

УДК 656.212.5

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, В. Г. КОЗЛОВ, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. Г. БЕКЕШ, заместитель начальника службы перевозок, Белорусская железная дорога, г. Минск*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПРОГНОЗНЫХ ВАГОНОПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ПЛАНА ПОГРУЗКИ ДОРОГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «ДИНАМИЧЕСКАЯ КАРТА»

Процесс формирования расчетных вагонопотоков для определения плана формирования грузовых поездов является весьма трудоемким и осуществляется преимущественно с использованием эталонов распределения, установленных по статистическим данным. Однако данный метод идентификации вагонопотоков не позволяет учитывать динамичные изменения как объемов и структуры грузопотоков, так и маршрутов следования вагонопотоков в железнодорожной сети. Для решения проблемы авторами разработана общая методика обработки данных о плановых (прогнозных) грузопотоках и расчета размеров движения поездов на участках инфраструктуры на перспективу. В методике предлагается использовать ситуационно-аналитическую модель, которая позволяет учитывать динамику изменения характеристик корреспонденций грузопотока. В качестве инструмента для определения прогнозных корреспонденций, вагонопотоков предложено использовать интеллектуальные системы анализа транспортных потоков, базирующихся на применении математических методов программного обучения.

Эффективность работы железнодорожного транспорта при организации перевозок грузов в значительной степени зависит от выбранной системы организации вагонопотоков в поезда потребных категорий и назначений. Поиск оптимальной организации вагонопотоков позволяет решить ряд важных задач: соблюдение нормативного времени доставки грузов и нахождения вагонов на участках инфраструктуры; снижение себестоимости перевозок, повышение производительности локомотивов и вагонов, рациональное использование маневровых средств, сортировочных устройств и путевого развития станций.

Задача выбора оптимального плана формирования (ОПФ) является общесетевой, поэтому администрации железных дорог, участвующие в совместной организации вагонопотоков, ежегодно согласовывают плановые (прогнозные) объемы перевозок и маршруты следования межгосударственных (междорожных) корреспонденций. Согласованные данные используются в дальнейшем при выборе сетевого и внутридорожных ОПФ грузовых поездов, которые корректируется с учетом технических ограничений и наличной пропускной способности объектов инфраструктуры и позволяют установить транспортную нагрузку на станции и участки железнодорожной сети.

Определение ОПФ непосредственно зависит от полноты и достоверности данных о плановых (прогнозных) объемах перевозок – расчетных вагонопотоках. Идентификация и расчет вагонопотоков представляет собой трудоемкий процесс по обработке значительного массива данных о корреспонденциях грузов (по заявкам отправителей) и определение их назначений на полигоне железнодорожной сети. Использование на практике эталонов распределения, полученных на основе обработки отчетных данных, позволяет упростить решение данной задачи, но не учитывает динамику и тенденции изменения объемов грузопотоков на транспортном рынке и маршрутов

следования потоков по участкам железнодорожной инфраструктуры.

Формирование актуальной и достоверной модели расчетных вагонопотоков позволяет снизить потери в эксплуатационной работе, т. к. незначительные колебания мощности корреспонденций изменяют условия выгоды выделения назначений, требуют корректировки ПФ и влияют на затраты на организацию вагонопотоков. Уровень информационных технологий, используемых на железнодорожном транспорте Республики Беларусь, позволяет решать задачи системы организации вагонопотоков методом сетевого моделирования вагонопотока с применением более эффективных информационно-аналитических инструментов, повышающих достоверность плановых (прогнозных) вагонопотоков.

На Белорусской железной дороге создана специальная рабочая группа, которая во взаимодействии с потребителями транспортных услуг осуществляет оперативный мониторинг изменений грузопотоков на участках Белорусской железной дороге. Основной задачей деятельности рабочей группы является прогнозирование транспортной работы на основе государственных и отраслевых планов роста экономики страны, выпуска товарной продукции на предприятиях, ретроспективного анализа изменения транспортного потока по видам сообщения (транзит, экспорт, импорт груза), ситуационного анализа состояния транспортного рынка государств-партнеров.

Для достижения поставленной цели рабочей группой Белорусской железной дороги совместно с сотрудниками Белорусского государственного университета транспорта разработана и предложена общая методика сбора данных о прогнозных грузопотоках и расчета размеров движения поездов на участках инфраструктуры на перспективу. Моделирование объемов поездной работы позволяет дать оценку использования наличной пропускной способности объектов инфраструктуры железной дороги при обосновании мер развития железнодорожного транспорта. В качестве инструмента для определения прогнозных корреспонденций вагонопото-

ков в методике предлагается использовать интеллектуальные системы анализа транспортного потока – комплекс программных средств, в реализации которых применяются математические методы программного обучения.

**Методологические подходы к сбору данных о прогнозных грузопотоках.** Для определения потребной пропускной способности объектов инфраструктуры на перспективу необходимы следующие характеристики прогнозных объемов грузоперевозок:

- станция отправления; основные грузообразующие грузоотправители; род груза;
- станция назначения; страна назначения; регион назначения (железная дорога назначения);
- прогнозные значения объемов перевозок на плановый год и прогнозный период.

Характеристики прогнозных грузоперевозок должны позволять определять маршруты следования каждой корреспонденции по железнодорожной сети. Для этого грузопотоки должны быть представлены в таблице соответствующей формы (таблица 1). При заполнении таблицы учитываются следующие особенности:

1) по возможности указывается станция назначения груза;

2) если станция назначения груза не известна, то в соответствующих графах проставляются прочерки и указывается предполагаемая страна и регион назначения (железная дорога);

3) на станциях, где объем погрузки составляет менее значимого для прогноза значения, формируется отдельная графа "все оставшиеся грузопотоки";

4) в примечании при необходимости указывается наименование новых грузообразующих предприятий и ожидаемый срок ввода их в эксплуатацию (начала эксплуатационной стадии);

5) при планировании перевозки несколькими видами транспорта в графе станция назначения указывается станция перевалки груза.

Отсутствие в плановых (прогнозных) заявках станции назначения увеличивает неопределенность решения задачи. Снижение энтропии может быть достигнуто за счет создания самообучающихся моделей на основе ретроспективного ситуационного анализа перевозки грузов на участках инфраструктуры.

Таблица 1 – Прогноз объемов железнодорожных грузоперевозок

В тысячах тонн

Станция отправления	Основные грузообразующие грузоотправители	Род груза (код груза)	Предполагаемое назначение груза			Прогноз			Примечание	
			Страна	Регион (железная дорога назначения)	Станция назначения	на плановый год	на прогнозный период			
							20..	..		..
Станция 1	A	A.1	Россия	Московская ж.д.	–	$\Gamma_1^{A1}$	$\Gamma_2^{A1}$	$\Gamma_3^{A1}$	$\Gamma_4^{A1}$	
	A	A.2	Литва	Литовская ж.д.	–	$\Gamma_1^{A2}$	$\Gamma_2^{A2}$	$\Gamma_3^{A2}$	$\Gamma_4^{A2}$	
	B	B.1	–	–	Бекасово-Сорт.					
Станция 2										
...										
<b>НОД-1</b>						<b><math>\Sigma</math>(по станциям)</b>				
...										
<b>НОД-6</b>						<b><math>\Sigma</math>(по станциям)</b>				
<b>Дорога</b>						<b><math>\Sigma</math>(НОД)</b>				

**Методологические подходы расчета размеров движения на перспективу.** Для определения корреспонденций прогнозных вагонопотоков на основе данных погрузки используется автоматизированная система организации вагонопотоков (АСОВ): подсистема «Динамическая карта» (АС ДК). Средствами АС ДК, на основе данных исполненных вагонопотоков за предыдущий период, производится формирование исходной базы маршрутов устойчивых корреспонденций, осуществляется моделирование возможных корреспонденций планируемой погрузки, производится процесс распределение корреспонденций в железно-

рожной сети, а затем данные агрегируют по участкам и техническим станциям железнодорожных направлений сети. Моделирование проводится с учетом этапной трансформации транспортного потока: грузопотоки – вагонопотоки – поездопотоки. В качестве выходных решений формируются расчетные вагонопотоки, необходимые для расчета ПФ, и потребные размеры движения, необходимые для освоения планового (прогнозного) вагонопотока на перспективу. Функциональная схема формирования прогнозных корреспонденций с применением АС ДК приведена на рисунке 1.

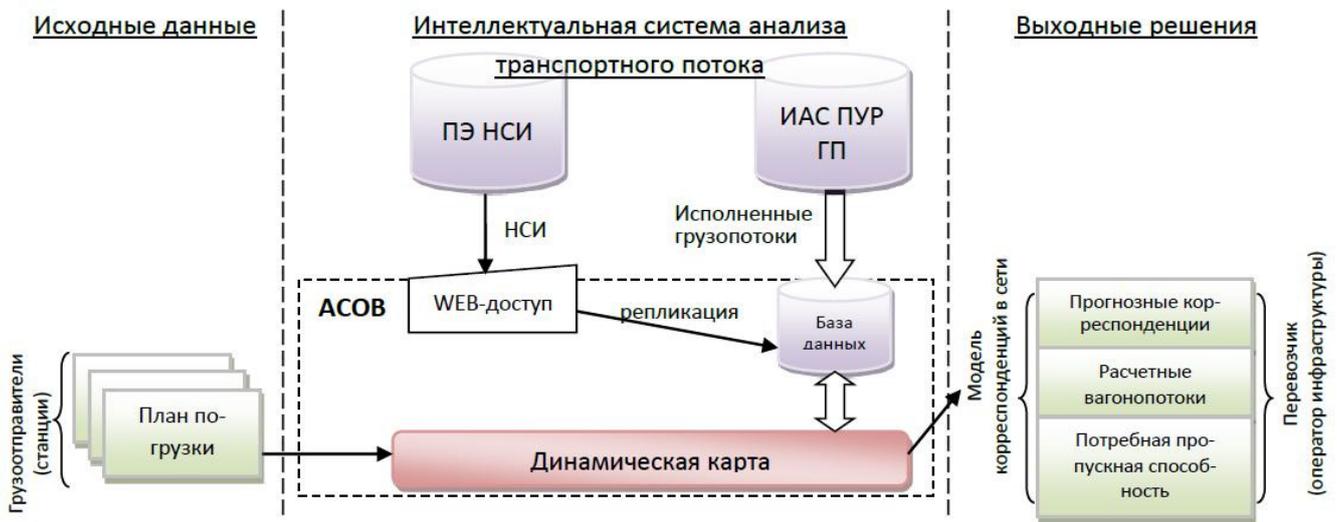


Рисунок 1 – Функциональная схема формирования прогнозных корреспонденций с применением АС «Динамическая карта»

Для реализации указанных возможностей по прогнозированию корреспонденций в АС ДК используется математическая модель искусственной нейронной сети и математические методы ее обучения. Структура нейронной сети разработана с учетом топологии железнодорожной инфраструктуры и параметров грузопотока необходимых для прогнозирования корреспонденций (рисунок 2).

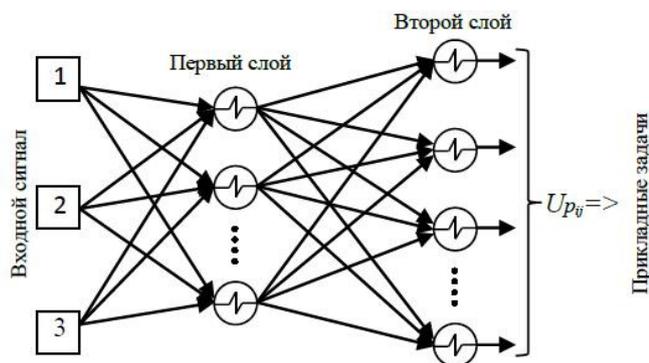


Рисунок 2 – Нейронная сеть для определения прогнозных корреспонденций

На первом этапе прогнозирования производится процесс обучения нейронной сети данными исполненных грузопотоков за предыдущий период времени. Для этого из вагонной модели ИАС ПУР ГП формируются ежесуточные выходные решения о выполненных грузопотоках за отчетные сутки и передаются в базу данных АС ДК. Данные содержат основную и дополнительную информацию. К основной информации относятся: код станции зарождения потока; код станции погашения потока, род груза (код груза) и размер грузопотока. К дополнительной информации относится информация, уточняющая характеристики грузопотока: страна и дорога назначения, код стыковых пунктов перехода перевозки по БЧ, код вида перевозки, код отправки и код вагона. После идентификации данных о грузопотоках методом программного обучения системы устанавливаются характерные веса нейронов для сложившейся

структуры транспортного потока, коэффициенты связей между нейронами и мощности грузопотока.

На втором этапе в нейронную сеть подается информация о прогнозных объемах железнодорожных грузоперевозок с установленными первичными параметрами грузопотока (см. таблицу 1). В первом слое нейронов при неполной информации об образовании грузопотока определяется прогнозная станция погрузки груза согласно установленным весам нейронов. Во втором слое нейронов определяется станция назначения грузопотока, характерная для данной станции погрузки и параметрам грузопотока. В результате на выходе из нейронной сети формируются соответствующие прогнозные корреспонденции. На этапе моделирования маршрутных назначений грузопотоков также происходит процесс обучения нейронной сети с использованием плановых (прогнозных) данных, в которых указаны данные о станции погрузки, станции (страна, дорога) выгрузки и вес груза.

На третьем этапе полученные корреспонденции агрегируют по железнодорожным направлениям для определения расчетных вагонопотоков между железнодорожными станциями (выделенными для расчета ПФ). По установленным вагонопотокам определяются потребное число грузовых поездов и потребная пропускная способность объектов железнодорожной инфраструктуры.

Описание порядка расчета и алгоритмов определения маршрута следования корреспонденции и агрегирования вагонопотоков на железнодорожной сети приведены в статье [5].

#### Выводы:

1 Расчет плановых (прогнозных) значений грузопотока на участках железнодорожной инфраструктуры является важным инструментом решения сложных эксплуатационных задач: плана формирования, организации поездной работы, оценки пропускных способностей.

2 Повышение достоверности и точности данных о грузопотоках может быть достигнуто путем реализации

в АС ДК математической модели искусственной нейронной сети.

3 Для реализации моделей в АС ДК необходима структурированная входная информация от грузоотправителей, станций или иных источников, а также использование ИАС ПУР ГП и других информационных систем, объединенных совокупностью специальных средств.

4 Расширение функциональных возможностей АС ДК позволяет увеличить достоверность решения задач ПФ с помощью автоматизированной системы организации вагонопотоков (АСОВ).

5. Задачи системы организации вагонопотоков целесообразно решать с использованием средств современных интеллектуальных транспортных систем.

Получено 10.10.2016

**V. G. Kuznechov, V. G. Kozlov, V. G. Bekesh.** Definition of correspondence forecast traffic volumes on the basis of plans loading the road with the use of automated system “dynamic maps”.

The process of forming the estimated traffic volumes to determine the plan of formation of freight trains is very labor intensive and carried out mainly by using distribution standards established by statistical data. However, this method of identifying traffic volumes can not take into account the dynamic changes in both the volume and structure of freight flows and routes of traffic volumes in the rail network. To solve this problem the authors have developed a general method of data about planned (forecast) traffic and calculating the size of trains in the areas of infrastructure for the future. The methodology proposed to use situationally-analytical model that takes into account the dynamics of changes in the characteristics of correspondence traffic. As a tool for determining the predicted traffic volumes of correspondence is proposed to use intelligent systems analysis of traffic flows based on the application of mathematical methods of learning software.

## Список литературы

1 **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. – 234 с.

2 **Кузнецов, В. Г.** Оценка использования аналитических методов расчета плана формирования однопутных грузовых поездов / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2013. – № 1. – С. 49–51.

3 **Красиков, И. В.** Алгоритмы: Построение и анализ / под ред. И. В. Красикова – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 1296 с.

4 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 542 с.

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.