

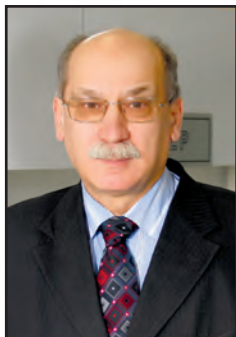


ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1:656.225:629.45/46

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-7>

Управление поездообразованием. Часть 2

*Дмитрий Юрьевич Левин*

АО «НИИАС», Москва, Россия.

✉ levindu@yandex.ru.

Дмитрий ЛЕВИН

АННОТАЦИЯ

В номере публикуется вторая, заключительная часть статьи, в которой представлено видение подходов к созданию оптимальных условий поездной работы, регулированию загрузки сортировочных станций, их взаимодействию с грузовыми, перераспределению грузовой работы и предлагаются итоговые выводы.

Как отмечалось в аннотации к первой части статьи, выносимые на основе обобщения целого ряда результатов более ранних авторских исследований и публикаций и вновь сформулированных предложений на обсуждение изменения в управлении поездообразованием позволят принципиально по-новому оперативно руководить перевозочным процессом.

Ключевые слова: железная дорога, управление поездообразованием, нормативно-технологические документы, производительные потери, оптимальные условия работы, оперативное управление перевозочным процессом.

Для цитирования: Левин Д. Ю. Управление поездообразованием. Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 66–76. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-7>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

Создание оптимальных условий поездной работы

Управление поездообразованием предусматривает создание условий, необходимых для выполнения графика движения, которые включают оценку насыщения участков поездами, прогнозирование подхода поездов, решение задачи по регулированию насыщения участка поездами, разработку мер по недопущению и ликвидации заторов в движении поездов.

В ходе моделирования плана составообразования появляется возможность учитывать насыщение участков поездами в зависимости от режима поездной работы (рис. 4)¹.

Нормальный режим поездной работы (рис. 4, область 1) характеризуется выполнением нормативов графика движения поездов. В оптимальном режиме (рис. 4, область 2) к тому же реализуются максимальные размеры движения. Утяжелённый режим (рис. 4, область 3) характеризуется перенасыщением участка поездами. В тяжёлом режиме (рис. 4, область 4) перенасыщение участка поездами приводит к дефициту режима работы локомотивных бригад и необходимости «бросания» поездов на промежуточных станциях. При аварийном режиме (рис. 4, область 5) прекращается движение поездов из-за отказов инфраструктуры и подвижного состава или сдвига груза на открытом подвижном составе.

В зависимости от режима работы участков в процессе моделирования составообразования решаются задачи управления поездной работой по обеспечению соблюдения установленных нормативов графика движения и предотвращения перенасыщения участков поездами. Создание и поддержание оптимальных условий поездной работы является одной из задач управления поездообразованием, с помощью которой будет регулироваться насыщение участков поездами.

Увеличение числа поездов на участке сверх максимального графика не только не способствует увеличению размеров движения, но и не позволяет выполнить нормативы графика и ухудшает использование пропускной способности участка [20].

Управление насыщением участков поездами заключается в недопущении нахождения на участке большего числа поездов, чем

максимально одновременно допускается. Максимальное число поездов, которое одновременно может находиться на участке, определяется вертикальным разрезом максимального графика движения. Максимальным графиком движения называется график, в котором «нитки» поездов проложены с минимальными интервалами [21].

Рассмотрим определение максимального числа поездов, которое одновременно может находиться на участке при параллельном двухпутном графике. На рис. 5 в прямоугольном треугольнике abc наклон гипотенузы ab («нитка» графика) характеризует скорость движения поездов и определяет острый угол α . Катет ac соответствует межпоездному интервалу. Катет bc – доля вертикального разреза, приходящаяся на один поезд (L_1). Тригонометрическая функция острого угла α отношения противолежащего катета bc к прилежащему ac соответствует тангенсу $tg\alpha$. Решение прямоугольного треугольника abc напомним в железнодорожных обозначениях:

$$tg\alpha = L_1/I = V_x,$$

$$\text{или } L_1 = I \cdot tg\alpha,$$

$$L_2 = 2I \cdot tg\alpha,$$

...

$$L_n = n'' I \cdot tg\alpha,$$

$$n'' = \frac{L_n}{I \cdot tg\alpha},$$

$$\text{или } n'' = \frac{L_n}{I \cdot V_x},$$

где n'' – максимальное количество поездов для чётного направления;

L_n – длина участка (вертикальный разрез);

I – минимальный межпоездный интервал;

V_x – ходовая скорость поездов.

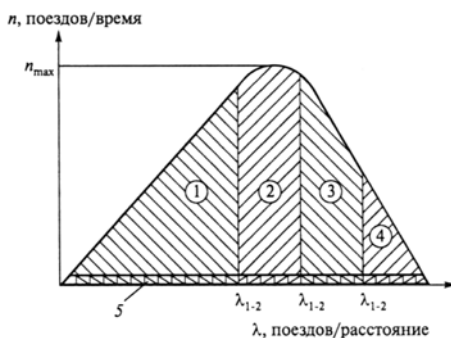


Рис. 4. Режимы поездной работы: 1 – нормальный, 2 – оптимальный, 3 – утяжелённый, 4 – тяжёлый, 5 – аварийный [выполнено автором].

¹ Используется сквозная нумерация рисунков, начатая в первой части статьи.



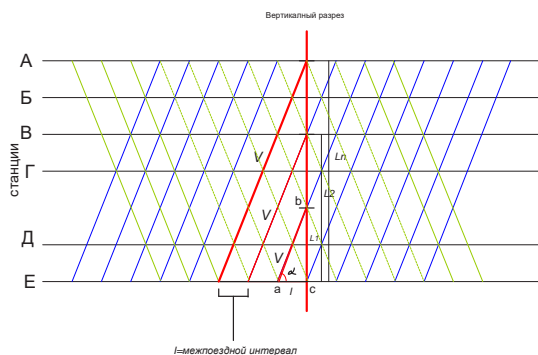


Рис. 5. Фрагмент графика движения чётных поездов и тригонометрия вертикального разреза [выполнено автором].

Регулирование загрузки сортировочных станций

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие: последовательность операций и нормы времени на их выполнение. Реальная оперативная работа существенно отличается от нормативного суточного плана-графика. Анализ прибытия поездов на сортировочные станции по часовым периодам свидетельствует о значительной внутрисуточной неравномерности. Например, на станции Бекасово-Сортировочное, Орехово-Зуево и Свердловск-Сортировочный диапазон колебаний прибытия мог в своё время составлять от 0 до 10 поездов в час. К чему это приводит? В отдельные периоды из-за отсутствия составов простаивает сортировочная горка и невосполнимо теряется перерабатывающая способность. В другое время, в связи со сгущённым прибытием поездов составы простаивают в ожидании роспуска с сортировочной горки, и увеличивается время нахождения вагонов на станции [22].

Таким образом, чтобы максимально использовать перерабатывающую способность сортировочной горки при минимальном вре-

мени нахождения вагонов на станции, необходимо заблаговременно сопоставлять и приводить в соответствие поступление поездов и перерабатывающую способность горки. Тем самым создавать и поддерживать оптимальные условия работы сортировочной станции.

Условия работы сортировочных станций в каждый момент времени характеризуются режимом, который определяет количественные и качественные показатели работы станции.

Режим работы сортировочной станции зависит от объёма переработки вагонов, интенсивности и равномерности подхода поездов, своевременности обеспечения сформированных составов локомотивами, вывоза поездов и определяет своевременность приёма и отправления поездов, наличие межоперационных простоев вагонов.

Нормальный режим (рис. 6, область 1) характеризуется условиями работы станции, при которых отсутствуют задержки поездов по неприёму и межоперационные простои вагонов, соблюдаются нормы на выполнение технологических операций, и увеличение объёма переработки приводит к сокращению времени нахождения вагонов на станции. При нормальном режиме, в котором происходит поездная, сортировочная и маневровая работа, выполняются график движения поездов, технологический процесс работы станции и своевременная постановка локомотивов на техническое обслуживание.

Если в нормальном режиме обеспечивается минимальное время нахождения вагонов на станции или минимальные эксплуатационные затраты при отсутствии задержанных поездов по неприёму, то такой режим называется оптимальным (рис. 6, область 2).

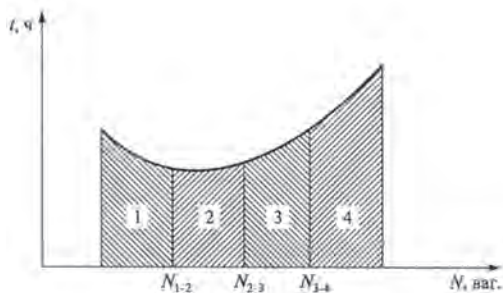


Рис. 6. Режимы работы сортировочной станции [выполнено автором].

Утяжелённый режим (рис. 6, область 3) характеризуется условиями работы станции, когда имеются межоперационные простои, которые могут усугубляться неравномерным подходом поездов, несвоевременным обеспечением составов локомотивами и отправлением со станции. Возникают периодические задержки поездов по неприёму. Увеличение объёма переработки вызывает возрастание времени нахождения вагонов на станции и эксплуатационных расходов. Отклонения затрат времени на выполнение технологических операций вызывает трудности в текущем планировании работы станции.

Тяжёлый режим (рис. 6, область 4) характеризуется увеличением межоперационных простоев, постоянными задержками поездов по неприёму и содержанием избытка вагонного парка. Если своевременно не ликвидировать тяжёлый режим работы станции, то начнут ещё больше возрастать межоперационные простои, количество и продолжительность задержек поездов по неприёму, возникнет нехватка поездных локомотивов.

Заблаговременно создавать и поддерживать оптимальные условия работы сортировочных станций позволяет такое управление поездообразованием, когда на стадии моделирования процесса накопления составов приводятся в соответствие поступление поездов на станциях назначения и перерабатывающая способность их сортировочных горок.

Взаимодействие сортировочных и грузовых станций

Оперативное управление поездообразованием позволяет устранить существующие недостатки в организации местной работы и обеспечить своевременный подвод вагонов к грузовым станциям. Максимальное использование погрузочных и выгрузочных способностей грузовых фронтов достигается, когда после окончания грузовых операций вагоны сразу убирают с грузовых фронтов и подают следующие группы вагонов. Своевременное наличие на станциях этих подач вагонов для грузовых фронтов и должно быть целью местной работы. Отсутствие вагонов на станции к моменту подачи на грузовой фронт приводит к невосполнимой потере выгрузочных возможностей. То есть оперативное управление поездообразованием должно обеспечивать наличие на станциях вагонов

для своевременной и полной подачи их на грузовые фронты. Эти условия характеризуют оптимальный режим работы грузовых фронтов, при которых реализуются максимальные размеры грузовой работы [23].

В математической постановке такую задачу целесообразно сформулировать в терминах распределения потоков на графах (рис. 7). В этом случае адекватной математической моделью организации работы с местными вагонами служит взвешенный граф, «весом» вершин первой доли которого является прогнозируемое время прибытия вагонов на станцию. При этом нумерация вершин возрастает в течение планируемого периода (например, смены, суток). «Весом» вершин третьей доли графа является время подачи вагонов на грузовой фронт, который определяется частным от деления продолжительности планируемого периода на время выполнения грузовых операций. Стохастически складывающееся прогнозируемое прибытие вагонов на станцию, не увязанное с выполнением грузовых операций, не всегда обеспечивает максимальное использование выгрузочной способности грузовых фронтов, т.е. часть времени последние простаивают в ожидании работы, а часть времени при сгущённом прибытии вагоны простаивают в ожидании подачи. Для своевременного обеспечения графика подач вагонов на грузовой фронт строят искомую вторую долю графа, «веса» вершин которой характеризуют необходимые моменты времени поступления вагонов на станцию. Последние могут совпадать с прогнозным временем при своевременном прибытии или необходимо более раннее прибытие вагонов на станцию. В этом случае «вес» вершин (время прибытия) определяется разностью времён подачи вагонов на грузовой фронт по графику и необходимым на выполнение технологических и маневровых операций.

Таким образом, задача отыскания «весов» вершин второй доли графа сводится к синтезированию дуг, соединяющих вершины различных долей графа, и вычислению потоков на них, чтобы реализовывалось решение между истоками (прогнозируемое прибытие вагонов на станцию) и стоками графа (заявка на подачу вагонов под выгрузку в планируемый период) при достижении на множестве дуг этого графа экстремума функционала:

$$F = \min \{M, P\}, \quad (4)$$





Исходные данные примера [составлено автором]

Прогноз прибытия вагонов на станцию	Очередность прибытия	1	2	3	4	5	6	7	8
	Время	17:30	21:00	2:00	7:00	8:00	10:00	11:00	12:00
	Число вагонов	30	15	10	40	15	20	50	40
Расписание подачи вагонов на грузовой фронт	Номер подачи	1	2	3	4	5	6		
	Время	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00		
	Число вагонов	40	20	20	40	40	60		

где М – наличие местных вагонов для каждого грузового фронта;

Р – выгрузочная способность грузового фронта.

Для реализации функционала (4) рассмотрим алгоритм, предварительно введя следующие обозначения: S – исток графа; T – сток графа; i, j, k – вершины соответственно первой, второй и третьей долей графа; N – поток вагонов на дугах между долями графа; N_{si} – прогнозный поток прибытия вагонов на станцию; N_{kt} – максимальное число вагонов в подаче на грузовой фронт; $t_{гр}$ – текущее время наиболее позднего прибытия вагонов на станцию для использования в определённой подаче на грузовой фронт; $t_{и}$ – время подачи вагонов на грузовой фронт; $t_{техн}$ – технологическое время от прибытия вагонов на станцию до подачи на грузовой фронт.

Алгоритм выполнения расчётов приводит в упорядоченное состояние поток прибытия вагонов на станцию с тем, чтобы обеспечить максимально возможный размер выгрузки, и определяет требуемый для этого график их поступления. Оптимальному графику поступления вагонов на станцию соответствует нахождение «весов» вершин второй доли графа.

Алгоритм выработки требований к поступлению местных вагонов на станцию выгрузки:

1. Положим $i = k = 1, j = 0$.
2. Если $N_{si} < N_{kt}$, то идти к п. 4; если $N_{si} = N_{kt}$, то – к п. 5; если, $N_{si} > N_{kt}$ то – к п. 3.
3. Вычислим $N_{si} = N_{si} - N_{kt}$; $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{kt}$; $t_i = \min \{t_i, t_k - t_{техн}\}$; $k = k + 1$. Если $k > k_{max}$, то идти к п. 6, иначе – к п. 2.
4. Вычислим $N_{kt} = N_{kt} - N_{si}$; $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{si}$; $t_j = \min \{t_i, t_k - t_{техн}\}$; $i = i + 1$. Если $i > i_{max}$, то идти к п. 6, иначе – к п. 2.
5. Вычислим $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{si}$; $t_j = \min \{t_i, t_k - t_{техн}\}$; $k = k + 1$. Если $k > k_{max}$, то идти к п. 6, иначе $i = i + 1$. Если $i > i_{max}$, то идти к п. 6, иначе – к п. 2.
6. Составляем график поступления вагонов на станцию для всех значений i и k, $t_j = \min \{t_i, t_k - t_{техн}\}$.

Пример. Оптимизировать прибытие вагонов на станцию для грузового фронта с выгрузочной способностью 220 вагонов в сутки (рис. 7). Время выполнения технологических и маневровых операций от прибытия вагонов на станцию до подачи на грузовой фронт 2 часа. В таблице 3 задан прогноз прибытия местных вагонов на станцию и расписания подачи на грузовой фронт.

Оптимизация предполагаемого поступления местных вагонов для отдельных грузовых фронтов обобщается в целом для станций участка. С учётом проследования местных вагонов до станции выгрузки определяется необходимое время отправления их с технических станций (рис. 8). Возможность более раннего отправления местных вагонов с технической станции зависит от прогноза времени прибытия на неё. Проверка заключается в сопоставлении времени, необходимого на выполнение технологических операций по переработке вагонов на станции и имеющегося от прибытия до отправления. В результате этой проверки выявляются вагоны, которые могут быть отправлены с технической станции раньше прогнозного времени. Другими словами, выявляются ситуации, когда местные вагоны простаивают на технической станции, а в это время на грузовых станциях отсутствуют вагоны для подачи на грузовые фронты.

В результате автоматизации оперативного планирования местной и грузовой работы разрабатывается оперативный план развоза местных вагонов по станциям и подачи их на грузовые фронты. Такой план включает технологию формирования и график движения поездов с местными вагонами и позволяет контролировать ход его выполнения. Вагоны, поданные на грузовые фронты с полными сроками на выполнение грузовых операций до конца смены или суток, составляют планируемый размер выгрузки за соответствующий период времени. Дополнительно поступающие в течение суток местные вагоны

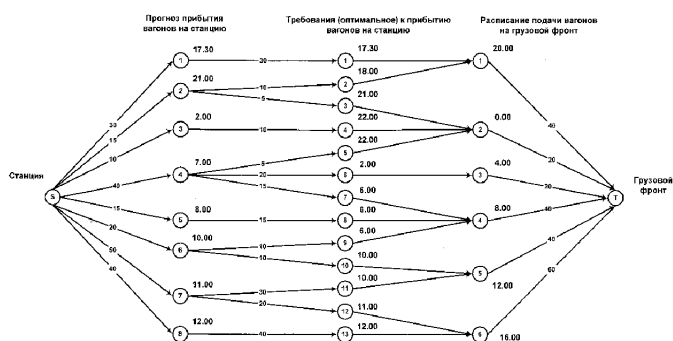


Рис. 7. Потокосная модель оптимизации прибытия местных вагонов на станцию выгрузки [выполнено автором].

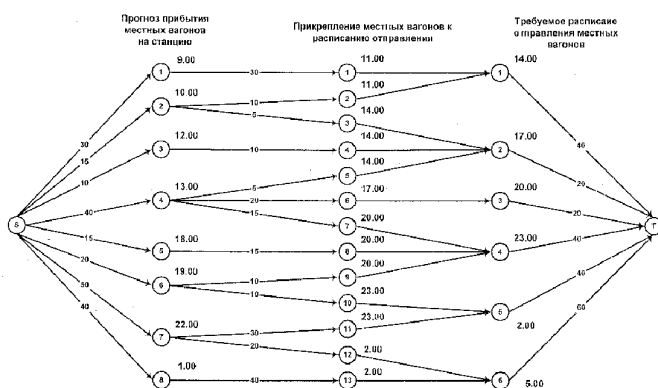


Рис. 8. Потокосная модель оптимизации отправления местных вагонов с технической станции [выполнено автором].

используются для заполнения неполных подач на грузовые фронты.

Оперативное управление поездообразованием даст возможность значительно повысить эффективность управления перевозочным процессом за счёт действительного перехода от информационных к управляющим автоматизированным системам.

Средства управления составообразованием

Моделирование процесса накопления составов различной длины и веса позволяет регулировать продолжительность и моменты завершения накопления составов.

На рис. 9 показано влияние числа вагонов в формируемых составах на параметр накопления, а на рис. 10 – влияние изменения длины состава m на минимальный размер вагонопотока, который выгодно выделять в самостоятельное назначение.

Использование отклонений от установленной величины составов позволяет регулировать затраты времени накопления

(рис. 11) и параметры накопления составов (рис. 12).

При увеличении допускаемых отклонений от установленной длины составов сокращаются затраты вагоно-часов на накопление (рис. 13), причём тем интенсивнее, чем больше отклонения. Это связано с увеличением в процессе накопления числа интервалов между накапливаемыми составами (рис. 14) средними величинами замыкающей (рис. 15) и завершающей (рис. 16) групп вагонов. Но сокращение затрат вагоно-часов на накопление при увеличении допускаемых отклонений от установленной длины составов приводит к росту размеров движения поездов (рис. 17), а это при высоком уровне заполнения пропускной способности направлений приводит к снижению участковой скорости (рис. 18).

В связи с изменением условий движения поездов на участке (рис. 20) стало очевидно, что при определении допускаемых отклонений от установленной длины составов при формировании поездов необходимо сопоставлять сокращение затрат вагоно-часов на на-



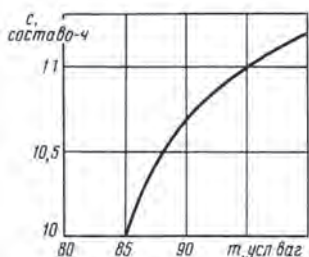


Рис. 9. Зависимость параметра накопления c от среднего числа вагонов t в формируемых составах [выполнено автором].

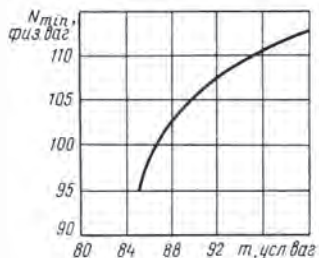


Рис. 10. Зависимость минимального вагонопотока, выгодного для выделения в отдельное назначение N_{\min} , от среднего числа вагонов t в составе [выполнено автором].

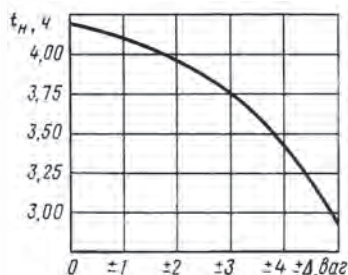


Рис. 11. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на время накопления t_n [выполнено автором].

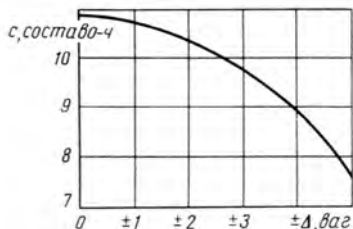


Рис. 12. Взаимозависимость допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ и параметра накопления c [выполнено автором].

копление с увеличением вагоно-часов в движении, а также локомотиво- и бригадо-часов, приведённых к стоимости 1 вагоно-часа:

$$\Delta N t_n = \Delta t_{\text{де}} n m_{\phi} + \frac{\Delta t_{\text{лок}} e_{\text{MH}} + \Delta t_{\text{бр}} e_{\text{Mh}}}{e_{\text{HH}}},$$

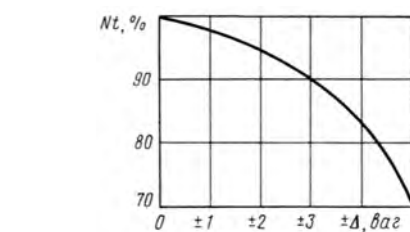


Рис. 13. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на затраты вагоно-часов накопления N_t [выполнено автором].

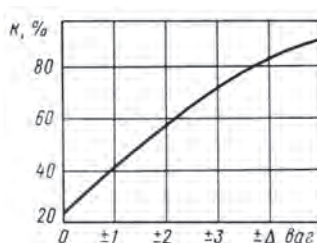


Рис. 14. Взаимозависимость размера допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ и доли интервалов между составами в процессе накопления [выполнено автором].

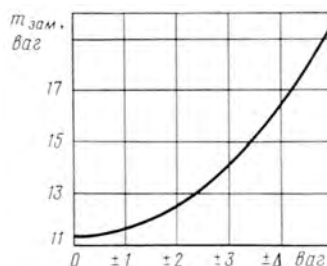


Рис. 15. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на среднюю величину замыкающей группы $m_{\text{зам}}$ [выполнено автором].

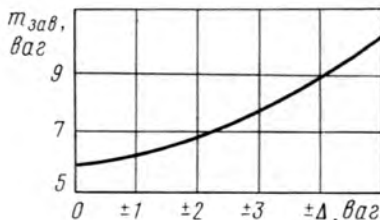


Рис. 16. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на среднюю величину завершающей группы $m_{\text{заб}}$ [выполнено автором].

$$\text{или } \Delta c t \geq \Delta t_{\text{де}} n m_{\phi} + \frac{\Delta t_{\text{лок}} e_{\text{MH}} + \Delta t_{\text{бр}} e_{\text{Mh}}}{e_{\text{HH}}},$$

где $\Delta N t_n = \Delta c t$ – сокращение затрат вагоно-часов на накопление составов;

$\Delta t_{\text{ДВ}} = \Delta v_{\text{уч}} / L$ увеличение времени нахождения поездов на участке;

n – размеры движения поездов на участке;
 m_{ϕ} – фактическое число вагонов в поездах;
 $\Delta v_{\text{уч}}$ – уменьшение участковой скорости движения поездов;
 L – длина участка.

Рассмотрим, например, целесообразность увеличения допускаемых отклонений от установленной длины составов 50 вагонов с ± 1 до ± 3 при затратах на накопление 550 вагоно-часов в сутки, размерах движения на участке 80 поездов, длине участка 200 км. По графику (рис. 11) определяем, что затраты вагоно-часов на накопление сократятся на 7,7 %, или на 42,35 вагоно-часа, размеры движения (рис. 17) увеличатся на 7,6 поездов, а это вызовет уменьшение участковой скорости (рис. 3 (2,3)) на 2,5 км/ч, т.е. увеличит время нахождения поездов на участке на 0,19 ч. Таким образом, сокращение вагоно-часов накопления составов (на 42,35 вагоно-ч) превышает увеличение времени нахождения вагонов в движении на 9,5 вагоно-ч. Значит, на данном участке целесообразно увеличить допускаемые отклонения от установленной длины составов на ± 3 вагона. Если же использование пропускной способности достигло высокого уровня, целесообразно формировать составы одновременно полные по длине и весу, чтобы не вызывать дальнейшего увеличения размеров движения поездов.

При формировании составов из гружёных вагонов в процессе накопления участвует весь вагонопоток данного назначения. Особенность формирования составов из порожних вагонов – изъятие их в процессе накопления для погрузки на станции и прилегающих участках. Таким образом, грузовые станции, как правило, отправляют меньше порожних вагонов, чем выгружают, а технические – меньше, чем получают. На грузовых станциях параметр накопления составов из порожних вагонов c_n при одном назначении рекомендовалось принимать равным 7. Однако на величину c_n влияют размеры грузовой работы на станции. Суточный порожний вагонопоток N_n представляет собой разность между объёмами выгрузки и погрузки определённого рода вагонов. Поэтому суточный вагонопоток, например, 50 вагонов можно получить при выгрузке 50 вагонов, а также при выгрузке 500 и погрузке 450 вагонов. Затраты на накопление в обоих случаях $c_n m_n = 7 \cdot 50 = 350$ вагоно-ч. Однако в первом случае суточные затра-

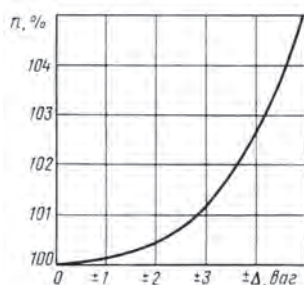


Рис. 17. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm \Delta$ на число накапливаемых составов [выполнено автором].

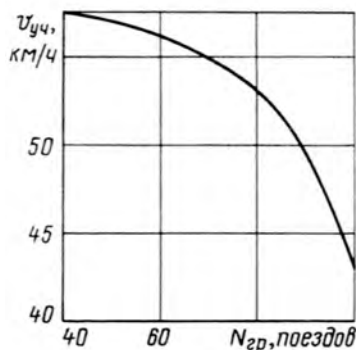


Рис. 18. Изменение участковой скорости в зависимости от размеров движения грузовых поездов [выполнено автором].

ты на накопление фактически составляют $c_n m_n = N_n t_n = 50 \cdot 12 = 600$ вагоно-ч, а во втором – можно, сконцентрировав подвод после выгрузки групп вагонов или целых маршрутов, ускорить процесс накопления в отдельных случаях до минимума – $t_n = 1,2$ ч, и тогда затраты на накопление будут в несколько раз меньше, чем в первом случае, т.е. $N_{\text{пор}} t_n = 50 \cdot 1,2 = 60$ вагоно-ч.

В соответствии с необходимым условием для маршрутизации при значении показателя $\sum T_{\text{эк}} + \sum T_{\text{эк}}^{\text{ст}} + t_{\text{назн}} = 6$ приведённых вагоно-ч/вагон в первом случае нецелесообразно маршрутизировать порожний вагонопоток, поскольку $50 \cdot 6 < 600$, а во втором целесообразно, так как $50 \cdot 6 > 60$. Существовавшая ранее методика определения затрат на накопление не учитывала этих особенностей образования порожнего вагонопотока. Поэтому в обоих рассмотренных случаях было нецелесообразно формировать порожние маршруты $(50 \cdot 6) < 350$. Следовательно, время накопления составов из порожних вагонов зависит не только от величины суточного вагонопотока, но и от размеров грузовой работы на станциях. На основе исследований



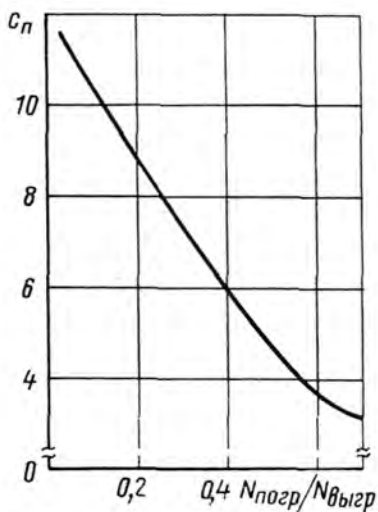


Рис. 19. Зависимость параметра накопления составов из порожних вагонов c_n от размеров грузовой работы [выполнено автором].

особенностей процесса накопления составов из порожних вагонов была получена формула накопления:

$$c_n = \frac{(N_{\text{выгр}} - N_{\text{погр}})^2 t_n}{N_{\text{выгр}} m_n} + 0,76e^{1,338 \left(1 + \frac{N_{\text{погр}}}{N}\right)}$$

Для облегчения её практического применения, на рис. 19 представлена графическая зависимость значений параметра накопления порожних составов от соотношения размеров грузовой работы станций.

Перераспределение сортировочной работы

При наличии диспетчера по организации вагонопотоков при несоответствии интенсивности подвода поездов и возможности их переработки появится возможность временного перераспределения сортировочной работы между техническими станциями. Причём это несоответствие может возникнуть как из-за изменения интенсивности подвода поездов к станции, так и перерабатывающей способности. Последнее может быть вызвано изменением числа находящихся в работе сортировочных путей, несвоевременным вывозом поездов со станции, ремонтными работами на горке и т.д. Потребность перераспределения сортировочной работы возникает при составлении и корректировке плана формирования поездов, сменно-суточном планировании поездной работы, ремонтно-строительных работах на станциях и перегонах. Методы перераспределения вагонопотоков для этих задач одни и те

же. Рассмотрим их на примере регулирования загрузки технических станций в оперативном планировании поездной работы. Следует сразу отметить, что предлагаемый способ уменьшения объёма переработки вагонов на одной из станций не вызывает её увеличения на такую же величину на других станциях. Как правило, это сопровождается снижением общего объёма переработки вагонов.

Сортировочная работа перераспределяется за счёт выделения струй вагонопотоков в дополнительные более дальние назначения, чем предусмотрено планом формирования, либо перераспределения вагонов между назначениями поездов. Формирование дополнительных более дальних назначений поездов целесообразно как при возрастании вагонопотока (N), обеспечивающем превышение экономии от пропуска поездов без переработки на попутных технических станциях ($T_{\text{эк}}$) над затратами на накопление составов (cm), так и при увеличении $T_{\text{эк}}$ в связи с возросшим объёмом переработки и сокращением затрат на накопление составов при сгущённом поступлении вагонов. Изменения мощности струй вагонопотоков или нормативов плана формирования являются достаточным основанием для выделения дополнительных назначений, когда $N \cdot T_{\text{эк}} \geq cm$.

Изменение загрузки сортировочных станций за счёт перераспределения вагонов между назначениями поездов основано на том, что струи вагонопотоков, выделенные в самостоятельные назначения, часто значительно превышают достаточную для этого минимальную величину. В то же время смежным с ними более коротким струям для целесообразности выделения в отдельные назначения не хватает незначительного числа вагонов. Поэтому их объединяют с ещё более короткими струями, и вагонопотоки дополнительно перерабатывают на попутных технических станциях. При необходимости уменьшения загрузки попутных технических станций транзитность поездов может быть повышена перераспределением вагонов между смежными струями вагонопотоков благодаря некоторому разукрупнению более дальних назначений для пополнения коротких струй. В общем виде целесообразность выделения в отдельные назначения струй вагонопотоков, пополняемых за счёт более дальней струи, отвечающей достаточному условию, определяется неравенством:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l N_i T_{\text{эк } j} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l N_i^{\text{нед}} T_{\text{эк } j} > \left[(k-1) + \frac{N_{\text{Д}} - \sum_{i=1}^n N_i^{\text{нед}}}{N_{\text{Д}}} \right] \text{см}, \quad (5)$$

где $N_{\text{Д}}$ – струя вагонопотока, удовлетворяющая достаточному условию;

N_i – размер струи i , пополняемой вагонами назначения $N_{\text{Д}}$;

$T_{\text{эк } j}$ – получаемая или ликвидируемая приведённая экономия вагоно-часов при пропуске вагонопотока i без переработки на станции;

$N_i^{\text{нед}}$ – недостаток вагонов в струе i для выполнения достаточного условия;

k – число дополнительных назначений поездов.

Для пополнения могут использоваться струи вагонопотоков, первоначально удовлетворяющие достаточному условию, но у которых избыток вагонов меньше недостатка в смежной струе. Это объясняется тем, что уменьшение дальней струи вагонопотока N_1 для пополнения ближней струи на $N_2^{\text{нед}}$ в достаточном условии выгоды выделения N_1 :

$$(N_1 - N_2^{\text{нед}}) T_{\text{эк}}^{\text{Д}} \geq \left(\frac{N_1 - N_2^{\text{нед}}}{N_1} \right) \text{см},$$

одинаково влияет на изменение величин правой и левой частей неравенств, не меняя их соотношения.

Последовательность выполнения расчётов при перераспределении сортировочной работы между техническими станциями:

1. Выявляют струи вагонопотоков, удовлетворяющие достаточному условию, выделенные в транзитные назначения поездов через рассматриваемую станцию.

2. Выявляют струи вагонопотоков, удовлетворяющие необходимому условию, которые после пополнения смогут проследовать станцию без переработки.

3. Из струй, удовлетворяющих необходимому условию, выделяют такие смежные, с которыми более дальние струи удовлетворяют достаточному условию.

4. Для струй вагонопотоков, выделенных согласно п. 3, находят недостающие вагоны для выполнения достаточного условия.

5. Выявленные в п. 4 струи, пополненные недостающим числом вагонов, проверяют на выполнение достаточного условия (5).

В качестве информационного обеспечения оперативного перераспределения сортировочной работы используется заблаговременное моделирование процесса накопления составов. Рациональное перераспределение сортировочной работы способствует созданию оптимальных условий функционирования участков и станций, повышает транзитность вагонопотоков. Перераспределять сортировочную работу между станциями рассмотренным способом можно как при расчёте и корректировке плана формирования, так и при оперативном планировании поездной работы, когда уже возникли или прогнозируются затруднения с переработкой вагонов на некоторых станциях. Период времени, на который перераспределяется сортировочная работа, зависит от возможной продолжительности прогнозируемых затруднений.

Выводы

Планирование состава образования – ключевая задача оперативного управления перевозочным процессом. Поэтому замена пассивного, неуправляемого процесса накопления составов диспетчерским управлением поездообразованием позволяет ликвидировать существующую неопределённость и стихийность эксплуатационной работы железных дорог.

Оперативное управление поездообразованием позволяет значительно расширить перечень задач, решаемых планом формирования поездов. Кроме установления назначения формируемых поездов, периодически неэффективных, организация вагонопотоков оперативно адаптируется к реальной эксплуатационной обстановке, заблаговременно регулируется время завершения накопления составов в соответствии с обеспечением их локомотивами и «ниток» графика движения поездами, предоставляется исходная информация для оптимизации использования поездных локомотивов, регулируется насыщение участков поездами и содержание вагонных парков на станциях.

Определены характеристики оптимальных условий работы участков и станций. Прогнозирование режима работы участков и станций позволяет с помощью управления поездообразованием создавать наиболее эффективные условия поездной и сортировочной работы.





Для управления поездообразованием предусмотрены мероприятия диспетчерского воздействия, позволяющие влиять и определять эффективность перевозочного процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левин Д. Ю. Логистика перевозочного процесса железных дорог. Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 1–2 (92–93). – С. 21–27. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46108214>.
2. Кобзев С. А. Инструмент повышения эффективности // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 4–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841041>. Доступ 19.01.2022.
3. Шило А. Н. Об основных результатах описания бизнес-процесса «транспортно-логистическая деятельность» // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 8–15. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841042>. Доступ 19.01.2022.
4. Рахимжанов Д. М. Выстраивая сквозной процесс перевозочной деятельности // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 16–19. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841043>. Доступ 19.01.2022.
5. Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах: Монография. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. – 443 с. [Электронный ресурс]: <https://umczt.ru/books/1196/39298/>. Доступ 19.01.2022.
6. Шапкин И. Н., Левин Д. Ю. Оптимальное управление поездообразованием на железнодорожном транспорте // 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. – М.: Российский университет транспорта, 2021. – С. 175–191. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46552761>. Доступ 19.01.2022.
7. Левин Д. Ю. Обеспечение ниток графика движения поездами // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 9. – С. 14–17. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43873900>. Доступ 19.01.2022.
8. Левин Д. Ю. История техники. История развития системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие // М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – 2014. – 468 с. ISBN 978-5-89035-755-7. (Дополнительные электронные ресурсы: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27908703>).
9. Xue, Feng; Xiaochen, Ma; Hu, Zuoan. Building a Railway Logistics Center Based on Freight Stations and Marshalling Yards. International Conference of Logistics Engineering and Management, September 2014. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Feng-Xue-11/publication/301430092_Building_a_Railway_Logistics_Center_Based_on_Freight_Stations_and_Marshalling_Yards/links/5ff1ec2299bf140888c85da/Building-a-Railway-Logistics-Center-Based-on-Freight-Stations-and-Marshalling-Yards.pdf. Доступ 19.01.2022. DOI: 10.1061/9780784413753.179.
10. Wenliang, Zhou; Xia, Yang; Jin, Qin; Lianbo, Deng. Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshalling Station for Capacity Utilization Analysis. The Scientific World Journal, Vol. 2014, Article ID 251315, 13 p. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/251315/>. Доступ 19.01.2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/251315>.
11. Khoshniyat, Fahimeh. Simulation of Planning Strategies for Track Allocation at Marshalling Yards. Masterarbeit, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012, 64 p. [Электронный ресурс]: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.491060.1550158510!/X12_032_report.pdf. Доступ 19.01.2022.
12. Левин Д. Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом. – М.: Маршрут, 2005. – 759 с.
13. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: Монография. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2008. – 625 с. ISBN 978-5-89035-547-8.
14. Угрюмов А. К., Грошев Г. М., Кудрявцев В. А., Платонов Г. А. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
15. Левин Д. Ю. Диспетчеризация вагонопотоков: «управление по целям» // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 136–150. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1412>. Доступ 19.01.2022.
16. Хижняк А. В. Прогноз для станции. «Гудок» № 496 (26995) от 11 августа 2020 г. [Электронный ресурс]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1531032&archive=2020.08.11>. Доступ 19.01.2022.
17. Левин Д. Ю. Технологическая модернизация системы управления перевозками на железнодорожном транспорте: Дисс... д.т.н. – Москва, 2015. – 310 с.
18. Васильев И. И. Графики и расчёты по организации железнодорожных перевозок. – М.: Желдориздат, 1941. – 576 с.
19. Левин Д. Ю. Эксплуатация железных дорог в рыночных условиях // Экономика железных дорог. – 2019. – № 10. – С. 73–80. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41195841>. Доступ 19.01.2022.
20. Левин Д. Ю. Управление технологией перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. – М.: Инфра-М, 2017. – 286 с. [Электронный ресурс]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008686803>. Доступ 19.01.2022.
21. Левин Д. Ю. Потребности в перевозках и возможности железных дорог. – М.: Инфра-М, 2017. – 245 с.
22. Левин Д. Ю. Эксплуатационная работа железных дорог: аксиомы и закономерности. – М.: Инфра-М, 2017. – 330 с.
23. Левин Д. Ю. Организация местной работы. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2013. – 612 с. ●

Информация об авторе:

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, главный эксперт АО «НИИАС», Москва, Россия, levindu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 21.09.2020, одобрена после рецензирования 25.01.2021, актуализирована 19.01.2022, принята к публикации 24.01.2022.

От редакции: Обзорная статья профессора, доктора технических наук Дмитрия Левина представляет собой авторское обобщение и новое осмысление более ранних трудов учёного. Учитывая многолетний опыт автора в разработке темы эксплуатации железных дорог, в том числе отражённый в многочисленных публикациях, работа, на наш взгляд, представляет большой интерес и практическую ценность, тем более что при стремительно растущих объёмах железнодорожных перевозок, проблема управления поездообразованием более чем актуальна.