

АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В ОБЩИХ СЕЧЕНИЯХ ИХ ПРОСЛЕДОВАНИЯ



С.П. Вакуленко



В.И. Апатцев

В статье изложены этапы применения разработанного авторами алгоритма при моделировании работы железнодорожной инфраструктуры на примере крупного железнодорожного узла, обладающего сложной структурой и нелинейной связью между станциями, имеющего станции массового формирования и расформирования поездопотоков.

Ключевые слова: транспортные потоки, грузовые перевозки, железнодорожный узел, размеры движения, эксплуатация инфраструктуры

EDN: KPUTXB

В статье [1] описан разработанный авторами алгоритм определения размеров движения грузовых поездов в сечениях железнодорожных узлов и полигонов [2]. Эффективный инструмент определения общих сечений движения грузовых поездов различных назначений [3–5] позволит выявить ограничивающие элементы в пределах рассматриваемого фрагмента железнодорожной сети и выработать решения по необходимости инвестиций в развитие пропускной и перера-

батывающей способности участков [6]. Современные системы оперативного управления перевозочным процессом [7] требуют разработки форматизированных подходов к определению параметров движения грузовых поездов. Полученные с использованием разработанного алгоритма данные можно использовать при составлении имитационных моделей [8–10] описывающих закономерности продвижения поездопотока в пределах железнодорожных узлов.

Вакуленко Сергей Петрович, кандидат технических наук, профессор, заместитель директора по международным связям Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: пропускные и перерабатывающие способности линий и станций, управление вагонными парками, логистика грузовых и пассажирских перевозок, мультимодальные перевозки, транспортные коридоры, техническое оснащение и технология работы станций (всех типов). Автор более 300 научных работ.

Апатцев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, советник при ректорате Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация и управление транспортными процессами. Автор около 200 научных и учебно-методических трудов.

Калинин Кирилл Антонович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в грузовом и пассажирском сообщениях, конфигурация работы железнодорожных узлов, организация высокоскоростных пассажирских перевозок, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 81 научной работы, в том числе пяти учебных пособий и пяти монографий.

Ершов Андрей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование работы железнодорожных станций и участков, развитие полигонных технологий, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 21 научной работы, в том числе одного учебного пособия и одной монографии.

Алгоритм [1] рассматривается на примере модельного железнодорожного узла, схема которого представлена на рис. 1.

На приведенной схеме имеется 20 железнодорожных станций из которых:

- точки 1,2,3 являются стыковочными и обозначают «границы» железнодорожного узла;
- станции 4,5 являются внутриузловыми станциями массового расформирования составов, в адрес которых прибывают поезда со станций 1,2,3;
- станции 6—20 внутриузловые станции, открытые для грузовой работы, на которые прибывают поезда различных категорий, как отправительские маршруты со станций 1,2 и 3, так и внутриузловые вывозные сборные или сборно-вывозные поезда, формируемые на станциях 4 и 5.

На первом этапе алгоритма железнодорожный узел представляется в виде массивов данных, характеризующих связь станций (точек) между собой (матрица связности с указанием расстояний между точками представлена в табл. 1) и связи станций и соединяющих их перегонов. Общее количество станций в моделируемом примере — 20. В случае наличия связи (перегона) между рассматриваемой парой станций в качестве затрат принимается фактическое расстояние между осями железнодорожных станций, а в случае

ее отсутствия искомое расстояние обозначается как « ∞ ».

Для составления матрицы инцидентности необходимо пронумеровать все перегоны, соединяющие точки. Нумерация выполняется последовательно, построчно, в соответствии с составленной матрицей связности. Номера перегонов, связывающих точки узла, приведены в табл. 2. Общее количество перегонов для рассматриваемого примера составит 28.

Из полученных матриц составляется матрица инцидентности (табл. 3), имеющая размерность: количество точек на количество перегонов. Она показывает соединяемые каждым перегоном станции.

Результат применения алгоритма для схемы, приведенной на рис. 1 для точек формирования внутри узловых поездопотоков (точки 4 и 5) и формируемые соответствующие массивы для каждой итерации расчета затрат на перемещение и назначение следования поездов приведены в табл. 4,5 для точки 5 и в табл. 6 и 7 для точки 4.

В табл. 8 приведен сводный результат расчета кратчайших расстояний следования грузовых поездов в пределах моделируемого железнодорожного узла, а в табл. 9 маршруты следования для всех станций в пределах рассматриваемого узла.

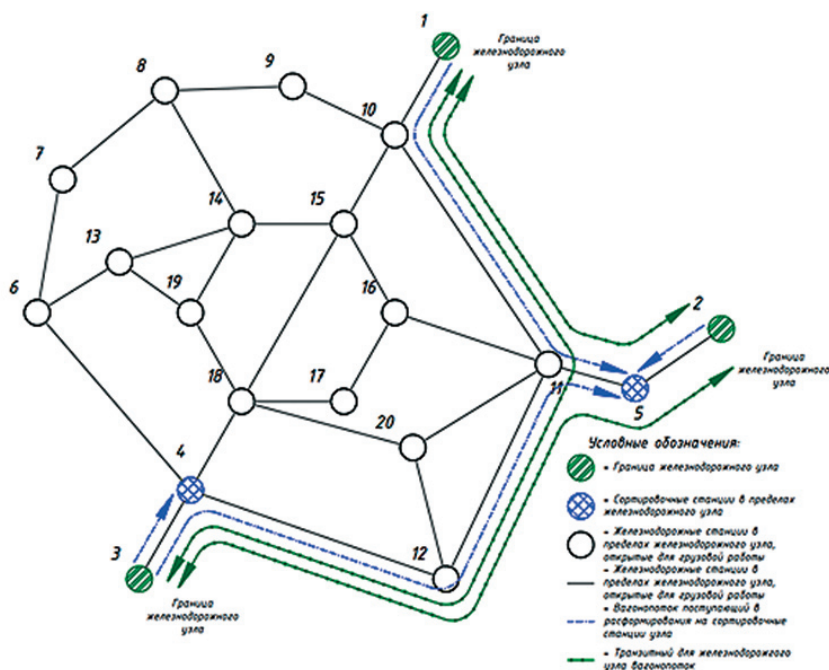


Рис. 1. Структура и вагонопотоки моделируемого железнодорожного узла

В условиях эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в крупных железнодорожных узлах с интенсивным движением прочих категорий поездов на движение грузовых поездов могут накладываться ограничения на использование определенных участков и перегонов. Следствием таких ограничений может являться отклонение грузовых поездов на части внутриузловых назначений от оптимального маршрута по исследуемому параметру (расстояние или приведенные затраты на пропуск). Пример подобного изменения маршрута следования грузового поезда при наличии ограничений приведен на рис. 2. В дальнейших расчетах для всех рассматриваемых назначений грузовых поездов будет выполняться проверка ограничений и корректировка маршрутов следования при их наличии.

Для проверки корректности работы алгоритма введем пятнадцать маршрутов следования грузовых поездов, приведенных в табл. 10, для каждого из которых выявлен маршрут следования, представляющий собой упорядоченную последовательность точек и соответствующую им совокупность перегонов в пределах железнодорожного узла.

Для каждого назначения задается мощность корреспонденции, составляется матрица, размерность которой определяется общим количеством маршрутов и перегонов в пределах железнодорожного узла. Каждый элемент полученного массива, отражающий инцидентность перегонов к выделенным маршрутам

следования, заполняется переменными из булева множества (табл. 11).

На основании табл. 11 составляется матрица сочетаемости маршрутов, обозначающая, какие маршруты являются более короткими по отношению к другим (табл. 12). Выявленные маршруты следования поездов, сочетаемые с более короткими, приведены в табл. 13.

Для модельного примера маршрут 2–3 является более дальним по отношению к наибольшему числу более коротких маршрутов (2–4, 2–5, 3–4, 3–5, 4–5) и в промежуточных сечениях может образовывать дробную нумерацию на наибольшем числе внутриузловых маршрутов. В то же время в сечениях маршрутов 2–5 и 4–5 наблюдается наибольшее увеличение потенциальных размеров движения — на 36 и 29 пар поездов, что составляет 280 и 261 % от собственных размеров движения данных назначений соответственно.

Наибольшая дробность ниток грузовых поездов наблюдается на перегоне, соединяющем точки 5 и 11, при полностью дробном графике каждой нитке необходимо присваивать 5 номеров.

Результаты применения алгоритма для фрагмента железнодорожной инфраструктуры применимы при выявлении ключевых параметров и характеристик использования инфраструктуры в рассматриваемых сечениях и описании структуры поездопотока на основных железнодорожных перегонах. 

Литература

1. Особенности пропуска грузовых поездов в крупных железнодорожных узлах при дробной нумерации ниток в графике движения / С. П. Вакуленко, В. И. Апатцев, К. А. Калинин, А. Д. Ершов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2025. - № 1. - С. 16-23. EDN: KZVDBF.
2. Вакуленко, С. П. Особенности распределения вагонопотоков на сети железных дорог / С. П. Вакуленко, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 9. - С. 12-15. - EDN ALEVLE.
3. Особенности пропуска грузовых поездов в крупных железнодорожных узлах при дробной нумерации ниток в графике движения / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 2. - С. 32-41. - EDN QGNBRX.
4. Вакуленко, С. П. Определение интервалов между грузовыми поездами при использовании полностью дробной нумерации ниток поездов в нормативном графике движения / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы: материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 54-62. - DOI 10.30932/9785002446094-2024-54-62. - EDN IQIOUV.
5. Вакуленко, С. П. Структуризация опыта применения дробной нумерации в графике движения поездов в крупных железнодорожных узлах / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 44-50. - EDN LMZPLM.

6. Бородин, А. Ф. Использование ресурсов железнодорожной сети: результативность планирования и управления / А. Ф. Бородин, Р. В. Шиндеров, Р. Г. Строченков. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 3(82). - С. 3-10. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-3-3-10. - EDN QYCIJB.
7. Задачи развития системы оперативного управления перевозочным процессом / М. И. Мехедов, Е. А. Сотников, П. С. Холодняк, С. В. Лобанов. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 6. - С. 4-9. - EDN DCAWBJ.
8. Козлов, П. А. Оптимизация развития транспортных узлов и полигонов на основе имитационного моделирования / П. А. Козлов. - Текст : непосредственный // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». - 2023. - № 8-2. - С. 30-40. - EDN GEIEHV.
9. Козлов, П. А. Управление транспортными потоками при случайном разбросе в параметрах / П. А. Козлов, В. П. Козлова, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 1. - С. 90-95. - EDN UQJZOO.
10. Обустойчивости транспортных систем / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, О. В. Осокин, Н. В. Якушев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 2(81). - С. 11-15. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-11-15. - EDN CHWROF.

Таблица 1

Матрица затрат для расчетного железнодорожного узла

		Номер точки (станции) назначения в пределах рассматриваемого железнодорожного узла																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер точки (станции) отправления в пределах рассматриваемого железнодорожного узла	1	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	2	∞	0	∞	∞	28	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	3	∞	∞	0	29	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	4	∞	∞	29	0	∞	58	∞	∞	∞	∞	∞	43	∞	∞	∞	∞	∞	28	∞	∞
	5	∞	28	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	19	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	6	∞	∞	∞	58	∞	0	33	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	7	∞	∞	∞	∞	∞	33	0	22	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	22	0	29	∞	∞	∞	∞	29	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	29	0	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	10	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	0	48	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞
	11	∞	∞	∞	∞	19	∞	∞	∞	∞	48	0	42	∞	∞	∞	1,7	∞	∞	∞	22
	12	∞	∞	∞	43	∞	∞	∞	∞	∞	∞	42	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1
	13	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	27	∞	∞	∞	∞	2	∞
	14	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	29	∞	∞	∞	∞	27	0	1,7	∞	∞	∞	3	∞
	15	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	1,7	0	1,5	∞	4,5	∞	∞
	16	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,7	∞	∞	∞	1,5	0	2,1	∞	∞	∞
	17	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,1	0	1,6	∞	∞	∞
	18	∞	∞	∞	28	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,5	∞	1,6	0	∞	23
	19	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	3	∞	∞	∞	∞	0	∞
	20	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	22	1	∞	∞	∞	∞	∞	23	∞	0

Таблица 2

Матрица номеров перегонов для расчетного железнодорожного узла

		Номер точки (станции) назначения в пределах рассматриваемого железнодорожного узла																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер точки (станции) в пределах рассматриваемого железнодорожного узла	1										1										
	2					2															
	3				3																
	4			3			4						5						6		
	5		2									7									
	6				4			8						9							
	7						8		10												
	8							10		11					12						
	9								11		13										
	10	1								13		14				15					
	11					7					14		16				17				18
	12				5							16									19
	13						9								20					21	
	14							12						20		22				23	
	15										15				22		24		25		
	16											17				24		26			
	17																26		27		
	18				6											25					28
	19													21	23						
	20											18	19						28		

Таблица 3

Матрица инцидентности перегонов и соединяемых ими железнодорожных станций

		Номер ребра (перегона) в пределах рассматриваемого железнодорожного узла																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Номер точки (станции) в пределах рассматриваемого железнодорожного узла	1	1																												
	2		1																											
	3			1																										
	4			1	1	1	1																							
	5		1					1																						
	6				1				1	1																				
	7							1			1																			
	8										1	1	1																	
	9											1			1															
	10	1											1	1	1															
	11							1							1	1														
	12					1											1		1	1										
	13									1										1	1									
	14											1								1		1	1							
	15													1										1	1					
	16															1									1	1				
	17																	1								1	1			
	18						1																				1		1	1
	19																				1		1							
	20																													

Таблица 4

Результат расчета затрат на маршрутах следования от станции «5» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

Номер итерации (этап расчета)	Станция отправления	Станция прибытия	Номер точки на значении в пределах рассматриваемого узла																				Минимальное расстояние на рассматриваемой итерации, км
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Общее расстояние		7,2	28	12,1	9,2	0	10,6	11,9	9,7	8,2	6,2	1,9	5,1	9,5	6,8	5,1	3,6	5,7	6,4	9,8	4,1	
1	5	11	∞	28	∞	∞		∞	∞	∞	∞	∞	1,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,9
2	11	2	∞	28	∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		6,1	∞	∞	∞	3,6	∞	∞	∞	4,1	2,8
3	2	16	∞		∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		6,1	∞	∞	∞	3,6	∞	∞	∞	4,1	3,6
4	16	20	∞		∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		6,1	∞	∞	5,1		5,7	∞	∞	4,1	4,1
5	20	12	∞		∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		5,1	∞	∞	5,1		5,7	6,4	∞		5,1
6	12	15	∞		∞	9,4		∞	∞	∞	∞	6,7			∞	∞	5,1		5,7	6,4	∞		5,1
7	15	17	∞		∞	9,4		∞	∞	∞	∞	6,2			∞	6,8			5,7	6,4	∞		5,7
8	17	10	∞		∞	9,4		∞	∞	∞	∞	6,2			∞	6,8				6,4	∞		6,2
9	10	18	7,2		∞	9,4		∞	∞	∞	8,2				∞	6,8				6,4	∞		6,4
10	18	14	7,2		∞	9,2		∞	∞	∞	8,2				∞	6,8					∞		6,8
11	14	1	7,2		∞	9,2		∞	∞	9,7	8,2				9,5						9,8		7,2
12	1	9			∞	9,2		∞	∞	9,7	8,2				9,5						9,8		8,2
13	9	4			∞	9,2		∞	∞	9,7					9,5						9,8		9,2
14	4	13			12,1			15	∞	9,7					9,5						9,8		9,5
15	13	8			12,1			10,6	∞	9,7											9,8		9,7
16	8	19			12,1			10,6	11,9												9,8		9,8
17	19	6			12,1			10,6	11,9														10,6
18	6	7			12,1				11,9														11,9
19	7	3			12,1																		12,1

Таблица 5

Результат расчета назначений на маршрутах следования от станции «5» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

		Направление следования в точку назначения																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		10	5	4	18	5	13	8	14	10	15	5	20	14	15	16	11	16	20	14	11
Номер шага расчета маршрута	1	1	5	3	4	5	6	7	8	9	10	5	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2	1	5	3	4		6	7	8	9	11		11	13	14	15	11	17	18	19	11
	3	1		3	4		6	7	8	9	11		11	13	14	15	11	17	18	19	11
	4	1		3	4		6	7	8	9	11		11	13	14	16		16	18	19	11
	5	1		3	4		6	7	8	9	11		20	13	14	16		16	20	19	
	6	1		3	12		6	7	8	9	11			13	14	16		16	20	19	
	7	1		3	12		6	7	8	9	15			13	15			16	20	19	
	8	1		3	12		6	7	8	9	15			13	15				20	19	
	9	10		3	12		6	7	8	10				13	15				20	19	
	10	10		3	18		6	7	8	10				13	15					19	
	11	10		3	18		6	7	14	10				14						14	
	12			3	18		6	7	14	10				14						14	
	13			3	18		6	7	14					14						14	
	14			4			4	7	14					14						14	
	15			4			13	7	14											14	
	16			4			13	8												14	
	17			4			13	8													
	18			4				8													
	19			4																	

Таблица 6

Результат расчета затрат на маршрутах следования от станции «4» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

Номер итерации (шаг расчета)	Станция отправления	Станция прибытия	Номер точки назначения в пределах рассматриваемого узла																				Минимальное расстояние на рассматриваемой итерации, км
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
			Общие расстояние	9,4	12	29	0	9,2	58	9,1	113	104	84	73	43	69	9	73	65	44	28	89	
1	4	18	∞	∞	29		∞	58	∞	∞	∞	∞	∞	43	∞	∞	∞	∞	28	∞	∞	28	
2	18	3	∞	∞	29		∞	58	∞	∞	∞	∞	∞	43	∞	∞	73	∞	44	∞	51	29	
3	3	12	∞	∞			∞	58	∞	∞	∞	∞	∞	43	∞	∞	73	∞	44	∞	51	43	
4	12	17	∞	∞			∞	58	∞	∞	∞	∞	85		∞	∞	73	∞	44	∞	51	44	
5	17	20	∞	∞			∞	58	∞	∞	∞	∞	85		∞	∞	73	65		∞	51	51	
6	20	6	∞	∞			∞	58	∞	∞	∞	∞	73		∞	∞	73	65		∞		58	
7	6	16	∞	∞			∞		9,1	∞	∞	∞	73		69	∞	73	65		∞		65	
8	16	13	∞	∞			∞		9,1	∞	∞	∞	73		69	∞	73			∞		69	
9	13	11	∞	∞			∞		9,1	∞	∞	∞	73			96	73			89		73	
10	11	15	∞	∞			9,2		9,1	∞	∞	12,1				96	73			89		73	
11	15	10	∞	∞			9,2		9,1	∞	∞	84				9				89		84	
12	10	19	9,4	∞			9,2		9,1	∞	104					9				89		89	
13	19	14	9,4	∞			9,2		9,1	∞	104					9						9	
14	14	7	9,4	∞			9,2		9,1	119	104											9,1	
15	7	5	9,4	∞			9,2			113	104											9,2	
16	5	1	9,4	12						113	104											9,4	
17	1	9		12						113	104											104	
18	9	8		12						113												113	
19	8	2		12																		12	

Таблица 7

**Результат расчета назначений на маршрутах следования от станции «4» моделируемого
железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра
при использовании алгоритма Дейкстры**

		Направление следования в точку назначения																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		10	5	4	4	11	4	6	7	10	15	20	4	6	15	18	17	18	4	13	18
Номер шага расчета маршрута	1	1	2	4	4	5	4	7	8	9	10	11	4	13	14	15	16	17	4	19	20
	2	1	2	4		5	4	7	8	9	10	11	4	13	14	18	16	18		19	18
	3	1	2			5	4	7	8	9	10	11	4	13	14	18	16	18		19	18
	4	1	2			5	4	7	8	9	10	12		13	14	18	16	18		19	18
	5	1	2			5	4	7	8	9	10	12		13	14	18	17			19	18
	6	1	2			5	4	7	8	9	10	20		13	14	18	17			19	
	7	1	2			5		6	8	9	10	20		6	14	18	17			19	
	8	1	2			5		6	8	9	10	20		6	14	18				19	
	9	1	2			5		6	8	9	10	20			13	18				13	
	10	1	2			11		6	8	9	11				13	18				13	
	11	1	2			11		6	8	9	15				15					13	
	12	10	2			11		6	8	10					15					13	
	13	10	2			11		6	8	10					15						
	14	10	2			11		6	14	10											
	15	10	2			11			7	10											
	16	10	5						7	10											
	17		5						7	10											
	18		5						7												
	19		5																		

Таблица 8

**Выявленные кратчайшие расстояния следования грузовых поездов
в моделируемом железнодорожном узле**

Точка отправления	Результат определения маршрутов следования при применении алгоритма																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	10	12	9,4	7,2	7,6	8,1	5,9	3	1	5,3	8,5	6,5	3,8	2,1	3,6	5,7	6,6	6,8	7,5
2	10	0	15	12	2,8	13	15	13	11	9	4,7	7,9	12	9,6	7,9	6,4	8,5	9,2	13	6,9
3	12	15	0	2,9	12	8,7	12	14	13	11	10	7,2	9,8	12	10	9,4	7,3	5,7	12	8
4	9,4	12	2,9	0	9,2	5,8	9,1	11	10	8,4	7,3	4,3	6,9	9	7,3	6,5	4,4	2,8	8,9	5,1
5	7,2	2,8	12	9,2	0	11	12	9,7	8,2	6,2	1,9	5,1	9,5	6,8	5,1	3,6	5,7	6,4	9,8	4,1
6	7,6	13	8,7	5,8	11	0	3,3	5,5	8,4	6,6	8,7	10	1,1	3,8	5,5	7	9,1	8,6	3,1	11
7	8,1	15	12	9,1	12	3,3	0	2,2	5,1	7,1	10	13	4,4	5,1	6,8	8,3	10	11	6,4	12
8	5,9	13	14	11	9,7	5,5	2,2	0	2,9	4,9	7,8	11	5,6	2,9	4,6	6,1	8,2	9,1	5,9	10
9	3	11	13	10	8,2	8,4	5,1	2,9	0	2	6,3	9,5	7,5	4,8	3,1	4,6	6,7	7,6	7,8	8,5
10	1	9	11	8,4	6,2	6,6	7,1	4,9	2	0	4,3	7,5	5,5	2,8	1,1	2,6	4,7	5,6	5,8	6,5
11	5,3	4,7	10	7,3	1,9	8,7	10	7,8	6,3	4,3	0	3,2	7,6	4,9	3,2	1,7	3,8	4,5	7,9	2,2
12	8,5	7,9	7,2	4,3	5,1	10	13	11	9,5	7,5	3,2	0	11	8,1	6,4	4,9	4,9	3,3	11	1
13	6,5	12	9,8	6,9	9,5	1,1	4,4	5,6	7,5	5,5	7,6	11	0	2,7	4,4	5,9	8	8,9	2	9,8
14	3,8	9,6	12	9	6,8	3,8	5,1	2,9	4,8	2,8	4,9	8,1	2,7	0	1,7	3,2	5,3	6,2	3	7,1
15	2,1	7,9	10	7,3	5,1	5,5	6,8	4,6	3,1	1,1	3,2	6,4	4,4	1,7	0	1,5	3,6	4,5	4,7	5,4
16	3,6	6,4	9,4	6,5	3,6	7	8,3	6,1	4,6	2,6	1,7	4,9	5,9	3,2	1,5	0	2,1	3,7	6,2	3,9
17	5,7	8,5	7,3	4,4	5,7	9,1	10	8,2	6,7	4,7	3,8	4,9	8	5,3	3,6	2,1	0	1,6	8,3	3,9
18	6,6	9,2	5,7	2,8	6,4	8,6	11	9,1	7,6	5,6	4,5	3,3	8,9	6,2	4,5	3,7	1,6	0	9,2	2,3
19	6,8	13	12	8,9	9,8	3,1	6,4	5,9	7,8	5,8	7,9	11	2	3	4,7	6,2	8,3	9,2	0	10
20	7,5	6,9	8	5,1	4,1	11	12	10	8,5	6,5	2,2	1	9,8	7,1	5,4	3,9	3,9	2,3	10	0

Таблица 9

**Выявленные маршруты следования грузовых поездов
в моделируемом железнодорожном узле**

Точка отправления	Результат определения маршрутов следования в точку назначения при применении алгоритма Дейкстры																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	5	4	18	11	13	8	9	10	1	16	20	14	15	10	15	16	15	14	11
2	10	2	4	18	2	13	8	14	10	15	5	20	14	15	16	11	16	20	14	11
3	10	5	3	3	11	4	6	7	10	15	20	4	6	15	18	17	18	4	13	18
4	10	5	4	4	11	4	6	7	10	15	20	4	6	15	18	17	18	4	13	18
5	10	5	4	18	5	13	8	14	10	15	5	20	14	15	16	11	16	20	14	11
6	10	5	4	6	11	6	6	7	8	15	16	4	6	13	14	15	16	4	13	18
7	10	5	4	6	11	7	7	7	8	9	16	20	6	8	14	15	16	15	13	11
8	10	5	4	6	11	7	8	8	8	9	16	20	14	8	14	15	16	15	14	11
9	10	5	4	18	11	7	8	9	9	9	16	20	14	15	10	15	16	15	14	11
10	10	5	4	18	11	13	8	9	10	10	16	20	14	15	10	15	16	15	14	11
11	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	11	20	14	15	16	11	16	20	14	11
12	10	5	4	12	11	4	8	14	10	15	20	12	14	15	16	11	18	20	14	12
13	10	5	4	6	11	13	6	14	10	15	16	20	13	13	14	15	16	15	13	11
14	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	14	14	15	16	15	14	11
15	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	15	15	15	16	15	14	11
16	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	15	16	16	16	17	14	11
17	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	15	16	17	17	17	14	18
18	10	5	4	18	11	4	8	14	10	15	20	20	14	15	18	17	18	18	14	18
19	10	5	4	6	11	13	6	14	10	15	16	20	19	19	14	15	16	15	19	11
20	10	5	4	18	11	4	8	14	10	15	20	20	14	15	16	11	18	20	14	20

Таблица 10

**Упорядоченная последовательность станций, проследуемых
на моделируемых маршрутах**

Назначение грузового поезда	Порядковый номер станции и номер соответствующей точки в маршруте									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	2	5	11	16	15	10	1			
1-3	3	4	18	15	10	1				
1-4	4	18	15	10	1					
1-5	5	11	16	15	10	1				
2-3	3	4	18	20	11	5	2			
2-4	4	18	20	11	5	2				
2-5	5	2								
3-4	4	3								
3-5	5	11	20	18	4	3				
4-5	5	11	20	18	4					
4-7	7	6	4							
4-8	8	7	6	4						
5-8	8	14	15	16	11	5				
5-9	9	10	15	16	11	5				
5-12	12	20	11	5						

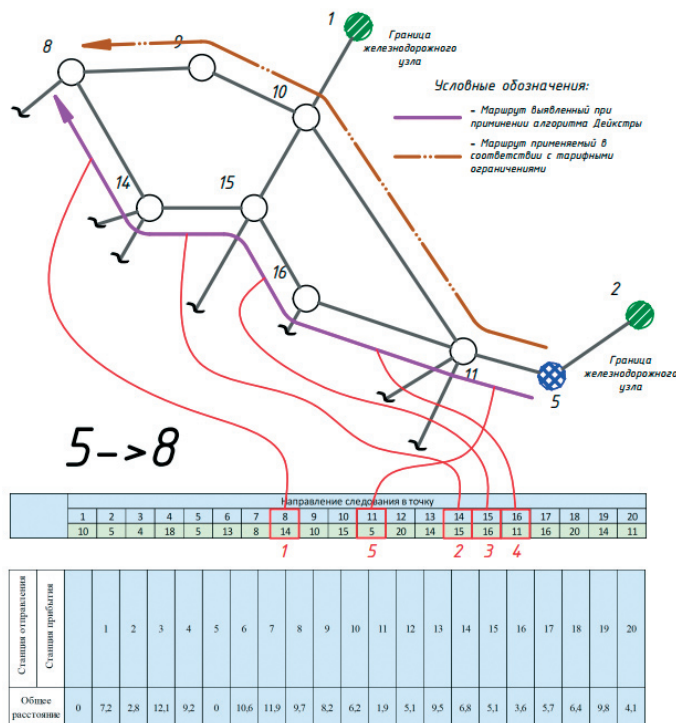


Рис. 2. Схема различия в выявленном и тарифном маршрутах следования грузового поезда

Таблица 11

Матрица инцидентности ребер для моделируемых маршрутов

№ Маршрута	Протяженность, км	Размеры движения на маршруте	Номер ребра (перетона) в пределах рассматриваемого фрагмента железнодорожного узла																												Количество перетонов	
			Назначение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		28
1	10	13	1-2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6
2	12,3	8	1-3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
3	9,4	11	1-4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
4	7,2	24	1-5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
5	14,9	5	2-3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
6	12	18	2-4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
7	2,8	20	2-5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	2,9	5	3-4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	12,1	6	3-5	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
10	9,2	18	4-5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
11	9,1	17	4-7	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
12	11,3	6	4-8	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
13	11	8	5-8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5
14	8,2	5	5-9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
15	5,1	19	5-12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Таблица 12

Матрица сочетаемости маршрутов при определении фонда номеров в сечении

Назначение π, γ	Размеры движения на маршруте	Потенциальные размеры движения в сечениях	Необходимый резерв номеров на назначение	Назначение π, x														
				1 - 2	1 - 3	1 - 4	1 - 5	2 - 3	2 - 4	2 - 5	3 - 4	3 - 5	4 - 5	4 - 7	4 - 8	5 - 8	5 - 9	5 - 12
1 - 2	13	13	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 - 3	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 - 4	11	19	38	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 - 5	24	37	74	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 3	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 4	18	23	46	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 5	20	56	112	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 - 4	5	24	48	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3 - 5	6	11	22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	18	47	94	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4 - 7	17	23	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4 - 8	6	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 8	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 9	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 12	19	19	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 13

Маршруты следования поездов в сечении

Номер перегона	Соединяемые перегоном точки		Назначения маршрута, проходящего через перегон				
			1	2	3	4	5
1	1	10	1 - 4	1 - 5			
2	2	5	2 - 5				
3	3	4	3 - 4				
4	4	6	4 - 7				
6	4	18	1 - 4	4 - 5			
7	5	11	1 - 5	4 - 5	5 - 8	5 - 9	5 - 12
8	6	7	4 - 7				
12	8	14	5 - 8				
13	9	10	5 - 9				
15	10	15	1 - 4	1 - 5	5 - 9		
17	11	16	1 - 5	5 - 8	5 - 9		
18	11	20	4 - 5	5 - 12			
19	12	20	5 - 12				
23	14	15	5 - 8				
24	15	16	1 - 5	5 - 8	5 - 9		
25	15	18	1 - 4				
28	18	20	4 - 5				