

где  $e_{уд}$  – удельные расходы, связанные с повреждением одного вагона на сортировочной горке.

Для среднесетевых условий работы сортировочных участковых станций интенсивность повреждения вагонов составляет  $\lambda_{повр} = 0,00010...0,00013$ .

Расчеты показывают, что с учетом фактора «безопасность» значение эквивалента переработки вагонов для условий Белорусской железной дороги в среднем необходимо увеличить на  $\Delta r_v = 0,25...0,3$  ч.

В соответствии с [2] для среднесетевых условий эквивалент переработки вагонов принимается 1,8–2,0. Таким образом, учет фактора «безопасность» при расчете эквивалента переработки вагона позволит повысить точность расчета данного параметра на 12–14 %, и в конечном итоге показатели ПФП, тем самым снизить затраты при организации пропуска вагонопотоков.

### Список литературы

1 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П. С. Грунгов [и др.] ; под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

2 Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. – М. : Транспорт, 1984. – 256 с.

3 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге : утв. приказом № 1294 НЗ от 30.12.2013. – Минск : Бел. ж. д., 2013. – 320 с.

4 Негрей, В. Я. Расчет плана формирования поездов с учетом ограничения по сроку доставки грузов / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-прак. конф., Гомель, 29 июня 2003 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2003. – С. 55–57.

---

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

■ Дорошко Сергей Владимирович, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда», uer@bsut.by.

УДК 656.21:004.89

## РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ

*С. В. ДОРОШКО, В. Я. НЕГРЕЙ*

*УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

Система управления вагонопотоками является основополагающей частью перевозочного процесса и определяет в значительной мере эффективность использования инфраструктуры железных дорог и подвижного состава,

оказывает сильное влияние на стратегию и тактику развития железнодорожных полигонов и станций.

Созданная на протяжении продолжительного периода времени система управления вагонопотоками накопила интеллектуальный потенциал и достигла высоких практических результатов [1–3], однако ряд традиционных недостатков и новых перемен не удалось преодолеть или их компенсировать.

Во-первых, коллективы железнодорожных станций существующей системой организации вагонопотоков поставлены в жесткие, ограниченные возможности выбора решений, что исключает использование адаптивных технологий в условиях рыночных отношений.

Во-вторых, вести управление вагонопотоками на основе их средних значений часто оказывается малоэффективно. Такой подход не позволяет железнодорожным станциям приспособляться к колебаниям вагонопотоков, что вызывает снижение эффективности использования путевого развития и сортировочных устройств, локомотивного и вагонного парков.

В-третьих, в начале XXI столетия произошли коренные изменения в структуре и объемах перевозок. В 2004–2012 годах существенно трансформировалась система перевозочным процессом, значительно выросла доля частных вагонов, произошли другие экономические процессы, оказавшие влияние не только на железнодорожный транспорт, но и другие отрасли [4].

В-четвертых, рыночные условия существенно изменили географию перевозок и повысили неравномерность транспортных потоков. При этом на участках инфраструктуры уменьшилась мощность вагонопотоков, что потребовало изменений в планировании развития инфраструктуры и методов управления тягой поездов.

Одним из важнейших направлений повышения эффективности работы железнодорожного транспорта является развитие существующих методов управления перевозочным процессом.

Анализ тенденций изменения объема перевозочной работы железнодорожного транспорта Республики Беларусь позволяет отметить его существенное сокращение на рубеже XX и XXI столетий. В результате уменьшились значения среднесуточной мощности струй вагонопотоков в плане формирования поездов.

В таких условиях одним из важнейших направлений повышения эффективности перевозочного процесса является переход на адаптивную систему организации вагонопотоков, которая предоставляет широкие возможности для сокращения продолжительности простоя вагонов на железнодорожных станциях, повышения производительности локомотивов и локомотивных бригад [5].

Адаптивная система организации вагонопотоков имеет два уровня: внутридорожный и междорожный. На первом уровне значительно упрощается планирование и организация работы железнодорожных станций, а на втором требуется разработка согласованной технологии на больших полигонах [6, 7].

Принципиальной особенностью адаптивной системы управления вагонопотоками являются возможности выбора технической станцией, в зависимости от складывающейся ситуации, категории формируемого поезда – одnogруппного, двухгруппного или трехгруппного и повышения его организованности после проследования очередной технической станции.

Анализ работы железнодорожных станций показал, что наибольшая часть простоя связана с нахождением вагона под накоплением на сортировочных и участковых станциях:

$$t_{\text{н}} = \frac{c\bar{m}}{N_i}, \quad (1)$$

где  $c$  – параметр накопления вагонов,  $\bar{m}$  – среднее количество вагонов в составе поезда;  $N_i$  – количество вагонов  $i$ -го назначения.

Скорость изменения параметра  $t_{\text{н}}$

$$\frac{dt_{\text{н}}}{dN} = \frac{cm}{N_i^2}. \quad (2)$$

При изменении  $N_i$  относительная чувствительность параметра  $t_{\text{н}}$

$$\gamma = \frac{cm / N_i^2}{cm / N_i^2}. \quad (3)$$

После преобразования

$$\gamma = \frac{N_i^2}{N_i^2}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что изменение чувствительности параметра  $t_{\text{н}}$  равно отношению квадратов средней мощности назначения. Например, изменение средней мощности назначения со 120 до 60 вагонов в сутки приводит к повышению чувствительности параметра  $t_{\text{н}}$  в 4 раза ( $120^2 / 60^2 = 4$ ).

Наибольшая чувствительность параметра  $t_{\text{н}}$  характерна при изменении мощности назначения в зоне от 1 до 100 вагонов. Учитывая, что в связи с сокращением объемов работы сортировочных станций средняя мощность назначения оказалась в зоне от 40 до 120 вагонов, существенно повысилась чувствительность простоя вагонов под накоплением.

Применяемый в настоящее время принцип выделения дальних назначений не учитывает внутреннюю организацию струи вагонопотока. В результате на каждой технической станции, где осуществляется переработка

вагонопотока, выполняется дополнительная сортировка, которая вызывает дополнительные материальные, трудовые и энергетические ресурсы.

Принципиальным отличием предлагаемой адаптивной системы управления вагонопотоками является повышение уровня организованности (сокращения энтропии) поезда по мере его продвижения от начальной до конечной станции. Другими словами, вагоны в составе должны подбираться в соответствии с географическим расположением станций переработки.

Важнейшим параметром адаптивной технологии является количество перецепок групп на направлении, которое зависит от количества сортировочных и участковых станций, структуры вагонопотока и других факторов.

Рассмотрим один из вариантов адаптивной технологии, когда на станциях достаточно путей для накопления вагонов, следующих в адрес каждой впереди расположенной сортировочной станции на направлении. В этом случае вагоны самой дальней максимально могут перецепляться  $(k - 2)$  раз, то есть на каждой попутной технической станции. Минимальное количество перецепок равно нулю. Поэтому в среднем, когда отсутствует целенаправленное управление процессом перецепки, количество перецепок этой струи составит

$$z_{д1} = \frac{[(k - 2) + 0]}{2} = \frac{k - 2}{2}. \tag{5}$$

Вагоны следующей струи (по дальности) будут перецепляться в среднем

$$z_{д1} = \frac{k - 3}{2}. \tag{6}$$

В общем виде среднее количество перецепок на направлении, включающем  $k$  станций, можно определить по формуле

$$n_{п} = \frac{(k - 2) + 2(k - 3) + 3(k - 4) + \dots}{2}. \tag{7}$$

Для иллюстрации рассмотрим линейное железнодорожное направление с четырьмя станциями (рисунок 1).

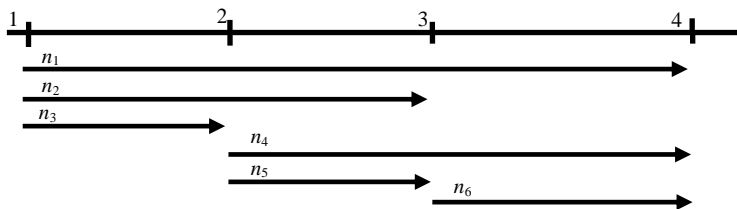


Рисунок 1 – Схема вагонопотоков на направлении с четырьмя станциями

При адаптивной технологии и формировании станциями односторонних, двухсторонних или трехсторонних поездов расчет среднего количества перецепок приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет количества перецепок

Номер струи	Количество перецепок		Среднее количество перецепок
	благоприятный исход	неблагоприятный исход	
1	0	2	1
2	0	1	0,5
4	0	1	0,5
Общее количество перецепок	0	4	2

Аналогично, по формуле (7) для направления из 5 станций

$$n_{\text{п}} = \frac{(5-2) + 2(5-3) + 3(5-4)}{2} = 5.$$

При других значениях числа станций на направлении количество перецепок приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Значения количества перецепок

Число станций на направлении	4	5	6	7	8	9	10
Среднее количество перецепок	2	5	10	17,5	28	45	60

На среднее количество перецепок существенное влияние оказывает система управления перевозочным процессом. Моделирование поездной ситуации на направлениях показало, что действие системы управления (квалификация и опыт работы персонала) приводит к сокращению количества перецепок. Поэтому реальное количество перецепок составит

$$n_{\text{п}} = \frac{[(k-2) + 2(k-3) + 3(k-4) + \dots]}{2} \varphi, \quad (8)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий влияние системы управления на организованный подвод поездов.

Экономическая эффективность в вагоно-часах адаптивной технологии будет положительной, если

$$\Delta B = cm(k-1) + T_{\text{эк}} \sum_{j=1}^n N_{\text{переп}} \geq \beta cm(k-1) + n_{\text{п}} t_{\text{переп}} (m - N_{\text{н}}), \quad (9)$$

где  $T_{эк}$  – общая экономия продолжительности в приведенных часах от пропуска одного вагона струи  $N$  через  $j$ -ю станцию без переработки;  $N_{перер}$  – среднесуточный размер струи вагонопотока, перерабатываемый на попутных станциях;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий увеличение простоя вагонов под накоплением из-за неравномерности процесса подвода вагонов;  $t_{переп}$  – приведенные затраты времени на перецепку вагонов.

Исследования показали, что коэффициент  $\beta$  изменяется от 1,1 до 1,3, а  $t_{переп}$  учитывает дополнительные затраты на маневровую работу и составляет 0,3–0,7 ч.

Для оценки границ эффективности новой технологии рассмотрим пример, где количество станций на направлении (внутри дорожный план) составляет 4, среднее количество вагонов в составе поезда 57,  $T_{эк}$  для всех станций и мощности струй одинаковы и составляют соответственно 5 ч и 30 вагонов.

Для традиционной технологии приведенные ваг·ч по оптимальному плану формирования поездов составят (мощность струй не позволяет выделить сквозные назначения)

$$B_T = cm(k - 1) + T_{эк} \sum_{j=1}^n N_{перер} \tag{10}$$

$$B_T = 10 \cdot 57 \cdot (4 - 1) + 5 \cdot [(30 + 30) + (30 + 30)] = 2310 \text{ ваг}\cdot\text{ч.}$$

При выделении одной сквозной струи расходы составят 2580 ваг·ч, т. е. уступают оптимальному варианту.

Для адаптивной технологии по формуле (8)

$$B_a = 1,3 \cdot 10 \cdot 57 \cdot (4 - 1) + 2 \cdot 0,4 \cdot (57 - 30) = 2245 \text{ ваг}\cdot\text{ч.}$$

Годовой эффект (в приведенных ваг·ч) составит

$$B_T = 365 \cdot (2310 - 2245) = 23795 \text{ ваг}\cdot\text{ч.}$$

Для других направлений значения суммарных затрат ваг·ч приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения суммарных затрат ваг·ч

Количество станций переработки	4			5			6			7		
	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
Продолжительность переработки	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
Ваг·ч (традиционная технология)	2310			3710			5850			8670		
Ваг·ч (адаптивная технология)	2239	2245	2250	3005	3018	3032	3786	3813	3840	4588	4635	4682
Экономия ваг·ч	71	65	60	705	692	678	2064	2037	2010	4082	4035	3988

Анализ таблицы 3 показывает, что при малых значениях струй вагонопотоков эффективность адаптивной технологии возрастает при увеличении станций на направлении. Кроме того, сокращение продолжительности цепочки относительно слабо влияет на суммарные затраты ваг·ч.

Значительный интерес представляет оценка эффективности адаптивной технологии управления вагонопотоками при больших мощностях струй. Для полигона, изображенного на рисунке 1, рассмотрим влияние мощности струй, которые удовлетворяют абсолютному условию, т. е.  $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 120$  вагонов. В этом случае оптимальный вариант плана формирования приведен на рисунке 2.

Затраты ваг·ч при мощности 120 вагонов при традиционной системе составят  $B_T = 10 \cdot 57 \cdot 6 = 3420$  ваг·ч.

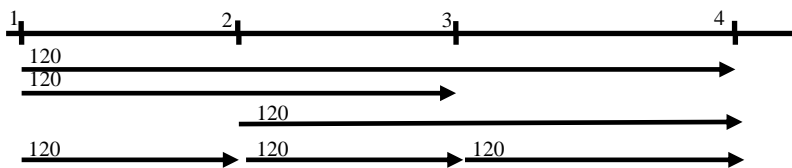


Рисунок 2 – Оптимальный план формирования поездов

Для адаптивной технологии

$$B_a = 1,3 \cdot 10 \cdot 57 \cdot (4 - 1) + 2 \cdot 0,4 \cdot (120 - 57) = 2273,4 \text{ ваг·ч.}$$

Таким образом, адаптивная технология обеспечивает экономию 1146,6 ваг·ч по сравнению с традиционной технологией.

Если полигон включает 5 станций, то затраты ваг·ч в оптимальном плане формирования составят

$$B_T = 10 \cdot 57 \cdot 10 = 5700 \text{ ваг·ч.}$$

При адаптивной технологии

$$B_a = 1,3 \cdot 10 \cdot 57 \cdot (5 - 1) + 5 \cdot 0,4 \cdot (120 - 57) = 3090 \text{ ваг·ч.}$$

Эффект применения адаптивной технологии

$$\Delta B = 5700 - 3090 = 2610 \text{ ваг·ч.}$$

Адаптивная система организации вагонопотоков позволяет сгладить процесс поездообразования при существенной неравномерности транзитных потоков, что дает возможность сократить резерв ниток графика движения поездов, который на многих участках и направлениях составляет 40–50 %. В результате стабилизируются графики оборота локомотивов и работа локомотивных бригад, сокращается простой локомотивов в пунктах оборота и основных депо, растет их производительность.

Ключевой особенностью адаптивной технологии является сокращение неопределенности такого сложного технологического процесса, как

накопление составов. Сегодня за время оборота вагон около 3,5–4,0 раз перерабатывается на сортировочных или участковых станциях, а простой вагона под накоплением на каждой станции может колебаться от нескольких минут до 12 часов. Кроме того, часто возникают дополнительные простои в ожидании локомотива или нитки графика. В результате груз поступает клиенту не точно в срок, а в достаточно широком интервале с высокой неопределенностью. Такая ситуация вызывает дополнительные экономические потери не только у перевозчика, но и у клиента.

Адаптивная система организации вагонопотоков на основе использования одно-, двух- и трехгруппных поездов и повышения организованности формируемых потоков по мере продвижения их на направлении позволит существенно улучшить показатели работы железнодорожного транспорта и качество обслуживания клиентов.

### Список литературы

- 1 **Васильев, И. И.** Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок / И. И. Васильев. – М. : Трансжелдориздат, 1941. – 576 с.
- 2 **Петров, А. П.** План формирования поездов / А. П. Петров. – М. : Трансжелдориздат, 1950. – 483 с.
- 3 **Правдин, Н. В.** Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, Н. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.
- 4 **Иваницкий, В. А.** Динамическая оптимизация обеспечения намечаемой погрузки погрузочными ресурсами / В. А. Иваницкий, В. А. Буянов, Н. Б. Соколова // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – № 5. – С. 28–31.
- 5 **Дорошко, С. В.** Адаптивная система организации вагонопотоков / С. В. Дорошко // Вестник ДНУЖТа им. акад. В. Лазаряна. – Вып. 34. – Д. : Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп., 2010. – С. 39–45.
- 6 **Негрей, В. Я.** Расчет плана формирования поездов с учетом ограничения по сроку доставки грузов / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 29 июня 2003 г. : тез. докл. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2003. – С. 55–57.
- 7 **Негрей, В. Я.** Эффективность формирования групповых поездов на внутридорожных направлениях / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1 (16). – С. 24–28.

---

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- Дорошко Сергей Владимирович, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда», uer@bsut.by;
- Негрей Виктор Яковлевич, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда», д-р техн. наук, профессор, uer@bsut.by.