

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКОМАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ
ГОРКИ

Выполнил студент
442 группы
Галахов Семен Алексеевич

Научный руководитель:
д.ф.-м.н. Лазарев Александр Алексеевич

Допущена к защите
Зав. кафедрой _____

МОСКВА

2020

Содержание

1. Введение	1
1.1. Направления оптимизации	1
1.2. Современное управление	2
2. Обзор литературы	4
3. Постановка задачи	7
3.1. Задача обслуживания	8
3.2. Задача назначения	8
3.3. Задача формирования	9
4. Математическая постановка	13
5. Предложенные алгоритмы	15
5.1. Алгоритм №1	15
5.2. Алгоритм кратчайшего пути	16
5.3. Итоги работы алгоритма	18
6. Заключение	22

1. Введение

1.1. Направления оптимизации

Проблема оптимизации возникает на многих направлениях РЖД, где ресурс работы инфраструктуры используется практически полностью. Дальнейшее расширение сети (Рис.1) неизбежно увеличит нагрузку на существующие элементы и без того работающие в режиме высокой нагрузки. Увеличение пропускной способности железнодорожных станций без строительства дополнительных инфраструктурных сооружений железной дороги – приоритетное направление развития железной дороги.

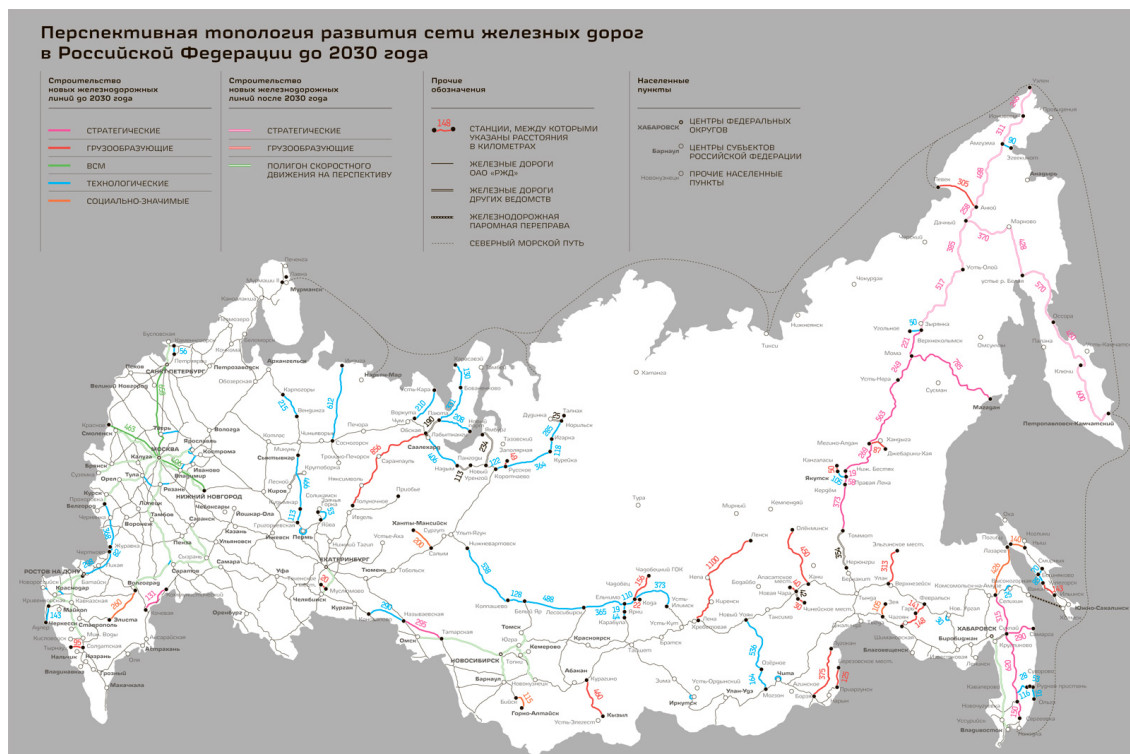


Рис. 1. Сеть РЖД

В настоящее время оптимизация ведется в двух направлениях: аппаратная и управленческая. К аппаратной составляющей можно отнести:

- создание сети позиционирования движущихся составов для корректировки их времени прибытия на станцию,
- калибровка видеокамер и лазерного дальномера при совместном при-

менении для мониторинга железнодорожной инфраструктуры,

- повышение энергоэффективности за счет использования сберегательных технологий.

Управленческая часть содержит в себе алгоритмы и методы более эффективного управления существующими объектами (локомотивным парком и инфраструктурой). Такой метод решения задачи менее затратен с экономической точки зрения, поскольку не предполагает закупку нового дорогостоящего оборудования, однако требует не меньшего времени на разработку качественных решений.

1.2. Современное управление

Стратегическим планированием работы РЖД на длительный период занимаются высококлассные специалисты, имеющие в своем распоряжении ресурсы крупных вычислительных центров. Имея данные о заявках на транспортировку и мощностях инфраструктуры, они составляют нормативные планы движения поездов, выполнение которых - основная задача местного оперативного управления.

Основным методом оперативного управления вагонопотоком является сменно-суточное планирование, в рамках которого осуществляется разработка суточного и сменного планов работы поездов и станций, их корректировка с условием неизбежно возникающих внештатных ситуаций. Разработанные планы должны обеспечить безотказное и качественное выполнение принятых перевозчиком и согласованных с владельцем инфраструктуры заявок на перевозку грузов с минимальными затратами в условиях планируемого периода. Локальное планирование небольшого участка, например железнодорожной станции, выполняется планировочной бригадой, использующей как свой многолетний опыт, так и разработанное программное обеспечение.

Современные разрабатываемые планы устойчивы к изменению начальных данных. На некоторых участках железной дороги опоздание поезда в

30 минут считается штатным и не отражается на их работе. Однако неизбежно возникают не только внештатные ситуации, но и конфликты в уже составленном расписании. Поэтому часто возникает необходимость пересмотра составленных расписаний.

2. Обзор литературы

Проблема оптимизации работы сортировочной горки возникла вместе с ее изобретением в конце XIX века. Первые решаемые задачи были сугубо техническими. Например, было необходимо подобрать оптимальный угол наклона горки, определиться с оптимальной скоростью скатывания вагона, протяженностью горки и так далее. В то время инструментарий оптимизаторов был довольно скуден, а все задачи (перевод стрелок и составление порядка работ) выполнялись с помощью железнодорожной бригады.

С развитием математического аппарата и технических средств открылись новые возможности. Одна из первых моделей совместной оптимизации поиска маршрутов и расписаний была представлена Морлоком и Петерсоном [1]. Для удовлетворения плана доставки скоропортящихся продуктов при помощи метода ветвей и границ минимизировались издержки использования железнодорожного оборудования. В работе вводятся ограничения на время прибытия поезда, маршрут, остановки и допустимое количество вагонов. В результате предложен метод определения очередности отправления поездов с заданным грузом.

Появление новых технологий и современных ЭВМ открыло новые возможности для дальнейшего улучшения работы сортировочных станций. Всевозможные датчики, программные решения и высокоразвитые системы (такие как системы позиционирования) уже помогают персоналу более эффективно выполнять свою работу. С приходом так называемой 5 индустриальной революцией начался новый этап оптимизации. Популярным направлением дальнейшего развития является цифровизация и кибернизация участков железных дорог [2], включающая применение достижений индустрии 5.0 на железных дорогах. К ним относятся:

- цифровая станция как киберфизическая система,
- цифровая трансформация в системах управления транспортными объектами, применение умных устройств для повышения качества обслужи-

живания.

Задача оснащения железнодорожной сети всевозможными нововведениями затратна и трудна. Согласно плану руководства РЖД, это перспектива развития на дальнейшие десять лет. Не меньшее внимание уделяется управлению перевозочным процессом, планированием и прогнозированием перевозок. В рамках этого проекта должны быть разработаны алгоритмы и методики которые смогут облегчить работу планировочному персоналу и повысить качество получаемых расписаний.

Примеры современного решения многих задач управления перевозками можно найти в монографии [3]. В данной работе рассмотрены многие актуальные задачи, возникающие на железной дороге. Как правило, рассматриваются не отдельные участки, а целая сеть. Железнодорожная сеть представляется в виде графа железных дорог, где вершины – станции, ребра – пути их соединяющие. Основная задача формирования грузовых потоков. Автор описывает алгоритмы, благодаря которым можно построить нитку движения состава по графу железных дорог, то есть рассматривает задачу стратегического планирования.

Локальную задачу планирования работы узла железной дороги (сортировочной станции) можно найти в статье [4], где авторы описывают метод оптимизации очередности расположения вагонов в составе. Формирующийся состав представляется в виде списка, элементами которого являются вагоны. Основная цель: добиться максимальной упорядоченности состава за наименьшее число перестановок неупорядоченных элементов. Эффективность сортировки оценивается длиной пути маневрового локомотива, проходящего при сортировке. Авторы описывают программный комплекс для различных представленных алгоритмов.

Управление перевозочным процессом включает не только работу элементов инфраструктуру и подвижного состава. Еще одним ресурсом, который необходимо учитывать при моделировании работы железнодорожной сети, является количество и специализация ремонтных бригад. В [5] рассмотре-

на проблема распределения локомотивных бригад на одном участке работы локомотивной бригады. В настоящее время подобное распределение производится в соответствии с нормативными документами [6], [7] . Для расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад разработаны средства управления и прогнозирования работы железнодорожных систем. Основным назначением данных средств является комплексная автоматизация на дорожно-сетевом уровне процесса составления графиков оборота локомотивов и локомотивных бригад, а также расчета показателей их использования.

В [8] приведены алгоритмы, использующие модель целочисленного программирования для планирования обслуживания пассажирских поездов. Депо компании *NedTrain* (Нидерланды) отличается от российского тем, что имеют большее количество сервисных путей, но только одну ремонтную позицию на каждом пути.

3. Постановка задачи

Рассмотрим железнодорожную станцию, не занимающуюся перевозкой пассажиров, поскольку транспортировка людей регламентируется другими нормами. В определенные расписанием моменты времени на станцию прибывают поезда, состоящие из тяговых локомотивов и вагонов, загруженных или порожних. Каждый локомотив имеет свои определенные параметры, одним из которых является Участок Обращения Локомотива (УОЛ). Свой УОЛ, как правило, локомотив не покидает. В том случае, если станция находится на границе УОЛа, то возникает ограничение на дальнейшее передвижение локомотива. Кроме того, может оказаться, что прибывшему локомотиву требуется плановое техническое обслуживание, которое должно проводиться после пробега локомотивом определенного расстояния. Прибывшие на станцию в составе одного поезда вагоны имеют свое направление движения, не обязательно одно и то же. В связи с этим, прибывший состав должен быть расформирован. Вагоны необходимо пристыковать к другим формирующимся на станции составам, в которых направление дальнейшего движения всех вагонов одинаково. На вновь сформированные составы необходимо назначить локомотивы из доступного парка, удовлетворяющие ограничениям. Таким ограничением может быть электрификация железнодорожного пути. Очевидно что электровоз не может двигаться по неэлектрифицированному участку пути.

Описанную выше задачу можно разбить на три тесно связанные подзадачи, так называемые задачи начальника станции. Удобство декомпозиции заключается в том, что выходные данные каждой подзадачи являются входными для другой. Например, для задачи назначения локомотивов на составы входными данными является выходные данные задачи формирования вагонных составов.

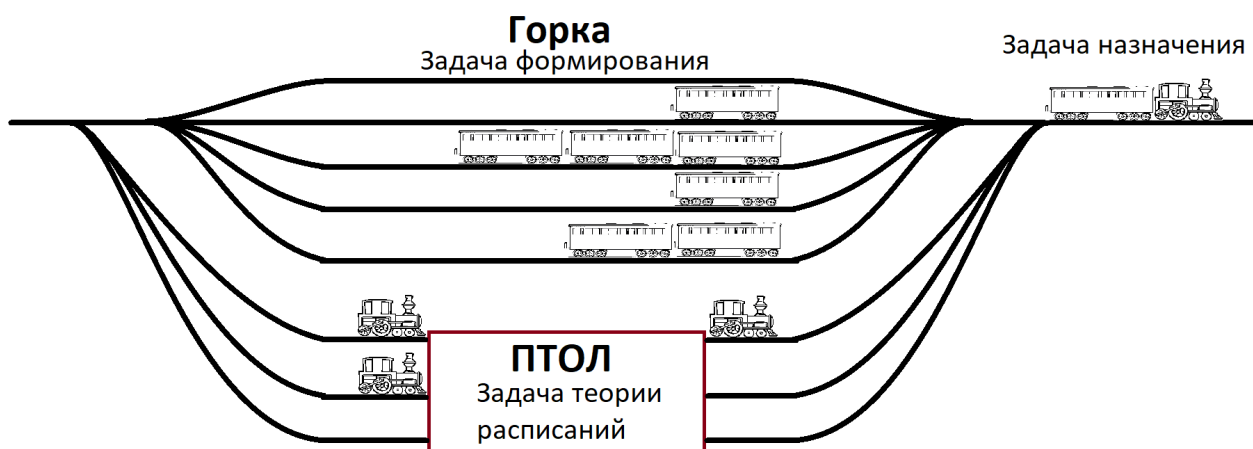


Рис. 2. Три подзадачи

3.1. Задача обслуживания

Подзадача, заключающаяся в проведении планового технического обслуживания прибывающих на станцию локомотивов, называется задачей обслуживания.

Стоит отметить, что плановость обслуживания означает изначально известное время обработки требования и период повторного проведения обслуживания. Для решения задачи необходимо заранее знать времена прибытия локомотивов на станцию и их параметры. Также необходимо иметь информацию о Пункте Технического Обслуживания Локомотивов (ПТОЛ), доступность его элементов и график работы ремонтных бригад.

В общем случае, задача обслуживания NP -трудна [9]. В работе [10] были применены эвистические алогритмы для получения реасписания времен заходов каждого локомотива на обслуживания и, как следствие, времен доступности обслуженных локомотивов.

3.2. Задача назначения

Подзадача, заключающаяся в назначении на сформированные составы вагонов тяговых локомотивов, называется задачей назначения.

Пусть известны параметры локомотивов, готовых для назначения на ва-

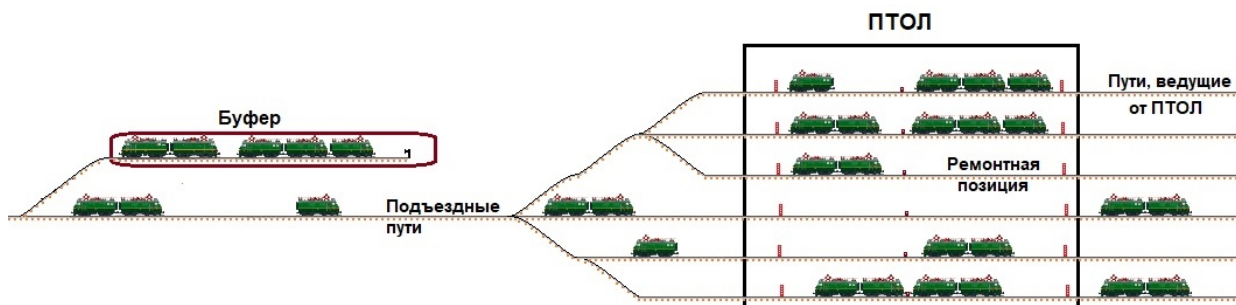


Рис. 3. Схематическое устройство ПТОЛ

гонные составы. Известны параметры и времена доступности локомотивов, требующих прохождения планового технического осмотра. Вместе с этим известны времена формирования новых вагонных составов и параметры этих составов. Необходимо составить расписание, в котором на каждый сформированный вагонный состав назначен локомотив, удовлетворяющий заданным требованиям дальнейшего движения по железнодорожной сети. Ограничением может служить максимальное число вагонов, которое может вести за собой локомотив, запас его хода, принцип его работы (тепловоз или электровоз) и так далее.

3.3. Задача формирования

Подзадача, заключающаяся в расформировании прибывших поездов и формировании новых, называется задачей формирования.

Для решения этой подзадачи необходимо знать параметры прибывающих вагонных составов, а именно: время их прибытия на станцию, их вес, важность и совместимости (параметр, указывающий на технологические особенности вагона). Формирование новых составов из уже прибывших происходит на сортировочной горке.

Сортировочная горка - это часть железнодорожной станции, предназначенная для формирования или расформирования прибывающих составов.

Сортировочная горка состоит из трех основных элементов: подвижной части, вершины горки и спускной части.

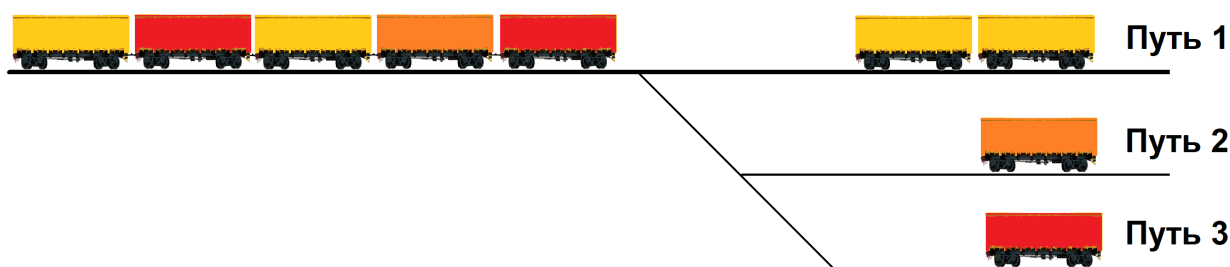


Рис. 4. Схематическое расформирование

Надвижная часть представляет собой наклонный участок пути, имеющий перед вершиной горки подъем обычно не менее 8‰ протяженность 50 м для сжатия состава и облегчения расцепки вагонов перед горбом горки.

Спускная часть представляет собой участок между вершиной горки и расчетной точкой, находящейся на расстоянии 50-100м от наиболее удаленного предельного столбика входной горловины сортировочного парка. Разность отметок между вершиной горки и расчетной точкой называется высотой горки. Она должна обеспечивать скатывание вагона с плохими ходовыми качествами при неблагоприятных условиях до расчетной точки.

Состав надвигается из парка прибытия по надвижной части до вершины горки, и, после отцепки здесь, вагоны скатываются в пределах спускной части под действием силы тяжести без участия локомотива.

Горки оборудованы системами централизованного управления стрелками и замедлителями, управление осуществляется при помощи специальных пультов горочных постов - распорядительного и исполнительных.

Составы прибывают в установленное расписанием время и с заданными параметрами. Длительность расформирования состава определяется суммой времен отцепления каждого вагона. Отправление уже сформированного состава тяговым локомотивом также занимает какое-то время. Все прибывающие вагоны должны быть отправлены. За простой вагонов на станции начальник станции платит штраф. В его интересах как можно быстрее отправить вагоны со своей станции в нужном направлении.

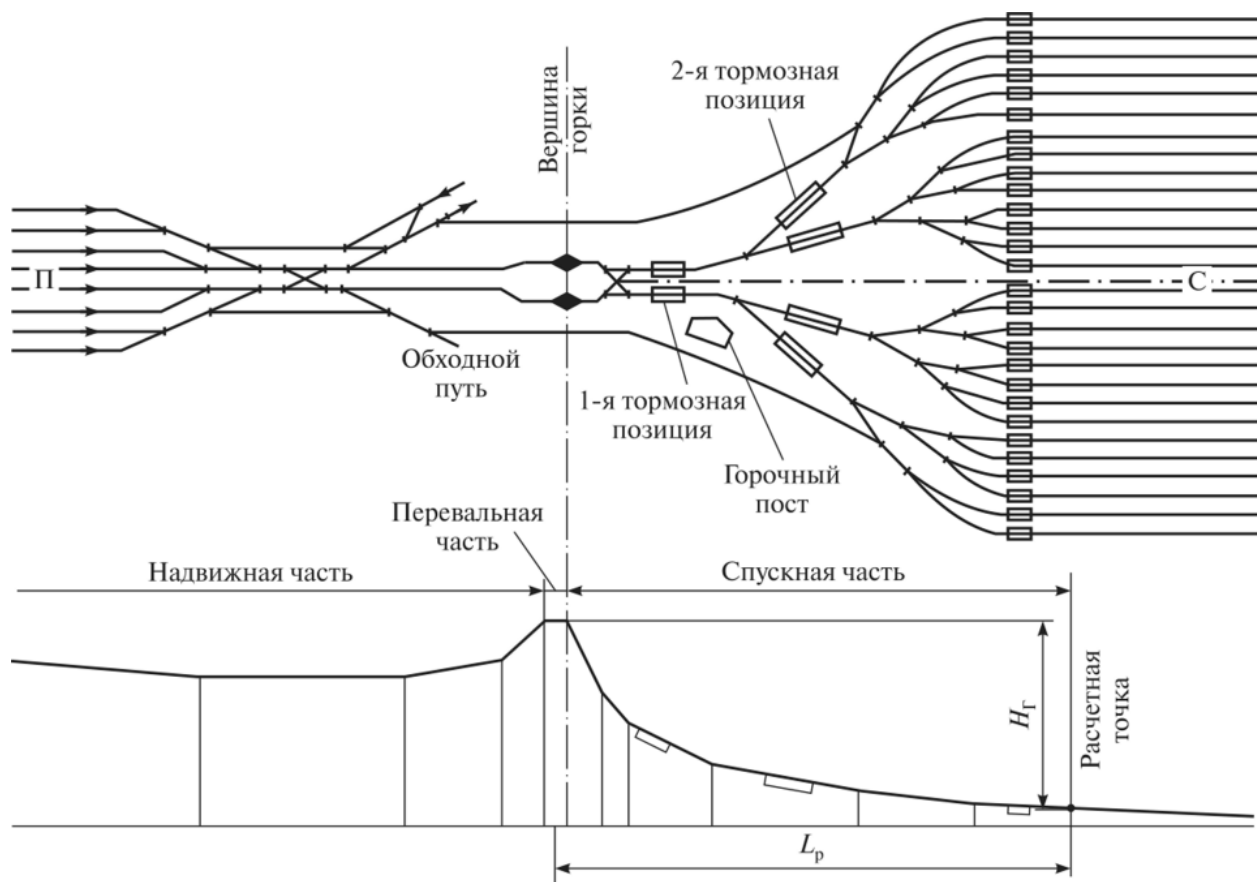


Рис. 5. Схема сортировочной горки

Для каждого состава нужно решить, отправлять ли уже сформированный состав или ждать его пополнения вагонами из следующего прибывающего поезда?

Решением этой задачи является расписание расформирования и формирования вагонных составов, содержащее время и путь расформирования для каждого локомотива, а также поезд, в составе которого он покинет станцию.

4. Математическая постановка

Поставим задачу в терминологии теории расписаний.

Рассмотрим два множества. $J = J_1, J_2, \dots, J_k$ - множество, состоящее из k работ-вагонов. Каждая работа $j \in J$ требует лишь одну операцию O_{j1} , причем операция одина и та же для всех работ $O_{11} = O_{21} = \dots = O_{k1}$. Для каждой работы известны:

- r_j - время прибытия работы j ,
- p_j - время обработки работы j ,
- way_j - путь в котором направляется работа j ,
- w_j - вес (важность) работы j .

Под весом w_j подразумевается штраф за единицу времени пребывания на станции вагона j .

Все работы группируются в партии. Перед включением работы в состав партии должен пройти минимальный интервал δ , одинаковый для всех работ $j \in J$. Отправка партии занимает время $s > 0$, одинаковое для всех партий. Все прибывающие работы должны быть включены в партию и отправлены. Уже включенную в партию работу нельзя исключить из нее.

Операция $O_{j1} \forall j$ выполняется на $M = M_1, M_2, \dots, M_m$ - множество всех машин (в данной задаче сортировочных путей), работающих независимо. Все машины эквивалентны и выполняют лишь одну операцию. Любая работа может обслуживаться на любой машине. Время выполнения работ одинаково для любой машины $p_j = p_i = p \forall j, i$. Прерывания в работе запрещены. Каждая машина работает по схеме *First In First Out*. Буфера ожидания, где работы могут ожидать обслуживания нет, то есть сразу после прибытия работа должна быть включена в партию должен быть расформирован.

Таким образом вагон j в момент времени r_j прибывает на станцию и должен продолжить движение в направлении way_j . Стоимость его пребывания на станции обходится в w_j за единицу условного времени. Обработка

вагона занимает время p_j . Отправление поезда занимает время s .

Для кадного вагона необходимо минимизировать время его прибывания на станции. Количество доступных машин не меньше, чем количество различных путей следования, так как в задаче отсутствует буфер. Существует норма, которая определяет минимальный MIN и максимальный MAX размер состава.

Пусть Π множество всевозможных расписаний. Под расписанием будем понимать указание, на каких машинах и в какое время должны выполняться работы. Требуется найти $\pi \in \Pi$, минимизирующую целевую функцию суммы взвешенного времени простоя в ожидании обслуживания каждой работы:

$$\sum_{j=1}^k (C_j(\pi) - p_j)w_j, \quad (1)$$

где $C_j(\pi)$ – время отправления со станции j -го вагона при расписании π . Предполагается что все веса w_j не отрицательны.

В силу независимости величины p_j от расписания, формула 1 может быть сведена к

$$\sum_{i=1}^m C_i(\pi)w_i \quad (2)$$

Описанная задача в терминологии теории расписаний носит обозначение $P|r_i; s - batching; p_i = p | \sum w_i C_i$.

5. Предложенные алгоритмы

Алгоритмы решения задачи $P|r_i; s - batch; p_i = p | \sum w_i C_i$ могут быть найдены в книге [11]. Они требуют настройки под данную задачу и будут представлены позже. Они также имеют свои недостатки, а именно большую трудоемкость (поэтому время их работы может быть неприемлемо велико). На данном этапе остановимся на эвристическом алгоритме, имеющем высокое быстродействие.

5.1. Алгоритм №1

Пусть задано множество J вагонов, где каждый вагон пронумерован в порядке его прибытия на сортировочную горку. Будем считать, что вагоны включаются в формирующийся состав за одно и то же время, то есть $\delta = const$.

Условно разделим элементы множества J на подмножества $\{J'_1, J'_2, \dots, J'_n\}$, определяющие пути дальнейшего следования каждого вагона. Выделим для каждого пути свою машину (свой путь) и разобьем задачу на n подзадач.

Рассмотрим одно из всевозможных направлений, то есть одну из машин. Для определенности обозначим ее через l . Пусть на пути уже стоит n_1 вагонов, причем $n_1 < MIN$ и все они следуют в одном направлении. В момент времени t_0 На горку прибывает поезд, в составе которого часть вагонов движется в выделенном направлении. Эти вагоны поступают на рассматриваемую машину l , причем последний вагон поступает в момент времени τ . Теперь на пути стоит уже $n_2 > MIN$ вагонов, а значит сформированный состав уже может быть отправлен. Чтобы решить, отправлять уже сформированный состав или ждать его пополнения вагонами из следующего прибывающего в момент времени t_1 поезда, выполним следующее действие. Оценим штраф, вносимый ожиданием прибытия поезда уже сформированным составом и штраф, вносимый ожиданием формирования нового состава для отправки вагонами нового поезда. На основании полученной инфор-

мации выберем решение, при котором достигается минимальный штраф. В случае если поездов больше не прибудет, отправим уже сформированный состав.

Таким образом, разбивая задачу на подзадачи и принимая на каждом шаге оптимальное решение, в итоге получим цельное расписание. Работающие таким образом алгоритмы называются жадными.

5.2. Алгоритм кратчайшего пути

¹ Как и ранее, разобьем все прибывающие вагоны на множества, согласно направлению их дальнейшего следования. Для каждого множества отдельно рассмотрим задачу $1|r_i; s - batch; p_i = p| \sum w_i C_i$.

Пусть заданы n работ J_i , для каждой из которых известны времена их обработки $p_i (i = 1, \dots, n)$. Работы могут быть обслужены только в партиях (s-batches). Партии, это набор из требований, выполняющихся совместно. Длительность обработки партии, сумма времен обработок каждого требования в партии. Время завершения C_i каждой работы в партии – время завершения обслуживания последнего требования в партии, то есть время завершения всех работ в партии одинаково. Начало обработки партии требует предварительного времени преднастройки машины $s > 0$. Предполагается, что время s не зависит ни от последовательности работ ни от номера партии. Задача обслуживания партий на одной машине заключается в нахождении последовательности работ, объединенных в коллекции партий таким образом, что сумма взвешенных времен завершения обслуживания всех работ минимально (2).

Любое решение задачи может быть представлено в виде

$$S J_{i(1)} \dots J_{i(2)-1} S J_{i(2)} \dots J_{i(k)-1} S J_{i(k)} \dots J_n$$

где k это количество партий, причем

¹Более подробно [11]

$$1 = i(1) < i(2) < \dots < i(k) < n$$

Также заметим, что решение полностью характеризуется последовательностью работ в партии и последовательностью самих партий размером $n_1, \dots, n_k$, где $n_j = i(j+1) - i(j)$. Введем время обслуживания для партии j :

$$P_j = s + \sum_{\nu=i(j)}^{i(j+1)-1} p_\nu \quad (3)$$

Таким образом имеем

$$F = \sum_{i=1}^m C_i(\pi) w_i = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{\nu=i(j)}^n w_\nu \right) P_j \quad (4)$$

Эта задача может быть сведена к специально структурированной задаче кратчайшего пути.

$$S \overbrace{J_{i(1)} \dots J_{i(2)-1}}^{c_{i(1),i(2)}} S J_{i(2)} \dots J_{i(k)-1} S \overbrace{J_{i(k)} \dots J_{n+1}}^{c_{i(k),i(k+1)}},$$

где J_{n+1} - мнимая работа.

Пусть $i < j$. Длина дуги (i, j) равна:

$$c_{i,j} = \left(\sum_{\nu=i}^{i+e} w_\nu \right) \left(s + \sum_{\nu=i}^{j-1} p_\nu \right) + \sum_{\nu=i}^{j-1} (r_{j-1} - r_\nu) w_\nu \quad (5)$$

и является "стоимостью" партии $J_i, J_{i+1}, \dots, J_{j-1}$, $i+e$ - последний ожидающий обслуживания партии. Для $i < k < l$ имеем

$$\begin{aligned} c_{i,l} - c_{i,k} &= \left(\sum_{\nu=i}^{i+e} w_\nu \right) \left(\sum_{\nu=k}^{l-1} p_\nu \right) + \sum_{\nu=k-1}^{l-1} (r_{j-1} - r_\nu) w_\nu = \\ &= f(i) h(k, l) \end{aligned} \quad (6)$$

где $f(i) = \sum_{\nu=1}^n \omega_\nu$ монотонно не убывает и $h(k, l) = \sum_{\nu=k}^{l-1} p_\nu \geq 0$. Таким образом имеем сеть с $n+1$ вершин, к которой применим алгоритм кратчайшего пути.

Algorithm 1 Алгоритм кратчайшего пути

```
1:  $Q := n$ ;  
2:  $F(n) := 0$ ;  
3: for  $i := n - 1, \dots, 1$  do  
4:   while  $head(Q) \neq tail(Q)$  and  $f(i) \geq \theta(next(head(Q)), head(Q))$  do  
5:     delete  $head(Q)$  from the queue;  
6:   end while  
7:    $SUCC(i) := head(Q)$   
8:    $F(i) := c_{ij} + F(j)$ ;  
9:   while  $head(Q) \neq tail(Q)$  and  $\theta(i, tail(Q)) \leq$   
     $\theta(tail(Q), previous(tail(Q)))$  do  
10:    delete  $tail(Q)$  from the queue;  
11:   end while  
12:   Add  $i$  to the queue  
13: end for
```

Чтобы вычислить каждое значение $f(i)$ и $h(k, l)$ в определенный момент времени, для начала вычислим частичные суммы $sp_i = \sum_{\nu=1}^{i-1} p_\nu$ и $sw_i = \sum_{\nu=1}^i w_\nu$. Далее $f(i) = sw_n - sw_{i-1}$ и $h(k, l) = sp_l - sp_k$. Такая операция может быть выполнена за $O(n)$ операций.

5.3. Итоги работы алгоритма

Приведем пример расписаний, построенных алгоритмами.

Данные для задачи были сгенерированы случайным образом. Тестирование алгоритма на реальных данных невозможно в силу их отсутствия в свободном доступе.

Количество прибывающих поездов было опциональным параметром. Каждый поезд k прибывал во время T_k . Величина T_k равномерно распределена на интервале $[0, 1080]$. Каждый вагон двигался в одном из 3 направлений, выбираемом случайно на этапе генерации. Каждый вагон имел случайную важность от 0 до 5. Время p и s для каждого вагона и поезда были равны 6 и 12 соответственно.

На Рис. 6 представлено расформирование 50 прибывающих поездов в

Расписание отправки поездов

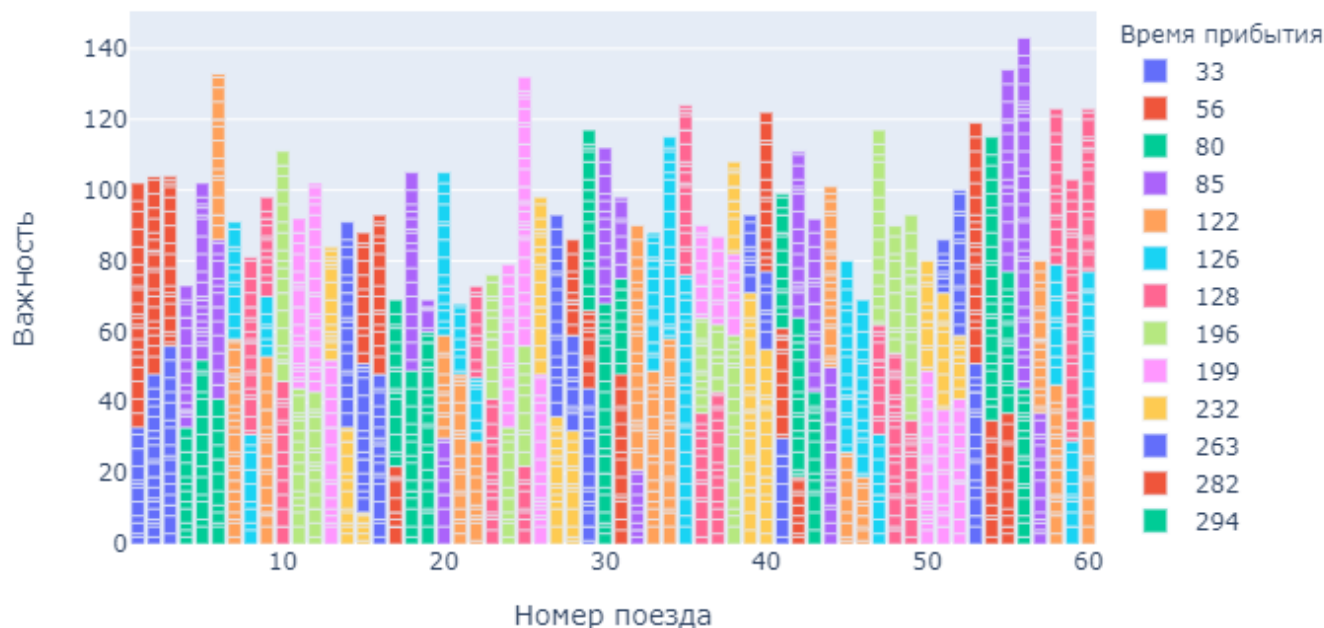


Рис. 6. Примеры работы программы

новые составы.

По оси OX отложен номер отправленного поезда. По оси OY отложен вес отправленного поезда. Быстродействие алгоритма велико. Для составления расписания расформирования и формирования 50 поездов потребовалось менее секунды.

Сравним работу двух алгоритмов на одном и том же примере. Расписание, построенное алгоритмом кратчайшего пути, получилось лучше, так как значение его целевой функции на 5% меньше. Однако, для составления расписания расформирования и формирования 20 поездов потребовалось около 40 минут.

Тот факт, что значение целевой функции для расписания, полученного алгоритмом кратчайшего пути, лучше, чем алгоритмом №1, можно объяснить бóльшим горизонтом планирования. Действительно, если алгоритм

Расписание отправки поездов

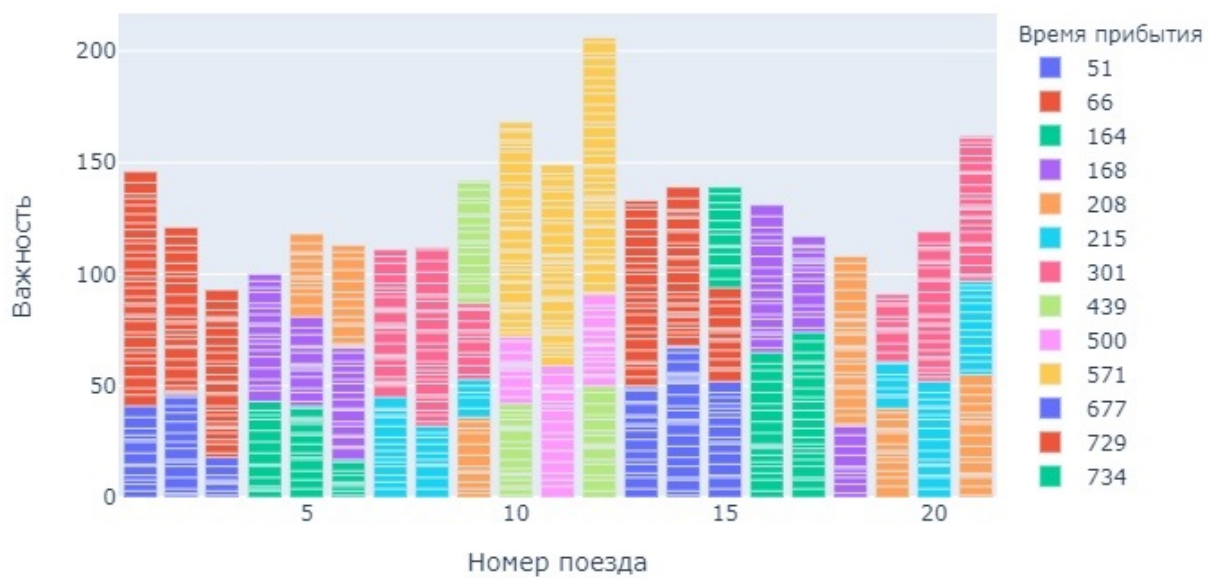


Рис. 7. Примеры работы алгоритма №1

Расписание отправки поездов

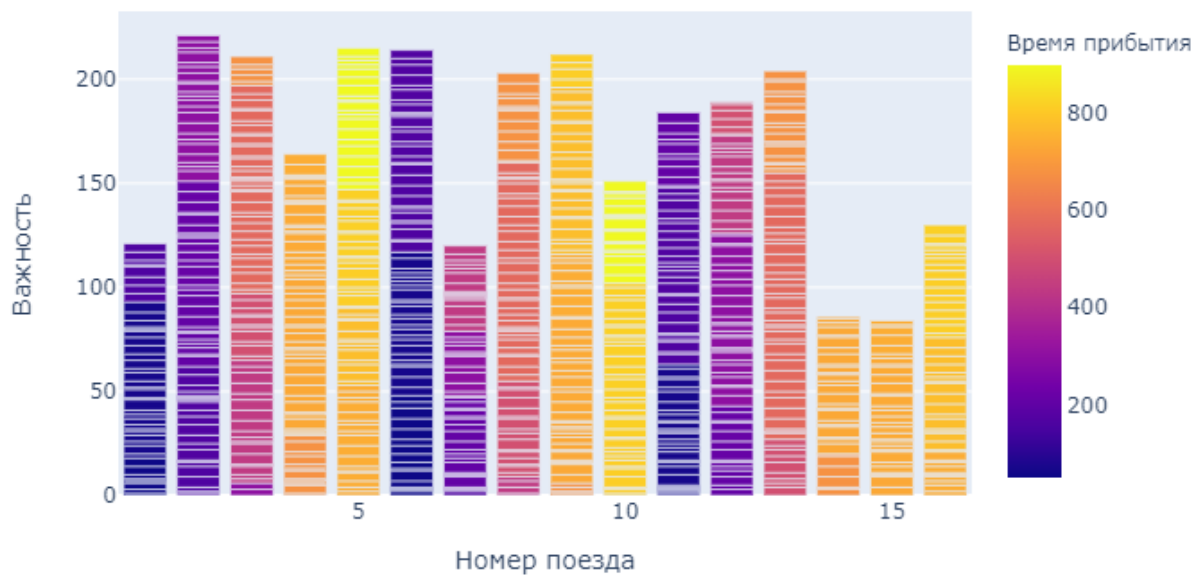


Рис. 8. Примеры работы алгоритма кратчайшего пути

№1 учитывает только следующий прибывающий поезд, то второй алгоритм сразу ищет кратчайший путь по всем разбиениям в матрице C (с элементами c_{ij}).

6. Заключение

В данной работе предложена постановка задачи оптимизации работы сортировочной горки в терминологии теории расписаний. Оптимизационным параметром выступала сумма взвешенного времени завершения обслуживания всех вагонов. Для данной математической модели представлены два алгоритма. Проведено их сравнение, которое показало более высокое быстроедействие первого алгоритма по сравнению со вторым. Таким образом, предложенный алгоритм может быть полезен, так как на практике часто случается изменение входных данных (запоздалое или раннее прибытие на станцию), и возникает необходимость быстрого перепланирования.

Задача формирования была сведена к задаче поиска кратчайшего пути. Для более точного моделирования работы сортировочной горки могут быть введены дополнительные ограничения, рассмотрены дополнительные целевые функции, применены новые алгоритмы. В дальнейшем планируется объединение данной задачи вместе с другими задачами начальника станции.

Работа выполнена под научным руководством д.ф.-м.н., проф. Лазарева
А.А.

Список литературы

- [1] Morlok E.K., Peterson R.B., Final Report on a Development of a Geographic Transportation Network Generation and Evaluation Model.. Journal of the Transportation Research Forum, 1970, No. 11, pp. 71–105.
- [2] Труды конференций «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» М.: ОАО «НИИАС». 2016-2019 гг.
- [3] Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Гафаров Е.Р., Кварацхелия А.Г., ТЕОРИЯ РАСПИСАНИЙ. ЗАДАЧИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ, Научное издание. — М.: ИПУ РАН, 2012. — 92 с
- [4] Н. Н. Григорьева, А. Ф. Ляхов., Математический анализ эффективности сортировки сложного железнодорожного состава, Матем. обр., 2014, выпуск 2(70), 23–35 с
- [5] Агеева М.А., Лаханкин Е.А., Подорин А.А., Кибанов Г.В., Автоматизация расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад на график движения поездов с учетом индивидуальных особенностей полигона Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог в АСГОЛ-ГДС, Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием ИСУЖТ-2018 М.: ОАО «НИИАС». 2018. С. 47–51.
- [6] Методические указания по расчету потребности в поездных локомотивах грузового движения и показателей их использования по графикам движения поездов (ЦДЛ-60), утвержденные ОАО «РЖД» 25.06.2014.
- [7] Распоряжение ОАО РЖД от 19.12.2016 N 2585р (ред. от 10.12.2018) Об утверждении Положения о планово-предупредительном ремонте моторвагонного подвижного состава ОАО «РЖД»
- [8] Evers R.P., Algorithms for Scheduling of Train Maintenance, Department of Software Technology, Faculty EEMCS, Delft University of Technology, Netherlands, 2010.

- [9] Labetoulle J., Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Preemptive scheduling of uniform machines subject to release dates, Progress in Combinatorial Optimization. 1984. pp. 245–261.
- [10] Гришин Е.М., Мусатова Е.Г., Галахов С.А., Правдивец Н.А., Лазарев А.А., Составление порядка обслуживания локомотивов Труды 8-ой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2019, Москва). М.: АО «НИИАС», 2019. С. 115-119.
- [11] Peter Brucker, Scheduling Algorithms, Fifth Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006