

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ

Обосновано применение в процессе разработки и оптимизации плана формирования одногруппных грузовых поездов синергетического критерия оптимальности, учитывающего расходы, связанные с продвижением подвижного состава по железнодорожным участкам. Выполнена оценка влияния использования синергетического критерия оптимальности в процессе разработки плана формирования поездов на транзитность вагонопотока и среднее время проследования грузовым вагоном железнодорожного направления.

Одним из важнейших вопросов развития теории разработки плана формирования поездов является вопрос определения критерия его оптимальности.

Условие оптимальности плана формирования грузовых поездов, предусмотренное действующими на Белорусской железной дороге Методическими рекомендациями по организации вагонопотоков [1], можно определить как минимизацию затрат приведенных вагоно-часов, связанных с накоплением и переработкой вагонов на технических станциях.

При этом целевая функция включает в себя следующие составляющие:

$$B_{\text{общ}} + B_{\text{нак}} + B_{\text{пер}}^{\text{ваг}} + B_{\text{пер}}^{\text{лок}}, \quad (1)$$

где  $B_{\text{нак}}$  – затраты вагоно-часов, связанные с накоплением составов на технических станциях;  $B_{\text{пер}}^{\text{ваг}}$  – затраты вагоно-часов, связанные с переработкой попутных вагонов на технических станциях;  $B_{\text{пер}}^{\text{лок}}$  – затраты приведенных вагоно-часов, связанные с перецепкой локомотивов.

Анализ формулы (1) показывает, что приведенная целевая функция не учитывает затраты, связанные с нахождением вагонопотоков в движении. Это связано с тем, что, согласно существующим подходам, в случаях, когда вагонопотоки следуют по одним и тем же участкам в поездах с одинаковой величиной составов, затраты на их продвижение по участкам одинаковы и могут не учитываться.

Исследования, приведенные в публикации [4], показали, что даже в рамках одного железнодорожного участка средняя участковая скорость сквозных поездов может существенно превышать среднюю участковую скорость участковых поездов, что свидетельствует о необходимости доработки действующего критерия оптимальности согласно дополнительным параметрам, учитывающим взаимодействие железнодорожных станций и участков.

Целевая функция дополненного синергетического критерия оптимальности плана формирования поездов будет иметь следующий вид:

$$B_{\text{общ}}^{\text{син}} + B_{\text{общ}} + B_{\text{уч}}^{\text{ваг}} + B_{\text{уч}}^{\text{лок}} + B_{\text{косв}}, \quad (2)$$

$B_{\text{уч}}^{\text{ваг}}$  – затраты вагоно-часов, связанные с нахождением вагонов на участках;  $B_{\text{уч}}^{\text{лок}}$  – затраты приведенных ва-

гоно-часов, связанные с нахождением локомотивов на участках;  $B_{\text{косв}}$  – косвенные затраты, выраженные в приведенных вагоно-часах.

Для того, чтобы при выборе между различными вариантами плана формирования поездов учитывать затраты, связанные с нахождением вагонов и локомотивов на участках, в целях упрощения расчетов целесообразно использовать не сами затраты ( $B_{\text{уч}}^{\text{ваг}}$  и  $B_{\text{уч}}^{\text{лок}}$ ), а дополнительный параметр экономии эксплуатационных расходов при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах ( $R_n$ ). В работе [2] описан порядок расчета данного параметра для частного случая, когда все грузовые поезда следуют по направлению с одним локомотивом.

В более общем случае параметр экономии эксплуатационных расходов при следовании подвижного состава в сквозных поездах  $R_n$  в приведенных вагоно-часах может быть рассчитан с использованием формулы

$$R_n = \Delta t_{\text{скв}} \left( \frac{k_{\text{лок}} M_{\text{лок}}}{m} + 1 \right) n, \quad (3)$$

где  $\Delta t_{\text{скв}}$  – сокращение продолжительности нахождения подвижного состава на участке при следовании вагонов и локомотивов в составе сквозных поездов в сравнении со следованием в участковых поездах, ч;  $k_{\text{лок}}$  – коэффициент приведения локомотиво-часов к ваг-ч;  $M_{\text{лок}}$  – среднее число локомотивов в следующем по участку грузовом поезде, ед.;  $m$  – средний состав следующего по участку поезда, ваг.;  $n$  – мощность струи вагонопотока, ваг.

В ходе апробации использования данного параметра на полигоне Белорусской железной дороги была обоснована целесообразность выделения некоторых маломощных струй вагонопотоков в самостоятельные назначения.

Для оценки эффекта от использования предлагаемого параметра в процессе разработки плана формирования грузовых поездов проанализируем то, как изменялась транзитность вагонопотока на отдельных направлениях после того, как дополнительные струи вагонопотоков были выделены в самостоятельные назначения. Под транзитностью вагонопотока будем понимать долю следующих по направлению вагонов, которые проследуют попутные технические станции без переработки.

В качестве примера рассмотрим однопутное направление Могилев – Слуцк, включающее участки Могилев – Осиповичи и Осиповичи – Слуцк. Среднесуточные размеры следующего по данным участкам вагонопотока (без учета вывозных и передаточных поездов)  $n_{\text{общ}}$  составляют 379,7 ваг. и 546,9 ваг. соответственно.

С использованием параметра  $R_n$  в ходе разработки плана формирования грузовых поездов было обосновано формирование на указанном направлении сквозного поезда Могилев – Слуцк, тогда как ранее соответствующий вагонопоток следовал в участковых поездах Могилев – Осиповичи и Осиповичи – Слуцк.

Если без учета формирования сквозного поезда Могилев – Слуцк среднесуточный транзитный вагонопоток  $n_{\text{тр}}$ , который проследовал технические станции без переработки, на участках Могилев – Осиповичи и Осиповичи – Слуцк составлял 243,2 ваг. и 416,7 ваг. соответственно, то после того, как план формирования был доработан с использованием параметра  $R_n$ , значение указанного показателя на участках увеличилось до 328,3 ваг. и 501,8 ваг. соответственно.

Таким образом, транзитность вагонопотока  $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$  на участке Могилев – Слуцк возросла от 64,1 до 86,5 %, на участке Осиповичи – Слуцк – от 76,2 до 91,8 %.

Увеличение средней транзитности вагонопотока на направлении Могилев – Слуцк  $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$  составило 18,4 процентного пункта.

Краткая характеристика направления Могилев – Слуцк приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика направления Могилев – Слуцк

| Показатель                                  |                         | Участок             |                   |
|---------------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
|                                             |                         | Могилев – Осиповичи | Осиповичи – Слуцк |
| $n_{\text{общ}}$ , ваг.                     |                         | 379,7               | 546,9             |
| $n_{\text{тр}}$ , ваг.                      | без использования $R_n$ | 243,2               | 416,7             |
|                                             | с использованием $R_n$  | 328,3               | 501,8             |
| $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , %            | без использования $R_n$ | 64,1                | 76,2              |
|                                             | с использованием $R_n$  | 86,5                | 91,8              |
| $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , п. п. | на отдельном участке    | 22,4                | 15,6              |
|                                             | на направлении          | 18,4                |                   |

В таблицах 2–5 приведены аналогичные характеристики для однопутных направлений Лида – Лунинец и Гомель – Лунинец, а также для двухпутных направлений Минск – Брест и Минск – Жлобин.

Таблица 2 – Характеристика направления Лида – Лунинец

| Показатель                                  |                         | Участок           |                      |
|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
|                                             |                         | Лида – Барановичи | Барановичи – Лунинец |
| $n_{\text{общ}}$ , ваг.                     |                         | 200,4             | 273,0                |
| $n_{\text{тр}}$ , ваг.                      | без использования $R_n$ | 125,3             | 168,3                |
|                                             | с использованием $R_n$  | 159,0             | 202,0                |
| $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , %            | без использования $R_n$ | 62,5              | 61,6                 |
|                                             | с использованием $R_n$  | 79,3              | 74,0                 |
| $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , п. п. | на отдельном участке    | 16,8              | 12,4                 |
|                                             | на направлении          | 14,2              |                      |

Таблица 3 – Характеристика направления Гомель – Лунинец

| Показатель                                  |                         | Участок              |                       |
|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
|                                             |                         | Гомель – Калинковичи | Калинковичи – Лунинец |
| $n_{\text{общ}}$ , ваг.                     |                         | 207,6                | 293,2                 |
| $n_{\text{тр}}$ , ваг.                      | без использования $R_n$ | 61,0                 | 64,6                  |
|                                             | с использованием $R_n$  | 100,6                | 104,2                 |
| $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , %            | без использования $R_n$ | 29,4                 | 22,0                  |
|                                             | с использованием $R_n$  | 48,5                 | 35,5                  |
| $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , п. п. | на отдельном участке    | 19,1                 | 13,5                  |
|                                             | на направлении          | 15,8                 |                       |

Таблица 4 – Характеристика направления Минск – Брест

| Показатель                                  |                         | Участок            |                    |
|---------------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
|                                             |                         | Минск – Барановичи | Барановичи – Брест |
| $n_{\text{общ}}$ , ваг.                     |                         | 589,8              | 467,7              |
| $n_{\text{тр}}$ , ваг.                      | без использования $R_n$ | 250,1              | 245,2              |
|                                             | с использованием $R_n$  | 337,4              | 332,5              |
| $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , %            | без использования $R_n$ | 42,4               | 52,4               |
|                                             | с использованием $R_n$  | 57,2               | 71,1               |
| $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , п. п. | на отдельном участке    | 14,8               | 18,7               |
|                                             | на направлении          | 16,5               |                    |

Таблица 5 – Характеристика направления Минск – Жлобин

| Показатель                                  |                         | Участок           |                    |
|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|
|                                             |                         | Минск – Осиповичи | Осиповичи – Жлобин |
| $n_{\text{общ}}$ , ваг.                     |                         | 278,6             | 232,1              |
| $n_{\text{тр}}$ , ваг.                      | без использования $R_n$ | 136,1             | 123,3              |
|                                             | с использованием $R_n$  | 177,6             | 165,2              |
| $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , %            | без использования $R_n$ | 48,7              | 53,7               |
|                                             | с использованием $R_n$  | 63,8              | 71,1               |
| $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ , п. п. | на отдельном участке    | 15,1              | 17,4               |
|                                             | на направлении          | 16,2              |                    |

Данные, приведенные в таблицах 1–5, свидетельствуют о том, что использование в разработке плана формирования синергетического критерия оптимальности с учетом параметра  $R_n$  позволяет повысить транзитность вагонопотока на направлении в среднем на 14–18 %.

В таблицах 6 и 7 приведены сведения о соотношении между средними участковыми скоростями сквозных поездов ( $v_{\text{уч}}^{\text{скв}}$ ) и участковых поездов ( $v_{\text{уч}}^{\text{уч}}$ ) на рассмотренных выше направлениях, среднем времени проследования направления вагоном в составе участкового поезда ( $t_{\text{уч}}^{\text{ваг}}$ ) и сквозного поезда ( $t_{\text{скв}}^{\text{ваг}}$ ), а также среднем времени проследования грузовым вагоном указанных направлений  $t_{\text{ср}}^{\text{ваг}}$  до и после использования в процессе разработки плана формирования поездов синергетического критерия оптимальности с учетом параметра  $R_n$ .

Таблица 6 – Оценка эффекта от применения синергетического критерия оптимальности на однопутных направлениях

| Показатель                          | Направление     |                |                  |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|------------------|
|                                     | Могилев – Слуцк | Лида – Лунинец | Гомель – Лунинец |
| $v_{\text{уч}}^{\text{скв}}$ , км/ч | 48,6            | 48,3           | 43,7             |
| $v_{\text{уч}}^{\text{уч}}$ , км/ч  | 47,2            | 44,4           | 42,8             |

Окончание таблицы 6

| Показатель                | Направление          |                   |                     |
|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
|                           | Могилев –<br>Слуцк   | Лидя –<br>Лунинец | Гомель –<br>Лунинец |
| $\Delta v_{уч}, \%$       | 3,0                  | 8,8               | 2,1                 |
| $t_{скв}^{ваг}, ч$        | 9,01                 | 8,95              | 14,85               |
| $t_{уч}^{ваг}, ч$         | 24,43                | 24,98             | 24,36               |
| $t_{ср}^{ваг}, ч$         | без применения $R_n$ | 13,45             | 15,04               |
|                           | с применением $R_n$  | 10,62             | 12,76               |
| $\Delta t_{ср}^{ваг}, \%$ | 21,1                 | 15,2              | 6,8                 |

Таблица 7 – Оценка эффекта от применения синергетического критерия оптимальности на двухпутных направлениях

| Показатель                | Направление          |                  |
|---------------------------|----------------------|------------------|
|                           | Минск –<br>Жлобин    | Минск –<br>Брест |
| $v_{уч}^{скв}, км/ч$      | 51,8                 | 57,7             |
| $v_{уч}^{уч}, км/ч$       | 49,9                 | 55,3             |
| $\Delta v_{уч}, \%$       | 3,8                  | 4,3              |
| $t_{скв}^{ваг}, ч$        | 8,45                 | 9,64             |
| $t_{уч}^{ваг}, ч$         | 23,88                | 26,02            |
| $t_{ср}^{ваг}, ч$         | без применения $R_n$ | 20,04            |
|                           | с применением $R_n$  | 16,52            |
| $\Delta t_{ср}^{ваг}, \%$ | 17,6                 | 14,7             |

Данные, приведенные в таблицах 6 и 7, свидетельствуют о том, что использование при разработке плана формирования поездов синергетического критерия оп-

тимальности позволяет увеличить транзитность вагонопотока и сократить среднее время проследования вагоном направления на 6–21 %.

Увеличение транзитности вагонопотока, следующего по направлению, позволяет:

- ускорить продвижение вагонопотока как за счет сокращения простоев на технических станциях, так и за счет снижения времени его нахождения на участках;
- повысить сохранность подвижного состава за счет сокращения объема переработки вагонов на сортировочных горках;
- увеличить резерв перерабатывающей способности технических станций за счет снижения загрузки транспортной инфраструктуры.

#### Список литературы

- 1 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге : утв. приказом № 1294НЗ от 30.12.2013. – Минск : Бел. ж.д., 2013. – 320 с.
- 2 Негрей, В. Я. Особенности расчета плана формирования одногруппных поездов в рыночных условиях / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – Т. 77, № 3. – С. 133–140.
- 3 Шкурин, К. М. Оценка эффективности взаимодействия железнодорожных станций и участков при разработке плана формирования одногруппных поездов / К. М. Шкурин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII междунар. науч.-практ. конф., 21–22 нояб. 2024 г., Гомель Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. В 2 ч. Ч. 1, – Гомель, 2024. – С. 69–71.
- 4 Шкурин, К. М. Системный подход к оптимизации плана формирования поездов / К. М. Шкурин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 61–64.

Получено 04.04.2025

**K. M. Shkurin. The use of synergetic criterion of optimality in the development of single-group freight train formation plan.**

The author substantiates the application of synergetic criterion of optimality in the process of developing and optimizing of single-group freight train formation plan, which allows to consider the costs of movement of rolling stock through railway sections. The impact of the use of synergetic criterion of optimality for train formation plan on car flow transitivity and on average time it takes for freight car to pass through the railway direction is assessed.