

Организация вагонопотоков в рыночных условиях



Дмитрий ЛЕВИН

Dmitry Yu. LEVIN

Organization of Car Flows in Market Conditions

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 187)

В связи с потерей при наличии рынка актуальности одного из основных критериев системы организации вагонопотоков – сокращения времени оборота вагонов необходимо изменить оценку вариантов плана формирования поездов по затратам приведённых вагоно-часов. Поэтому в качестве замены ему предложено выполнение сроков доставки грузов. При этом в условиях приватизированного вагонного парка понадобилась комбинация критериев соблюдения срока доставки грузов и минимизации переработки вагонопотоков на технических станциях. В процессе расчёта плана формирования однопутных поездов последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При неудовлетворении принятых условий выполняется процедура объединения дальних с более короткими струями с их переработкой на одной, двух, трёх и т.д. станциях – пока не будет достигнут должный уровень организации.

Ключевые слова: железная дорога, план формирования поездов, расчётные нормативы, комбинаторика, сроки доставки грузов, организация вагонопотоков.

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Теория организации вагонопотоков возникла в начале XX века. И уже вскоре выяснилось, что наука имеет дело со сложным и многообразным разделом эксплуатации железных дорог, в совершенствовании которого нет предела. Задачи, которые сформулированы в инструктивных указаниях по организации вагонопотоков, выпущенных отраслевыми ведомствами в 1967, 1984 и 2007 годах [1–3], ещё многим поколениям исследователей будут служить маяками. А сколько возникает всё новых задач?!

Ещё не были решены многие проблемы для инвентарного парка вагонов, а уже совершенно новые задачи возникли при использовании собственных вагонов. В первую очередь – это принципиально иные критерии, которые требуют других расчётных нормативов и совершенно новых методик расчёта плана формирования поездов [4]. В частности, прежний критерий оценки затрат в «приведённых вагоно-часах» потерял актуальность, и даже использование вагоно-часов в денежном выражении не меняет положения.

I.

Интересно вспомнить как целью не только организации вагонопотоков, но и всей эксплуатационной науки стала эко-

номия вагоно-часов. Причём ускорение оборота вагона регулярно устанавливалось через каждые три-четыре года приказом министра путей сообщения под одним и тем же номером (№ 1Ц). Достигаться ускорение оборота должно было любой ценой, в том числе за счёт задержки локомотивов, чрезмерного расширения погрузочно-разгрузочных фронтов у клиентуры для обработки целых маршрутов и т.д. Объяснялось это и недостаточным количеством вагонов, и неэффективным их использованием. Решение было одно — выжать из существующего парка вагонов наибольшую производительность. Это нашло отражение, в том числе и в теории плана формирования. Использование вагоно-часов в качестве критерия в тот период считали непреложной истиной, а если порой и подвергали сомнению, то ничего другого не предлагали. Действительно, оборот вагона в СССР достиг шести суток, в то время как на железных дорогах США — 20 суток [5]. В условиях непрерывного роста грузонапряжённости и ускорения оборота вагонов альтернативных решений попросту не требовалось.

С переходом в 1980-х годах на хозрасчёт дороги должны были лучше использовать не только вагоны, но и локомотивы, экономно расходовать трудовые ресурсы. При стратегии оптимальной эксплуатации железных дорог (экономии труда при максимуме транспортной продукции и лимитированных затратах) теория плана формирования столкнулась с необходимостью комплексного решения всех задач, т.е. учитывать расходы на тягу, полнее отражать особенности работы железнодорожных направлений, в том числе задержки поездов на станциях и участках, нехватку станционных путей, пропускной способности линий и т.д. За рейс вагон проходил в среднем 11 технических станций, из них четыре сортировочных. Среднесуточная переработка вагонов на станциях достигла неоправданно больших размеров (в среднем через 130 км на технических станциях, через 400 км — на сортировочных). Но тогда теория плана формирования так и не претерпела изменений.

В настоящее время организация вагонопотоков влияет на затраты железно-

рожного транспорта из-за несоблюдения срока доставки грузов и переработки вагонов на технических станциях. Поэтому в качестве критериев оценки организации вагонопотоков предлагается использовать как раз эти факторы.

Выполнение сроков доставки грузов — одна из основных задач ОАО «РЖД». Выполнение нормативных сроков доставки грузов — один из важнейших показателей качества продукции железнодорожного транспорта, и именно он характеризует организацию перевозочного процесса.

За невыполнение сроков доставки грузов ОАО «РЖД» в соответствии с Уставом железнодорожного транспорта РФ несёт материальную ответственность перед грузополучателями и теряет существенную часть доходов из-за потери погрузочных ресурсов. Современный порядок исчисления сроков доставки грузов утверждён приказом МПС России от 18.06.2003 г. № 27 и зарегистрирован в Минюсте России 23.06.2003 г. под № 4816 [6].

За год ОАО «РЖД» предъявляют более 20 000 претензий, связанных с невыполнением сроков доставки грузов, выплачивается штраф за просрочку доставки в размере сотен млн рублей [4].

В то же время в показателях эксплуатационной работы и нормативно-технологических документах оценка выполнения сроков доставки грузов отсутствует.

Среди основных критериев оценки современной системы организации вагонопотоков выполнение сроков доставки грузов также игнорируется. При просрочке доставки грузов потери связаны с несоответствием потребностей в перевозках и возможностей железных дорог, межоперационными простоями вагонов на технических станциях из-за неэффективного распределения сортировочной работы между станциями, перенасыщения участков поездами и нехватки действенных рычагов оперативного изменения неблагоприятной ситуации.

II.

В ходе реформирования железнодорожного транспорта на рубеже XX и XXI веков начал сокращаться инвентарный парк вагонов и в 2011 году его не стало, вагоны стали частными. Вместе с этим потерял



**Минимальная мощность назначений формируемых поездов
(минимальное число поездов в сутки)**

$\Sigma t_{\text{ож}} + \Sigma t_{\text{тех}}, \text{ ч}$	$n_{\text{мин}}, \text{ поездов/сут, при } L_{\text{пасс}}, \text{ км}$				
	100	200	320—1000	1700—3000	3900—7000
Сортировочная станция					
2	2,34	1,81	1,06	0,64	0,52
4	2,74	2,06	1,13	0,66	0,53
6	4,40	2,40	1,22	0,68	0,54
8	4,74	2,94	1,34	0,70	0,55
10	10,21	4,00	1,48	0,73	0,56
12	—	7,49	1,69	0,76	0,58
Участковая станция					
4	2,72	2,05	1,13	0,65	0,53
6	3,28	2,36	1,22	0,68	0,54
8	4,29	2,82	1,32	0,70	0,55
10	7,01	3,62	1,46	0,73	0,56
12	—	5,60	1,64	0,76	0,58
14	—	—	1,90	0,79	0,59
Пограничная железнодорожная станция					
6	3,24	2,34	1,21	0,68	0,54
8	4,06	2,74	1,31	0,70	0,55
10	5,83	3,40	1,44	0,72	0,56
12	16,11	4,74	1,60	0,75	0,57
14	—	10,21	1,83	0,80	0,59
16	—	—	2,17	0,83	0,61

актуальность и один из основных критериев системы организации вагонопотоков — сокращение времени оборота вагонов. Соответственно не могут быть критерием для оценки плана формирования поездов затраты на организацию вагонопотоков, выраженные в приведённых вагоно-часах.

Норма времени на перевозку груза от станции отправления до станции назначения исчисляется в сутках. Срок доставки складывается из норм времени на операции, связанные с отправлением и прибытием груза, перемещением его по участкам, и норм времени на дополнительные операции (передача и приём груза при перевозке через водные пути сообщения, перевозимого в прямом смешанном сообщении, перегрузка груза в вагоны с колёсными парами другой ширины колеи, проведение различных видов государственного контроля и т.д.).

Нормы суточного пробега для исчисления срока доставки грузов, перевозимых в пределах Российской Федерации, зависят от дальности перевозки груза, режима скорости перевозки и категории отправки. Нормативы для определения

срока доставки, порядок исчисления срока доставки утверждаются ОАО «РЖД».

Для оценки выполнения сроков доставки грузов ежегодно в феврале и сентябре в рамках интегрированной обработки дорожных ведомостей проводятся обработка и анализ первичных данных о продолжительности следования грузов путём механической выборки около 10 % отправок. Данные группируются по режиму скорости (грузовая, большая), видам сообщения (местное, прямое), категориям отправок (маршрутные, повагонные, мелкие без контейнеров, грузы в контейнерах), роду груза и расстоянию перевозки. Средние показатели продолжительности и скорости доставки исчисляются на одну отpravку и одну тонну груза с учётом и без учёта времени нахождения его на станции назначения. При этом средняя скорость доставки определяется только фактическая, а средняя продолжительность доставки груза, кроме того, и нормативная.

А. Ф. Бородин [7], рассматривая надёжность технологии перевозочного процесса, предложил использовать методологию

Таблица 2

Норма суточного пробега вагона

Расстояние перевозки, км	Норма суточного пробега по видам отправок, км		
	повагонные	крупнотоннажные рефрижераторные контейнеры	Универсальные контейнеры и мелкие отправки
До 199	140	110	90
От 200 до 599	210	160	120
От 600 до 999	310	250	180
От 1000 до 1999	400	320	250
От 2000 до 2999	430	340	270
От 3000 до 4999	480	380	300
От 5000 до 6999	500	420	340
От 7000 и выше	520	450	360

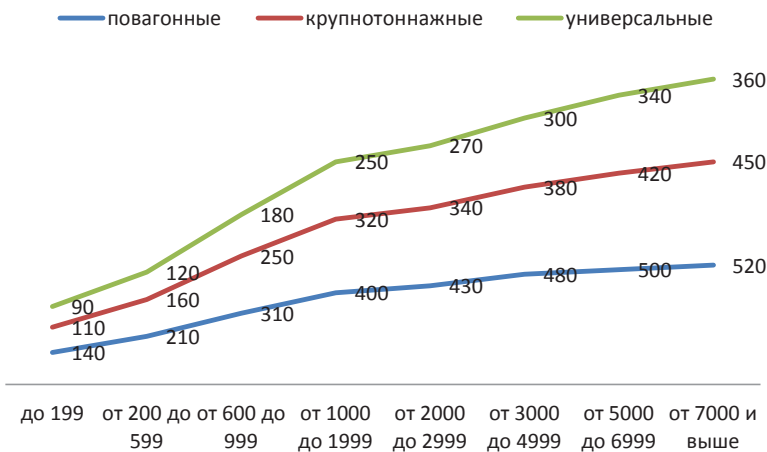


Рис. 1. Нормы суточного пробега грузовых отправок.

контроля и управления временем доставки грузов, существующую в системе ДИСПАРК [8]: юридическое, технологическое, контрольное и оперативное.

Юридическое время доставки рассчитывается в соответствии с «Правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом» [6] или устанавливается договором-контрактом на перевозку в системе фирменного транспортного обслуживания.

Технологическое время доставки рассчитывается в соответствии с действующей нормативной организацией грузового движения (порядок направления вагонопотоков, план формирования и график движения поездов).

Контрольное время доставки устанавливается для отслеживания выполнения срока перевозки в автоматизированных системах.

Оперативное время доставки — динамическая характеристика времени (в отличие от «статических», указанных выше).

Это деление подчёркивает существующие противоречия возможного исчисления сроков доставки, но так как ответственность железная дорога несёт за соблюдение нормативного срока доставки, то в расчётах плана формирования поездов целесообразно использовать именно его.

В работе А. Ф. Бородина, А. П. Батурина, В. В. Панина [9] введён норматив минимальной допустимой мощности поездных назначений, исходя из нормативных сроков доставки грузов. В зависимости от дальности назначения $L_{назн}$, суммарной длительности простоя транзитных вагонов с переработкой (исключая простой под накоплением) $\Sigma t_{ож} + \Sigma t_{тех}$ и типа станции (сортировочная, участковая, пограничная) они предложили определять минимальную мощность назначений формируемых поездов n_{min} (таблица 1).

Таблица 1 показывает возможность учёта при организации вагонопотоков срока доставки грузов, но это ещё сделано



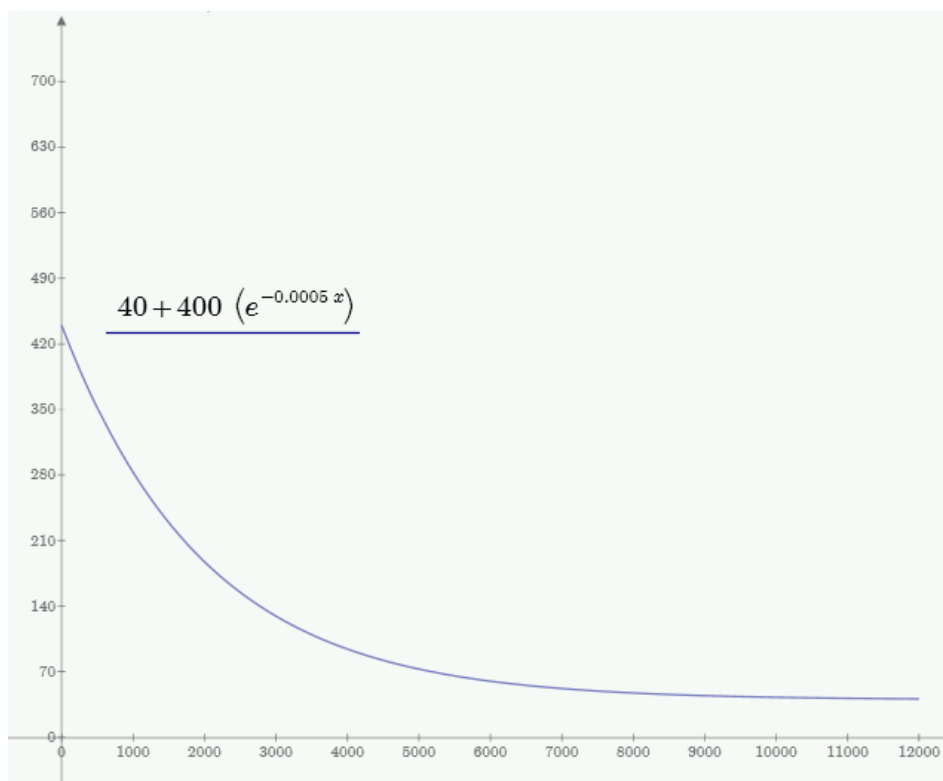


Рис. 2. Изменение разницы нормы суточного пробега маршрутных и немаршрутных отправок в зависимости от расстояния перевозки.

для инвентарного парка вагонов, т.е. с учётом затрат и экономии вагоно-часов.

Для частного парка вагонов целесообразно использовать правила перевозок грузов [6], где норма суточного пробега грузовой скоростью установлена в зависимости от расстояния перевозки и видов отправки (таблица 2, рис. 1).

Абсолютное большинство отправок, перерабатываемых на сортировочных станциях, являются повагонными. Поэтому в расчётах целесообразно ориентироваться на них. В правилах перевозок грузов ещё приведены сроки доставки большой скоростью, но такие отправки, как правило, не перерабатываются на сортировочных станциях и в расчётах плана формирования поездов не участвуют. Сроки доставки грузов маршрутными отправлениями рассматриваются отдельно.

Необходимо учесть увеличение сроков доставки грузов, предусмотренные правилами перевозок [6]:

- на сутки — на операции, связанные с передачей и приёмом грузов, при перевозке грузов с переправой через водные пути сообщения (моря, реки, проливы, озёра) на судах и паромах;

- на сутки — при передаче на другой вид транспорта, приёме с другого вида транспорта грузов, перевозимых в прямом смешанном сообщении;

- на двое суток — при перегрузке грузов в вагоны с колёсными парами другой ширины колеи;

- на сутки — при перестановке вагонов на колёсные пары другой ширины колеи;

- на сутки — при отправлении грузов с железнодорожных станций Московского и Санкт-Петербургского узлов, или прибытии грузов на железнодорожные станции этих узлов, или при следовании грузов транзитом через них;

- на сутки — в случае осуществления на пограничных пунктах пропуска Российской Федерации пограничного, таможенного, санитарно-эпидемиологического, ветеринарного, фитосанитарного и других видов государственного контроля.

Струи вагонопотоков, выделенные в самостоятельные назначения поездов, по срокам доставки можно приравнять к маршрутным отправлениям. В соответствии с правилами перевозок грузов срок доставки маршрутных отправок исчисляется из

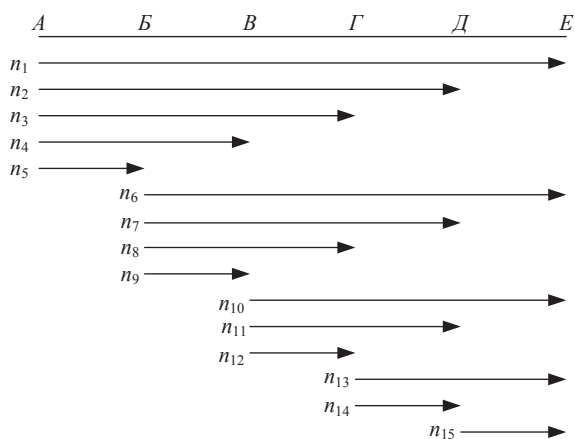


Рис. 3. Схема направлений и струй вагонопотоков.

расчёта нормативного срока – 550 км в сутки. Тогда затраты на накопление составов, которые рассматриваются для выделения в самостоятельные назначения, будут допустимы при соблюдении нормативных сроков доставки грузов, если выполняется условие

$$ct \leq 24 \cdot L \cdot N \left(\frac{1}{V_{пв}} - \frac{1}{V_{марш}} \right); \quad (1)$$

$$T_{нак} \leq 24 \cdot L \left(\frac{1}{V_{пв}} - \frac{1}{V_{марш}} \right), \quad (2)$$

где L – расстояние (дополнительного) следования выделяемого назначения поездов, км; $V_{пв}$, $V_{марш}$ – нормы суточного пробега вагонов соответственно без выделения (повагонные отправки) и с выделением вагонопотока (маршрутная отправка) в самостоятельное назначение поездов км/сут.

В формулах (1) и (2) выражение в скобках характеризует возможное ускорение следования вагонопотока при выделении в самостоятельное назначение с размерностью сут/км. Графическое изменение правой части неравенств (1) и (2) приведено в удобный вид для проведения расчётов и представлено на рис. 2. Тогда формулы соответственно будут иметь вид:

$$ct \leq 40 + 400(e^{-0,0005L}); \quad (3)$$

$$T_{нак} \leq 40 + 400(e^{-0,0005L}). \quad (4)$$

Кроме обоснования целесообразности выделения струй вагонопотоков в самостоятельные назначения формула (2) может использоваться и для установления технических заданий дежурно-диспетчерскому аппарату, исследования влияния различных факторов на выполнение скорости

доставки грузов, изыскания путей ускорения транспортного процесса.

III.

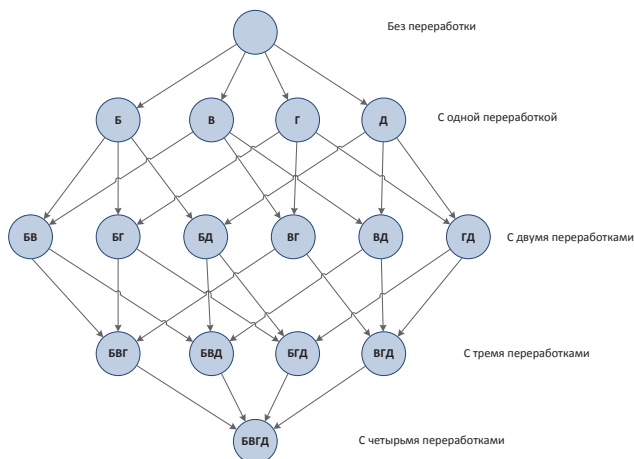
При расчёте плана формирования одnogруппных поездов уже неоднократно предпринимались попытки использовать линейное программирование для построения оптимизационных моделей. К этому имеются серьёзные основания, поскольку этот метод экономически наиболее эффективный, повышает качество комплексного планирования, увеличивает аналитические возможности и удобен для математической формализации задачи и использования вычислительных программ.

К сожалению, использование линейного программирования ограничивалось формализацией и математической постановкой задачи, а для её решения предлагались приближенные методы (последовательного улучшения плана [10], пошагового распределения вагонопотоков [9] и др.), которые к тому же связаны с ручной корректировкой полученных результатов.

Рассмотрим расчёт плана формирования одnogруппных поездов на сети железных дорог как комбинирование струй вагонопотоков и конфигураций поездопотоков, т.е. распределение формирования и расформирования составов на выделенных станциях. Впервые появляется возможность в процессе выполнения расчётов плана формирования управлять транзитностью вагонопотоков и загрузкой технических станций. Это достигается решением комбинаторной задачи путём объединения



Рис. 4. Схема последовательности рассмотрения вариантов объединения вагонопотоков с учётом переработки на попутных станциях при расчёте плана формирования одногруппных поездов на направлении с шестью станциями, представленном на рис. 3.



струй вагонопотоков по выбранным оптимальным параметрам.

Прямой перебор всех возможных вариантов объединения струй вагонопотоков на технических станциях сети железных дорог приводит к астрономическому их числу. Это вызвало появление методов расчёта плана формирования одногруппных поездов на полигонах с ограниченным числом станций. Использование критерия минимальной переработки вагонов позволяет упорядочить перебор вариантов, значительно их сократить и выполнять задачу на ЭВМ без ограничения участия в расчётах станций.

Для всех струй вагонопотоков ($n_1, n_2, n_3, n_4, n_6, n_7, n_8, n_{10}, n_{11}, n_{13}$), в том числе и между начальной и конечной станциями (n_1), кроме участков ($n_5, n_9, n_{12}, n_{14}, n_{15}$) (рис. 3), проверяется выполнение достаточного условия (1).

При его выполнении струя вагонопотока выделяется в самостоятельное назначение и включается в оптимальный вариант плана формирования.

При невыполнении струёй вагонопотока (n_1) достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения со всеми более короткими струями вагонопотоков, начинающиеся на начальной станции или заканчивающиеся на конечной, т.е. все варианты объединения дальней струи вагонопотока (n_1) с переработкой только на одной попутной станции. Это объединение относится к более коротким струям, которые берут начало на начальной станции и следуют до одной из попутных станций (n_2, n_3, n_4, n_5) или берут начало на соответ-

ствующей попутной станции и следуют до конечной ($n_6, n_{10}, n_{13}, n_{15}$).

В комбинаторике такое объединение струй вагонопотоков в определённом порядке называется перестановкой из n элементов.

Нахождение оптимального варианта объединения дальней струи вагонопотока (n_1) с переработкой на одной из попутных станций рассматривается в следующей очередности:

$$\begin{aligned} &\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_3) + (n_1 + n_{13})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_{10})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_6)\}. \end{aligned}$$

При невыполнении струёй вагонопотока (n_1) после объединения и переработки на одной из попутных станций достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения и переработки на двух попутных станциях в следующей очередности:

$$\begin{aligned} &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{10})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_7) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{10})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_{11}) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_8) + (n_1 + n_{13})\}. \end{aligned}$$

При невыполнении струёй вагонопотока (n_1) после объединения и переработки на двух попутных станциях достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения и переработки на трёх попутных станциях в следующей очередности:

$$\begin{aligned} &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{13})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_6) + (n_1 + n_{11}) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_8) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}. \end{aligned}$$

Таблица 3

Комбинаторный метод расчёта плана формирования одногруппных поездов

Очередность	Число переработок струи вагонопотока	Число участков проследования струи вагонопотока без переработки	Варианты переработки струи вагонопотока	Варианты объединения струи вагонопотока (n_i)
1	1	5	1	n_1
2	2	4+1	12	$n_2 + n_{15}$
3	2	1+4	21	$n_2 + n_6$
4	2	3+2	12	$n_2 + n_{13}$
5	2	2+3	21	$n_2 + n_{10}$
6	3	1+1+3	123	$n_5 + n_9 + n_{10}$
7	3	1+3+1	132	$n_5 + n_7 + n_{15}$
8	3	3+1+1	312	$n_3 + n_{14} + n_{15}$
9	3	2+2+1	123	$n_4 + n_{11} + n_{15}$
10	3	2+1+2	132	$n_4 + n_{12} + n_{13}$
11	3	1+2+2	312	$n_5 + n_8 + n_{13}$
12	4	1+1+1+2	1234	$n_5 + n_9 + n_{10} + n_{15}$
13	4	1+1+2+1	1243	$n_5 + n_6 + n_{11} + n_{15}$
14	4	1+2+1+1	1423	$n_5 + n_8 + n_{14} + n_{15}$
15	4	2+1+1+1	4123	$n_4 + n_{12} + n_{14} + n_{15}$
16	5	1+1+1+1+1	12345	$n_5 + n_9 + n_{12} + n_{14} + n_{15}$

При невыполнении струёй вагонопотока (n_i) после объединения и переработки на трёх попутных станциях достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения и переработки на четырёх попутных станциях:

$\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}$.

Графическое изображение описанной процедуры представлено на рис. 4.

Таким образом, в процессе расчёта плана формирования одногруппных поездов

последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При несоответствии заданному условию выполняется процедура объединения их с более короткими струями вагонопотоков с переработкой на одной, двух, трёх, ... станциях – пока не будет удовлетворено достаточное условие или когда объединение приведет к участковому назначению.

Очередность рассмотрения сочетаний (объединений) самой дальней струи вагоно-

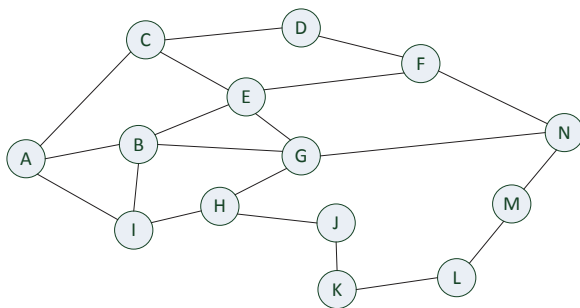
Таблица 4

Комбинаторный метод расчёта плана формирования одногруппных поездов для 25 станций

Очередность	Число переработок струи вагонопотока	Число участков проследования струи вагонопотока без переработки	Варианты переработки струи вагонопотока	Варианты объединения струи вагонопотока (n_i)
1	1	5	1	n_1
2	2	24+1	12	...
3	2	1+24	21	...
4	2	23+2	12	...
5	2	2+23	21	...
...	...	...	...	...
...	3	22+1+1	123	...
...	3	1+22+1	213	...
...	3	1+1+22	231	...
...	...	2+1+2	...	...
...	4	21+1+1+1	...	...
...	4	1+21+1+1	...	...
...	...	...	...	...



Рис. 5. Граф полигона железных дорог.



потока (n_i) по числу переработок в пути следования представлена в таблице 3. Например, если в расчётах плана формирования одnogруппных поездов участвует 25 станций, то таблица 3 преобразуется в таблицу 4.

Предлагаемый метод позволяет рассчитывать план формирования одnogруппных поездов для неограниченного числа станций на разветвлённом полигоне. Для этого полигон железных дорог представляется в виде графа (рис. 5). Вершинами обозначаем станции, участвующие в расчёте плана. С помощью альбома кратчайших расстояний между станциями определяем маршруты следования (попутные станции) и расстояния. На маршрутах следования струй вагонопотоков находим наиболее дальние станции, с которых и начинаем процесс по описанному ранее линейному алгоритму.

По мере выделения струй вагонопотоков в самостоятельные назначения по каждой станции суммируется объём переработки вагонов и при выполнении несколькими вариантами условия (3) предпочтение отдаётся варианту с переработкой вагонопотока на наименее загруженных станциях.

ВЫВОДЫ

1. В связи с потерей актуальности одного из основных критериев системы организации вагонопотоков — сокращения времени оборота вагонов требует изменения оценка вариантов плана формирования поездов по затратам приведённых вагоночасов. Поэтому взамен этих критериев предложены выполнение сроков доставки грузов и минимизация переработки вагонопотоков на технических станциях.

2. Для разработки плана формирования одnogруппных поездов в условиях прива-

тизированного вагонного парка предложен комбинаторный метод на основе критериев соблюдения срока доставки грузов и минимизации переработки вагонопотоков на технических станциях. В процессе расчёта плана формирования одnogруппных поездов последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При неудовлетворении достаточному условию выполняется процедура объединения их с более короткими струями вагонопотоков с переработкой на одной, двух, трёх и т.д. станциях, пока не будет достигнута соответствующая выдвинутым критериям организация процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР/МПС. — М.: Транспорт, 1967. — 190 с.
2. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. — М.: Транспорт, 1984. — 256 с.
3. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». — М.: Техинформ, 2007. — 527 с.
4. Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах. — М.: УМЦ по образованию на жд. транспорте, 2017. — 443 с.
5. Белов И. В., Персианов В. А. Экономическая теория транспорта в СССР. — М.: Транспорт, 1993. — 415 с.
6. Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом: Сборник. — Кн. 1. — М.: Юртранс, 2003. — 712 с.
7. Бородин А. Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений // Труды ВНИИАС. — 2008. — Вып. 6. — 317 с.
8. Тишкин Е. М. Автоматизация управления вагонным парком. — М.: Интекст, 2000. — 224 с.
9. Бородин А. Ф., Батулин А. П., Панин В. В. Организация вагонопотоков: Учеб. пособие. — М.: МИИТ, 2008. — 192 с.
10. Дувалян С. В. Методы и алгоритмы решения задач планирования и учёта на железнодорожном транспорте // Труды ЦНИИ МПС. — 1969. — Вып. 401. — 256 с.

Координаты автора: **Левин Д. Ю.** — levindu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 16.07.2017, принята к публикации 14.08.2017.