cdot K_p^6 \cdot C^{6ч} + \sum_{k=1}^{K^{3nocф}} (t_q^{npr} - t_k^{3nocф}) \times \right. \\
 \left. \times K_q^6 \cdot C^{6ч} + \sum_{r=1}^{K^{3pn}} (t_r^{npr} - t_r^{onn}) \cdot C^{лч} \right\}_I, \quad (3.209)$$

где K^{nnn} – количество позиций в прогнозе накопления вагонов;

t_j^{nnn} – момент ожидаемого завершения процесса накопления вагонов;

$K^{3nocф}$ – количество заданий в плане отправления поездов своего формирования;

$t_k^{3nocф}$ – заданный момент завершения операции в плане отправления поездов своего формирования.

Управляющие воздействия:

– выбор варианта назначений маневровых локомотивов на

операции:

$$1 \rightarrow x \rightarrow (K^L!), \quad (3.210)$$

где: K^L – рабочий парк маневровых локомотивов данного парка станции, причём: $x \in M^{\text{внЛ}}$; $\eta M^{\text{внЛ}} = (K^L!)$;

– выбор варианта направлений отправления и прибытия маневрового локомотива:

$$1 \rightarrow z \rightarrow 4, \quad (3.211)$$

причём: $z \in M^{\text{вн}}$; $\eta M^{\text{вн}} = 4$;

– выбор варианта промежуточных точек рейса:

$$1 \rightarrow u \rightarrow K_{zu}^{nm}, \quad (3.212)$$

причём: $u \in M_{zu}^{\text{вnm}}$; $\eta M_{zu}^{\text{вnm}} = K_{zu}^{nm}$.

где: K_{zu}^{nm} – количество вариантов промежуточных точек маршрута при z-ом варианте направлений,

$M_{zu}^{\text{вnm}}$ – множество номеров вариантов промежуточных точек.

Ограничение – взаимовраждебность маршрутов в порейсовом рабочем плане передвижений:

$$(\cap M^M = \emptyset) \vee ((\cap M^M \neq \emptyset) \wedge (\cap \Delta T^M = \emptyset)), \quad (3.213)$$

где: M^M – множество планируемых маршрутов в парке;

ΔT^M – множество отрезков времени реализации планируемых маршрутов.

\emptyset – символ пустого множества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обобщён и сформулирован единый подход к постановкам задач комбинаторного программирования применительно к сфере управления транспортными процессами на стадиях их организации и функционирования

2. Формализованы постановки 19 оптимизирующих задач, причем:

- задачи *umk*, *stpp* поставлены впервые;
- задачи *spf*, *sspg*, *rtp*, *vmsk*, *vgn* формализованы впервые;
- задачи *stpg*, *stpp* поставлены по-новому;
- постановки остальных задач усовершенствованы.

3. Предложенные формализованные постановки задач являются исходным материалом для их алгоритмизации или усовершенствования имеющихся алгоритмов и баз данных. В процессе алгоритмизации задач формализованные постановки могут быть уточнены или доработаны.

4. Необходимо вести дальнейший поиск не выявленных до настоящего времени задач, позволяющих оптимизировать транспортные процессы. Одним из методов поиска является попытка параметризации потенциальных объектов управления. Поиск целесообразно направить на объекты, поддерживающие транспортные процессы.

5. При постановке вновь выявленных задач рекомендуется использовать такой же метод формализации, как в настоящей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поплавский А. А. Автоматизированная система управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта в оперативном режиме. Интекст. 2008. 192 с.
2. Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации». Принят Государственной Думой 24 дек. 2002 г.
3. Месарович М. Мако Д., Такахора И. Теория иерархических многоуровневых систем. «Мир». 1979. 384 с.
4. Шаров В. А. Формирование новой вертикали управления перевозочным процессом. // «Автоматика, связь, информатика». 2002 г. №2. С. 3–5.
5. Айзерман М. А., Гусев Л. А., Розоноэр Л. И. и др. Логика, автоматы, алгоритмы. М. Физматгиз. 1963.
6. А. С. Гершвальд. Информационные технологии внутрисуточного планирования станционных процессов. Монография. Москва. РОАТ МИИТ. 2014. 307 с.
7. Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами. Под ред. Г. Л. Смилянского. «Машиностроение». 1983 г. 528 с.
8. Fibonacci Liber Abaci. Leonardo of calculation. 1228 г.
9. Фадеев Г.М. ОАО «РЖД»: стратегические цели и первоочередные задачи. // «Железные дороги мира». 2003 г. №10. с. 11–16.
10. Леонид Мазо. О работе ИПЕМ «Определение роли и места малых и средних операторских компаний в современном процессе перевозки груза железнодорожным транспортом». // Вектор транспорта. Альманах. 2014. №1, С. 37–40.
11. Нирмалья Кумар. Маркетинг как стратегия. Изд. «Претекст». 2011 г. 352 с.
12. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах. Под ред. Ковалева В. И, Осьминина А. Т., Грошева Г. М. «Маршрут» 2006. 544 с.

13. Гершвальд А. С., Филипченко С. А. Системы оперативного управления грузовыми перевозками на железнодорожном транспорте. Труды ВНИИАС Выпуск 8. Москва. 2008. 328 с.

14. Гершвальд А. С. Информационные технологии внутрисуточного планирования сетевых перевозок. Монография. РОАТ МИИТ. 2010. 72 с.

15. Гершвальд А. С. Информационные технологии внутрисуточного планирования дорожных перевозок. Монография. РОАТ МИИТ. 2011. 114 с.

16. Гершвальд А. С. Информационные технологии внутрисуточного планирования станционных процессов. Монография // РОАТ МИИТ. 2014. 307 с.

17. Гершвальд А. С., Остряков П. А., Куныгина Л. В. Оптимизация прикрепления вагонов к заявкам на погрузку. // Наука и техника транспорта. 2011. № 4. с. 73–75

18. Рыбакова Т. И., Крутов А. С. Автоматизированная система регулирования порожних вагонов на сетевом и дорожном уровнях. // Первая межведомственная научно-практическая конференция «Телекоммуникационные технологии на транспорте России». Сочи 2003 г. с. 322–328.

19. Ивницкий В. А., Гершвальд А. С., Канарская Л. А., Соколов Н. Б. Автоматизированное планирование резерва вагонов в местах погрузки. // Вестник ВНИИЖТ, 1999 г., N2, с. 1–8.

20. Иван Кашицкий. Проблемы взаимоувязанного управления перевозками в условиях дальнейшей демонополизации железнодорожной отрасли. // Вектор транспорта. Альманах. 2014. №1, С. 68–72.

21. Методика расчета рациональных границ диспетчерских участков // ЦД МПС России, утв. 23.12.02. – Москва 2002 г.

22. Регламент диспетчерского управления движением поездов ОАО «РЖД». Утв. ОАО «РЖД» 09.11.2009 №2281. 24 с.

23. Разработка и совершенствование методов решения оптимизационных задач в АСУСС. // ВНИИЖТ. Отчет по теме 160-ВТ-83. Госрегистрация 01828015515. 1983 г.

24. Гершвальд А. С. Оптимизация оперативного управления процессом грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. ВНИИЖТ МПС. 2001 г. 240 с.

25. Гершвальд А. С. Оперативное планирование работы поездных локомотивов. // Наука и техника транспорта. 2012. №4. с. 47–50.

26. Гершвальд А. С. Распределение прицепных вагонов по неполносоставным поездам. // Наука и техника транспорта. 2015. №3 с. 48–51.

27. Буянов В. А. Технологические принципы системы «Станционный автодиспетчер» в кн. «Диспетчерское регулирование движения поездов с применением управляющих вычислительных машин». ЦНИИ МПС. 1967 г., вып. 350, с. 66–84.

28. Рио Б. дел, Фролов В. Я. Информационно-планирующая система железнодорожных узлов. Москва. «Транспорт». 1972, 208 с.

29. Автоматизация управления сортировочными станциями. (Методы решения задач). Под общей редакцией В. А. Буянова. Москва. «Транспорт». Труды ВНИИЖТ, 1977, Вып. 575.

30. Буянов В. А., Ратин Г. С. автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте. Москва. «Транспорт», 1984 г., 239 с.

31. Гершвальд А. С. Алгоритмы решения задач управления станционными процессами. Монография. МГУПС, 2015, 114 с.

**Андрей Самуилович Гершвальд
Геннадий Михайлович Биленко
Антон Викторович Еловигов
Ильмир Мансурович Басыров**

**Введение в теорию управления процессами
на железнодорожном транспорте**

**Книга 1
19 системообразующих задач**

Монография

Ответственный редактор *А. Иванова*
Верстальщик *Е. Семенова*

Издательство «Директ-Медиа»
117342, Москва, ул. Обручева, 34/63, стр. 1
Тел/факс + 7 (495) 334-72-11
E-mail: manager@directmedia.ru
www.biblioclub.ru
www.directmedia.ru

Отпечатано в ООО «МЭЙЛ ТЕКНОЛОДЖИ»
142172, г. Москва, г. Щербинка,
ул. Космонавтов, д.16