

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ДРОБНОЙ НУМЕРАЦИИ В ГРАФИКЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ



С.П. Вакуленко



А.Д. Ершов

В статье исследуется проблематика образования дробной нумерации в нормативном графике движения поездов в условиях следования поездов разных маршрутов в крупном узле, следующих в общем сечении железнодорожного узла.

Ключевые слова: железнодорожный узел, грузовые перевозки, железнодорожный участок, технология, пропуск грузовых поездов

EDN: LMZPLM

При разработке нормативных графиков движения поездов (НГДП) крупных железнодорожных узлов кольцевого и полукольцевого типа [1;2], таких как Московский, Санкт-Петербургский узлы, может использоваться дробная нумерация ниток поездов [3;4].

Множество номеров на нитке графика, записанных через дробь, может образоваться в случае пропуска по рассматриваемой нитке, в установленный момент времени поездов разных категорий, которые имеют общий участок следования (далее сечение) внутри железнодорожного узла.

Использование дробной нумерации ниток поездов [5–7] в НГДП крупных железнодорожных узлов дает

возможность отправлять сформированные поезда с технических станций по готовности. Однако следствием отправления поездов по готовности с разных технических станций, следующих на общий участок следования, может являться их одновременное прибытие на узловую (стыковочную) станцию с разных направлений [8;9]. В случае одновременного прибытия поездов на одну нитку графика движения поездов необходимы осуществление диспетчерского вмешательства и корректировка времен проследования поезда с образованием незапланированных простоев грузовых поездов.

Далее для описания технологических задач, возникающих при использовании дробной нумерации в

Вакуленко Сергей Петрович, кандидат технических наук, профессор, директор 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.

Ершов Андрей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация движения поездов, технология работы железнодорожных полигонов и участков, моделирование работы станций. Автор 14 научных работ.

Калинин Кирилл Антонович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация скоростного и высокоскоростного движения, моделирование работы транспортных систем, развитие пассажирской и грузовой инфраструктуры, внедрение инновационных технологий на железнодорожном транспорте. Автор 63 научных работ.

НГДП введем следующие термины, описывающие рассматриваемое явление.

Дробность нитки графика движения поездов — величина, характеризующая количество маршрутов следования в узле, приходящихся на одну нитку в графике движения поездов, в дальнейших расчетах обозначим как Λ .

Дробная схема — требования к порядку присвоения и количеству номеров поездов различных категорий и маршрутов следования в узле на нитки графика движения поездов.

Вариант дробной схемы — фактический перечень маршрутов следования в узле и категорий поездов, присваиваемый на различные нитки графика движения поездов.

Принятая система нумерации на прокладываемых в графике движения поездов нитках, с выбором дробной схемы, непосредственно влияет на режим работы участка железной дороги и показатели пропускной способности грузовых поездов. Рассмотрим различные варианты прокладки ниток в графике движения поездов на примере южного участка Большого кольца Московской железной дороги (БМО), ограниченного станциями Бекасово-Сортировочное и Орехово-Сортировочное [10;11]. В табл. 1 представлены возможные маршру-

ты следования в узле поездов со сменой номера на участковой (технической) станции, через южный участок БМО, а в табл. 2 распределение маршрутов следования поездов в узле по сечениям.

В соответствии с распределением маршрутов следования поездов в узле, обобщенных в табл. 2, в сечениях 3 — Михнево—Воскресенск и 4 — Воскресенск—Куровская одной нитке грузового поезда может быть присвоено до 10 номеров при дробной нумерации в графике движения поездов (ГДП) [12;13], либо единственный номер при недробной нумерации. В случае использования при построении ГДП смешанной (комбинированной, частично дробной) нумерации ниток количество возможных вариантов набора маршрутов следования на одной нитке графика будет зависеть от выбранной схемы дробности ниток.

Количество возможных вариантов дробной нумерации ниток (далее — n) можно рассчитать по адаптированной формуле комбинаторной задачи сочетания без повторений (1)

$$n = \prod_{i=1}^l \frac{C_{\sum_{j=1}^i \Lambda - \sum_{j=1}^{i-1} \Lambda}}{\varrho_i}, \quad (1)$$

где i — порядковый номер цифры в дробной схеме;

Таблица 1

Возможные маршруты следования поездов через южный участок БМО

Номер маршрута следования поезда	Маршрут следования поезда	Категория поезда
k_1	Бекасово—Люблино	Передаточный
k_2	Бекасово—Тула	Сквозной/Участковый
k_3	Бекасово—Ожерелье	Сквозной/Участковый
k_4	Бекасово—Рыбное	Сквозной/Участковый
k_5	Бекасово—Вековка	Сквозной/Участковый
k_6	Бекасово—Орехово	Сквозной/Участковый
k_7	Тула—Орехово	Сквозной/Участковый
k_8	Тула—Вековка	Сквозной/Участковый
k_9	Люблино—Орехово	Передаточный
k_{10}	Люблино—Вековка	Сквозной/Участковый
k_{11}	Люблино—Рыбное	Сквозной/Участковый
k_{12}	Ожерелье—Орехово	Сквозной/Участковый
k_{13}	Ожерелье—Вековка	Сквозной/Участковый
k_{14}	Рыбное—Вековка	Сквозной/Участковый
k_{15}	Рыбное—Орехово	Сквозной/Участковый
k_{16}	Перово—Орехово	Передаточный
k_{17}	Вековка—Орехово	Сквозной/Участковый

Таблица 2

Распределение маршрутов следования поездов по сечениям южного участка БМО

Сечение	Маршрут следования поездов в сечении	Общее количество маршрутов следования в сечении
1 – Бекасово–Столбовая	Бекасово–Люблино – k_1	6
	Бекасово–Тула – k_2	
	Бекасово–Ожерелье – k_3	
	Бекасово–Рыбное – k_4	
	Бекасово–Вековка – k_5	
	Бекасово–Орехово – k_6	
2 – Столбовая–Михнево	Бекасово–Ожерелье – k_3	6
	Бекасово–Рыбное – k_4	
	Бекасово–Вековка – k_5	
	Бекасово–Орехово – k_6	
	Тула–Орехово – k_7	
	Тула–Вековка – k_8	
3 – Михнево–Воскресенск	Бекасово–Рыбное k_4	10
	Бекасово–Вековка – k_5	
	Бекасово–Орехово – k_6	
	Тула–Орехово – k_7	
	Тула–Вековка – k_8	
	Люблино–Орехово – k_9	
	Люблино–Вековка – k_{10}	
	Люблино–Рыбное – k_{11}	
	Ожерелье–Орехово – k_{12}	
	Ожерелье–Вековка k_{13}	
4 – Воскресенск–Куrowsкая	Бекасово–Вековка – k_5	6
	Бекасово–Орехово – k_6	
	Тула–Орехово – k_7	
	Тула–Вековка – k_8	
	Люблино–Орехово – k_9	
	Люблино–Вековка – k_{10}	
	Ожерелье–Орехово – k_{12}	
	Ожерелье–Вековка – k_{13}	
	Рыбное–Вековка – k_{14}	
	Рыбное–Орехово – k_{15}	
5 – Куrowsкая–Орехово	Бекасово–Орехово – k_6	7
	Тула–Орехово – k_7	
	Люблино–Орехово – k_9	
	Ожерелье–Орехово – k_{12}	
	Рыбное–Орехово – k_{15}	
	Перово–Орехово – k_{16}	
	Вековка–Орехово – k_{17}	

I – общее количество маршрутов следования поездов, проходящих в рассматриваемом сечении;

q – количество совпадающих дробностей ниток в дробной схеме;

Λ – дробность нитки.

Общее количество вариантов нумерации ниток N определяется как сумма всех вариантов различных дробных схем n (2) [14;15]

$$N = \sum_{j=1}^J \prod_{i=1}^I \frac{C_{\sum_{i=1}^i \Lambda - \sum_{i=1}^i \Lambda}}{q_i}, \quad (2)$$

где j – количество вариантов сочетания набора номеров в дробях нитки;

J – общее количество возможных сочетаний нумерации поездов на нитке графика.

Для наглядного примера определим количество вариантов нумерации ниток при пяти маршрутах следования поездов, проходящих в общем сечении. В табл. 3 приведены возможные дробные схемы при различных дробностях ниток.

Расчет общего количества вариантов для дробных схем сведены в табл. 4.

В табл. 5 представлены все возможные варианты дробных ниток в условиях пяти маршрутов следования в общем сечении.

Схема обозначения ниток в ГДП для рассматриваемого примера приведена в табл. 5, где подробно расписаны варианты сочетания маршрутов следования 1, 2, 4, 5 и 7 дробных схем, а также сформированный тип НГДП.

Таблица 3

Возможные схемы нумерации ниток в ГДП при пяти маршрутах следования

№ дробной схемы п/п	Дробность ниток в схеме					Используемое количество ниток в НГДП
1	5					1
2	4	1				2
3	3	2				2
4	3	1	1			3
5	2	2	1			3
6	2	1	1	1		4
7	1	1	1	1	1	5

Таблица 4

Расчет общего количества вариантов дробных схем

№ дробной схемы п/п	Формула расчета вариантов дробности ниток	Результат расчета
1	C_5^5	1
2	$C_5^4 \cdot C_1^1$	5
3	$C_5^3 \cdot C_2^2$	10
4	$C_5^3 \cdot \frac{C_2^1}{2} \cdot C_1^1$	10
5	$\frac{C_5^2}{2} \cdot C_3^2 \cdot C_1^1$	15
6	$C_5^2 \cdot \frac{C_3^1}{3} \cdot \frac{C_2^1}{2} \cdot C_1^1$	10
7	$\frac{C_5^1}{5} \cdot \frac{C_4^1}{4} \cdot \frac{C_3^1}{3} \cdot \frac{C_2^1}{2} \cdot C_1^1$	1
Итого		52

Таблица 5

**Варианты сочетания нумерации поездов на нитке графика
при различных вариантах рассматриваемых дробных схем**

№ варианта нумерации ниток поездов п/п	№ дробной схемы п/п	№ варианта при рассматриваемой дробной схеме	Сочетания нумерации поездов на нитке графика					Сформированный тип графика	
1	1	1	1/2/3/4/5					Полностью дробный	
2	2	1	1/2/3/4	5				Комбинированный	
3	2	2	1/2/3/5	4					
4	2	3	1/2/4/5	3					
5	2	4	1/3/4/5	2					
6	2	5	2/3/4/5	1					
7–16	3	1–10	$i1/i2/i3$	$i4/i5$					
17	4	1	1/2/3	4	5				
18	4	2	1/2/4	3	5				
19	4	3	1/2/5	3	4				
20	4	4	1/3/4	2	5				
21	4	5	1/3/5	2	4				
22	4	6	1/4/5	2	3				
23	4	7	2/3/4	1	5				
24	4	8	2/3/5	1	4				
25	4	9	2/4/5	1	3				
26	4	10	3/4/5	1	2				
27	5	1	1/2	3/4	5				
28	5	2	1/2	3/5	4				
29	5	3	1/2	4/5	3				
30	5	4	1/3	2/4	5				
31	5	5	1/3	2/5	4				
32	5	6	1/3	4/5	2				
33	5	7	1/4	2/3	5				
34	5	8	1/4	2/5	3				
35	5	9	1/4	3/5	2				
36	5	10	1/5	2/3	4				
37	5	11	1/5	2/4	3				
38	5	12	1/5	3/4	2				
39	5	13	2/3	4/5	1				
40	5	14	2/4	3/5	1				
41	5	15	2/5	3/4	1				
42–51	6	1–10	$i1/i2$	$i3$	$i4$	$i5$			
52	7	1	1	2	3	4	5		Полностью недробный

Заключение

При разработке НГДП крупных железнодорожных узлов и технологии пропуска поездов по стыковочным станциям, к которым примыкают более двух железнодорожных участков, необходимо решать задачу о выборе рационального варианта дробной схемы. В качестве критерия рациональности необходимо рассматривать минимизацию времени ненормативного простоя грузовых поездов в ожидании свободной нитки графика движения. 

Литература

1. Железнодорожные станции и узлы : учебник для студентов, обучающихся по специальности 1904-01.65 «Эксплуатация железных дорог» и направлению подготовки 190700.62 «Технология транспортных процессов» ВПО / В. И. Апатцев, С. П. Вакуленко, А. К. Головнич [и др.] ; под ред. В. И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. - Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. - 854 с. - (Высшее профессиональное образование. Федеральный государственный образовательный стандарт) (Учебник для специалистов). - ISBN 978-5-89035-674-1. - Текст : непосредственный.
2. Московский транспортный узел: перспективы развития: монография / Вакуленко С. П., Колин А.В., Роменский Д. Ю. [и др.]; под ред. канд. техн. наук, проф. С. П. Вакуленко; Российская академия наук, РУТ (МИИТ). Часть III. Структура грузопотоков различных видов транспорта и основные сценарии развития грузовой работы. - Москва : ВИНТИ РАН, 2020. - 208 с. - ISBN 978-5-902928-88-1. - Текст: непосредственный.
3. Ковалев, В. Н. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад / В. Н. Ковалев, В. Л. Сальченко. - Текст : непосредственный // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2008. - №1. - С. 38 - 42.
4. Кириякин, В. Ю. Обеспечение учета дробной нумерации грузовых поездов при автоматизированном построении графика движения поездов с помощью аппаратно-программного комплекса ЭЛЬБРУС / В. Ю. Кириякин, А. В. Новгородцева. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2015. - №3. - С. 57 - 64. - EDN: TUVQQR.
5. 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.
6. Ершов, А. Д. Разработка нормативного графика движения поездов в крупном железнодорожном узле без увязки ниток графика грузовых поездов в местах стыкования / А. Д. Ершов. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. - С. 131-137. - DOI: 10.30932/9785002182794-2023-131-137. - EDN: WVFXQM.
7. Кириякин, В. Ю. Автоматизация построения прогнозных графиков движения поездов / В. Ю. Кириякин. - Текст : непосредственный // Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II Международной научно-практической конференции, Москва, 19 - 20 апреля 2023 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. - С. 38 - 51. - EDN: CEQLJT.
8. Бородин, А. Ф. Обеспечение непрерывности перевозок и преемственности в процессах планирования и оперативного управления эксплуатационной работой / А. Ф. Бородин. - Текст : непосредственный // Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II Международной научно-практической конференции, Москва, 19-20 апреля 2023 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. - С. 18 - 26. - EDN: OVQJNC.
9. Гургенидзе, И. Р. Алгоритм выбора последовательности проведения работ на инфраструктуре при выполнении эксплуатационной работы / И. Р. Гургенидзе. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2023. - № 9. - С. 19 - 23. - EDN: XUUCES.
10. Методические подходы к организации перевозочного процесса на основе технико-технологических параметров / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. С. Максимова, Е. А. Лаханкин. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2023. - № 1(76). - С. 33 - 36. - DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-33-36. - EDN: UPCRGA.

11. Размещение и развитие сортировочных станций сети ОАО «РЖД» до 2025 года / Н. П. Шипулин, В. В. Панин, А. Ф. Бородин, Г. Г. Горбунов. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2019. - № 10. - С. 19-26. - EDN: FZSPUB.

12. Нормативное обеспечение разработки Единых технологических процессов работы станций примыкания и железнодорожных путей необщего пользования / С. П. Вакуленко, Н. П. Журавлев, М. Ю. Савельев, А. А. Сидраков. - Текст : непосредственный // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : труды международной научно-практической конференции, Москва, 22-23 апреля 2021 года / Отв. редактор А. Ф. Бородин, сост. Р. А. Ефимов. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2021. - С. 74 - 81. - EDN: INQRBM.

13. Определение пропускной способности полигона железной дороги при различной конфигурации сети / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, М. В. Роменская. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2023. - № 2(77). - С. 27 - 33. - DOI: 10.20291/1815-9400-2023-2-27-33. - EDN: PRLFQI.

14. Козлов, П. А. Построение, расчет и оптимизация транспортных узлов / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко. - Текст : непосредственный // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2021. - С. 169 -173. - DOI 10.47581/2022/Obrazcov.24. - EDN: IBTWDQ.

15. О принципах расчёта транспортных узлов / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, В. П. Козлова, Н. Ю. Евреенова. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19, № 4(95). - С. 6 - 12. - DOI: 10.30-932/1992-3252-2021-19-4-1. - EDN: VYMTBH.