

УДК 656.222.4

В. Г. КОЗЛОВ, заведующий НИЛ УПП, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ВАГОНОПОТОКОВ НА ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ

Одной из основных задач управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте является организация вагонопотоков в поезда различной категории и пропуск их по направлениям железнодорожной сети. На Белорусской железной дороге, а также на железнодорожных администрациях стран СНГ и Балтии организация множества корреспонденций вагонопотоков осуществляется посредством разработки плана формирования грузовых поездов (ПФП). От выбора варианта реализации ПФП зависят эксплуатационные расходы всех участников перевозочного процесса. Для повышения эффективности перевозочного процесса за счет улучшения системы прогнозирования и планирования перевозок грузов, а также повышения точности и достоверности определения оптимального ПФП разработана технология моделирования пропуска и расчета параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры транспортной железнодорожной сети.

Эффективность перевозок грузов на железнодорожном транспорте находится в зависимости от реализуемой системы организации вагонопотоков в поезда, которая должна обеспечивать минимум суммарных затрат на пропуск заявленного клиентами вагонопотока по инфраструктуре железной дороги. Это может быть достигнуто на основе выполнения оптимального ПФП.

Процедура разработки ПФП на полигоне железной сети предполагает следующую этапность:

- разработка детального плана перевозок грузов;
- выбор расчетного направления (полигона) железнодорожной сети и формирование исходных параметров технического состояния расчетного направления;
- моделирование пропуска и расчет параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры рассматриваемого направления с учетом применения адаптивной системы их оценки при расчете ПФП;
- формирование расчетных таблиц корреспонденций: вагонопотоков специальных маршрутных отправок, вагонопотоков, следующих в грузовых поездах и вагонопотоков, следующих в местных поездах;
- разработка агрегированного графика корреспонденций вагонопотоков между техническими станциями расчетного направления;
- выбор критерия оценки и методики расчета ПФП в зависимости от количества технических станций на расчетном полигоне;
- расчет плана формирования отправительских маршрутов, одногруппных (групповых) поездов, порожних маршрутов, местных поездов;
- анализ выполнения ПФП и его корректировка.

Одновременно с разработкой ПФП осуществляется его согласование с ГДП: выделение корреспонденций вагонопотоков, следующих в поездах по постоянному расписанию, согласование размеров движения поездов с соседними ЖДА, разработка мер по согласованию ниток грузовых поездов различных категорий в ГДП для выполнения ПФП и т. д.

Предложенная технология моделирования пропуска и расчета параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры затрагивает изменение следующих этапов разработки ПФП: детального плана перевозок грузов и расчетных корреспонденций вагонопотоков.

Методика разработки плана перевозок грузов предполагает изменение структуры таблиц плана погрузки с расширением перечня исходных параметров. Существующая структура данных плана погрузки дополняется информацией необходимой для идентификации станции зарождения и погашения планируемого грузопотока. Для разработки общего плана погрузки дороги используется информация о плане погрузки от каждого грузоотправителя, а также отчетные данные о выполненных грузопотоках и вагонопотоках за предыдущий период. На основании отчетных данных определяются (уточняются) станции назначения планируемых корреспонденций грузопотоков, колебания их фактических размеров в течение расчетного периода и выявляются наиболее устойчивые корреспонденции. Далее разрабатываются соответствующие таблицы плана перевозок грузов в вагонах с детализацией по роду подвижного состава и станциям назначения.

Необходимо отметить, что для более наглядного примера приведены расчеты, основанные на трех основных характеристиках корреспонденций вагонопотока: станция зарождения, станция назначения и мощность назначения. В существующей практике и в предложенной методике структура таблицы плана перевозок грузов более развернутая, и каждая корреспонденция вагонопотока характеризуется рядом параметров: мощностью назначения, РПС, грузоподъемность вагона, видом собственности, видом сообщения и др. В зависимости от решаемой задачи план перевозок может состоять из нескольких отдельных таблиц. Например, для агрегирования параметров корреспонденций вагонопотоков с детализацией по РПС, план перевозок грузов состоит из ряда одинаковых по структуре таблиц: крытые, полувагоны, цистерны и др.

После разработки плана перевозок грузов и выбора расчетных направлений осуществляется моделирование пропуска и расчет технологических параметров корреспонденций вагонопотоков на объектах инфраструктуры рассматриваемого железнодорожного направления. Для этого согласно методике [2] определяются маршруты следования корреспонденций вагонопотоков, установленные планом перевозок, и формируется соответствующая таблица векторов оптимальных маршрутов (рисунок 1).

	Минск-Сорт.	Молодечно	Орша	Барановичи-Ц.	Лунинец	Лида	Волковыск	Гродно	Брест-В.	Гомель	Жлобин	Калинковичи	Барбаров	Могилев-2	Осиповичи-1	Слуцк	Кричев-1	Витебск	Полоцк	Новополоцк
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Минск-Сорт.	1	1	1	1	4	2	4	21	4	11	15	11	12	15	1	15	14	3	2	19
Молодечно	2	2	1	1	4	2	21	21	4	11	15	11	12	15	1	15	14	19	2	19
Орша	3	3	1	1	4	2	4	21	4	11	14	11	12	3	14	15	3	3	18	19
Барановичи-Ц.	4	4	1	1	4	4	4	21	4	11	15	5	12	15	16	4	14	3	2	19
Лунинец	5	4	1	1	5	4	4	21	5	12	12	5	12	11	16	4	14	3	2	19
Лида	6	2	6	1	6	4	21	21	4	11	15	5	12	15	1	4	14	19	2	19
Волковыск	7	4	6	1	7	4	21	21	4	11	15	5	12	15	16	4	14	19	2	19
Гродно	8	2	6	1	7	4	21	21	4	11	15	5	12	15	16	4	14	19	2	19
Брест-В.	9	4	1	1	9	9	4	4	21	12	12	5	12	15	16	4	14	3	2	19
Гомель	10	15	1	14	16	12	2	4	21	5	11	10	10	12	11	15	14	3	18	19
Жлобин	11	15	1	14	16	12	2	4	21	5	11	11	12	11	11	15	14	3	18	19
Калинковичи	12	15	1	14	5	12	4	4	21	5	12	12	12	11	11	15	14	3	18	19
Барбаров	13	15	1	14	5	12	4	4	21	5	12	12	13	11	11	15	14	3	18	19
Могилев-2	14	15	1	14	16	12	2	4	21	4	11	14	11	12	14	15	14	3	18	19
Осиповичи-1	15	15	1	14	16	4	2	4	21	4	11	15	11	12	15	15	14	3	2	19
Слуцк	16	15	1	14	16	4	4	4	21	4	11	15	11	12	15	16	14	3	2	19
Кричев-1	17	15	1	17	16	12	2	4	21	4	11	14	11	12	17	14	15	3	18	19
Витебск	18	3	19	18	1	4	2	21	21	4	11	14	11	12	3	14	15	3	18	19
Полоцк	19	2	19	18	1	4	2	21	21	4	11	14	11	12	3	1	15	3	19	19
Новополоцк	20	2	19	18	1	4	2	21	21	4	11	14	11	12	3	1	15	3	19	20

Примечание – Значения ячеек содержат порядковый номер предшествующей станции (столбца) на маршруте следования между соответствующими станциями, указанными в строке и столбце таблицы.

Рисунок 1 – Векторы маршрутов следования корреспонденций вагонопотоков по направлениям железнодорожной сети Белорусской железной дороги

На основании данных рисунка 1 определяется маршрут следования каждой отдельной корреспонденции вагонопотока плана перевозок в виде кортежа станций.

Методика формирования кортежа станций, входящих в маршрут между станциями p и q , на основании таблицы векторов маршрутов R осуществляется в следующем порядке (рисунок 2):

1) в таблице векторов маршрутов R выделяется вектор (r) от станции зарождения корреспонденции, который соответствует строке p таблицы ($r = R_p$);

2) номер конечной станции на маршруте следования корреспонденции q заносится в кортеж станций и выделяется для дальнейшего расчета ($s = q$);

3) определяется номер станции, предшествующий выделенной станции на искомом маршруте следования корреспонденции между станциями p и q , которой соответствует значению ячейки под порядковым номером s вектора маршрутов r (r_s);

4) номер станции r_s добавляется в кортеж станций и выделяется для дальнейшего расчета $s = r_s$;

5) осуществляется проверка на соответствие выделенной для расчета станции s со станцией начала маршрута p , если условие не выполняется, то повторяются все действия алгоритма с третьего пункта;

6) из выделенных в кортеж станций формируется маршрут следования корреспонденции между станциями p и q .

R	1	2	...	q	...	m
1						
2						
:						
p	r_1	r_2		r_q		r_m
:						
n						

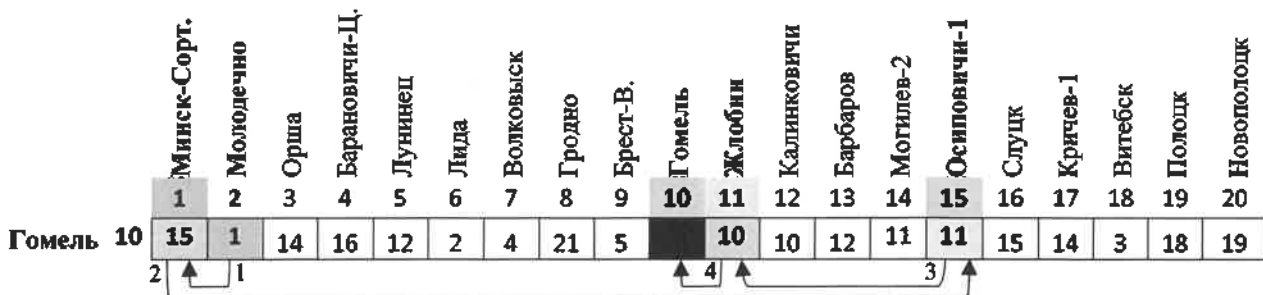
$r = R_p$

R – таблица векторов маршрутов; p – номер станции начала маршрута; q – номер станции окончания маршрута; n – количество станций зарождения вагонопотока (станции погрузки, МГСП); m – количество станций погашения вагонопотока (станции выгрузки, МГСП); r – вектор маршрутов от станции p ; r_q – номер станции, предшествующей станции q , в маршруте до станции p .

Рисунок 2 – Формализация задачи построения кортежа станций с использованием таблицы векторов оптимальных маршрутов

Указанная форма представления оптимальных маршрутов и методика формирования кортежа станций позволяют идентифицировать и агрегировать исходные корреспонденции вагонопотоков на объектах инфраструктуры, а также осуществлять моделирование пропускки и расчет параметров транспортного потока для решения задач ПФП.

Пример формирования кортежа станций маршрута следования корреспонденций вагонопотока между станциями Гомель и Осиповичи приведен на рисунке 3.



Кортеж станций на маршруте Гомель – Молодечно: 2 Молодечно, 1 Минск-Сортировочный, 15 Осиповичи, 11 Жлобин, 10 Гомель.

Рисунок 3 – Пример формирования кортежа станций следования корреспонденции вагонопотока на маршруте Гомель – Молодечно

На рисунке 3 стрелками указана последовательность четырех действий по определению кортежа станций на указанном маршруте следования корреспонденций вагонопотоков.

Для проведения процедуры идентификации и последующего расчета параметров корреспонденций вагонопотоков на отдельном железнодорожном направлении ограниченного станциями S_i и S_j , корреспонденции вагонопотоков условно делятся на 4 категории:

а) корреспонденции вагонопотоков, которые зарождаются на станции S_i и погашаются на станции S_j ,

$$n_a = \{n_{ij}\};$$

б) корреспонденции вагонопотоков, которые следуют из-за станции S_i и погашаются на станции S_j ,

$$n_b = \{n_{pi} : p = \overline{1, \dots, i-1, i+1, \dots, K_s}, r_{pi} = i\};$$

в) корреспонденции вагонопотоков, которые зарождаются на станции S_i и следуют за станцию S_j ,

$$n_c = \{n_{pj} : p = \overline{1, \dots, j-1, j+1, \dots, K_s}, r_{pj} = j\};$$

г) корреспонденции вагонопотоков, которые следуют транзитом по железнодорожному участку, ограниченного станциями S_i и S_j ,

$$n_d = \{n_{pz} : z = \overline{1, \dots, i-1, i+1, \dots, K_s}, p = \overline{1, \dots, p-1, p+1, \dots, K_s}, r_{pz} = j\}.$$

Приведенные категории корреспонденций вагонопотоков делят таблицу плана перевозок на 4 соответствующие области. Представление категорий корреспонденций вагонопотоков между станциями S_i и S_j и их области определения в таблице плана перевозок приведены на рисунке 4.

	S_j			
	г	б	г	г
S_i	в	а	в	в
	г	б	г	г
	г	б	г	г

Рисунок 4 – Структура таблицы плана перевозок с выделенными областями категорий корреспонденций вагонопотоков между станциями S_i и S_j

Необходимо подчеркнуть, что область «а» таблицы плана перевозок однозначно определяет соответствующую категорию вагонопотока, а остальные области «б», «в» и «г» только указывают на потенциально возможные категории корреспонденций вагонопотоков, т. е. определяют область таблицы, в которой может находиться информация о соответствующих корреспонденциях вагонопотоков, но не указывают на них однозначно.

Идентификации категорий корреспонденций вагонопотоков на транспортной сети имеют свою специфику. Каждой категории характерна своя процедура идентификации и методика агрегирования параметров корреспонденций вагонопотоков. Данные методики объединены в общий информационный блок по определению параметров транспортной нагрузки на железнодорожном направлении.

Агрегирование корреспонденций вагонопотоков расчетного железнодорожного направления, ограниченного станциями S_i и S_j в соответствии с выделенными категориями корреспонденций, требует следующих действий:

а) вагонопотоки, следующие из-за станции S_i и погашающиеся на станции S_j :

- выделяются все ячейки в столбце j таблицы векторов маршрутов, значение которых равно i (исключая ячейку в строке i);

- суммируются значения всех ячеек таблицы плана погрузки с соответствующими координатами выделенных ячеек таблицы векторов маршрутов;

б) вагонопотоки, зарождающиеся на станции S_i и следующие за станцию S_j :

- выделяются все ячейки в строке i таблицы векторов маршрутов, значение которых равно j (исключая ячейку в столбце j);

- суммируются значения всех ячеек таблицы плана перевозок с соответствующими координатами выделенных ячеек таблицы векторов маршрутов;

в) вагонопотоки, следующие по участку между станциями S_i и S_j транзитом:

- выделяется строка (вектор) j таблицы векторов маршрутов, в которой есть ячейка со значением i ;

- заносится в регистр номер строки j ;

- выделяются ячейки в соответствующей строке таблицы векторов маршрутов, значение которых равно значению регистра (исключая ячейки строки i и столбца j);

- суммируются значения всех ячеек таблицы плана перевозок с соответствующими координатами выделенных ячеек таблицы векторов маршрутов;

- поочередно заносятся значения выделенных ячеек в регистр, и действия с третьей позиции повторяются;
- повторяются все перечисленные действия, пока есть строка (вектор), удовлетворяющая условию первого пункта.

Расчет параметров корреспонденций вагонопотоков на железнодорожных станциях расчетного полигона осуществляется методом их идентификации и агрегирования исходных корреспонденций вагонопотоков. Процедура агрегирования исходных корреспонденций вагонопотоков, следующих через станцию S_i транзитом, состоит из шести последовательных этапов:

- выделяется вектор R в таблице маршрутов, в котором содержится станция S_i (определяется номер строки таблицы, содержащий ячейку со значением, равным i);
- заносится в регистр порядковый номер столбца ячейки, удовлетворяющей условию первого пункта последовательности, исключая столбец i ;
- выделяются ячейки в векторе маршрутов R , значения которых равно значению регистра;
- суммируются значения ячеек таблицы плана перевозок, соответствующие выделенным ячейкам таблицы векторов маршрутов;
- поочередно заносятся в регистр номера столбцов выделенных ячеек и действия с третьего пункта последовательности повторяются;
- все действия повторяются пока есть вектор, удовлетворяющий условию первого пункта, исключая вектор от станции S_i .

Предложенная технология моделирования пропуска и расчета параметров транспортного потока на объектах инфраструктуры является универсальной и может быть использована для решения ряда задач управления перевозочным процессом. Например, на основании предложенной научно-исследовательской лабораторией «Управление перевозочным процессом» технологии была раз-

работана методика оценки перевозочного потенциала Белорусской железной дороги, которая позволяет на основании прогнозных значений плана перевозок как отдельных грузоотправителей, перевозчиков, так и в целом по дороге осуществлять моделирование пропуска транспортного потока по объектам железнодорожной инфраструктуры.

Список литературы

- 1 Ерофеев, А. А. Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.
- 2 Автоматизация процедуры идентификации сети железнодорожных станций и назначений плана формирования / В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 1 (18). – С. 20–25.
- 3 Козлов, В. Г. Оценка факторов, влияющих на оптимальность плана формирования поездов / В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (31). – С. 60–62.
- 4 Кузнецов, В. Г. Информационное обеспечение задач плана формирования железной дороги / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 61–63.
- 5 Кузнецов, В. Г. Расчет объемов транспортного потока по направлениям железнодорожной сети / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, М. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1. – С. 68–71.
- 6 Петров, А. П. Составление плана формирования поездов на электронных цифровых машинах / А. П. Петров, К. А. Бернгард; под ред. А. П. Петрова. – М.: Трансжелдориздат МПС, 1962.
- 7 Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф; пер. с нем. В. И. Шейко и В. Н. Воскресенского; под ред. Е. П. Нестерова. – М.: Транспорт, 1975. – 343 с.
- 8 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге: утв. приказом № 1294 НЗ от 30.12.2013. – Минск: Бел. ж. д., 2013. – 320 с.
- 9 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов / под ред. П. С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.

Получено 01.06.2020

V. G. Kozlov. Modeling technological parameters of plan traffic cars on the infrastructure of the transport railway network.

One of the main tasks of managing the transportation process in the railway transport is the organization of car-flow in trains of various categories and their passage in the directions of the railway network. On the Belarusian Railway, as well as on the railway administrations of the CIS and Baltic countries, the organization of many correspondence of car flows is carried out through the development freight train formation plan (TFP). The operating costs of all participants in the transportation process depend on the choice of option for the implementation of the TFP and the accuracy of its calculation. Improve the efficiency of the transportation process by improving the forecasting system and planning for the transportation of goods, as well as increasing the accuracy and reliability of determining the optimal TFP, a technology was developed for modeling the parameters of planned core-responses of car flows at the infrastructure of the railway transport network.