

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАГОНПОТОКОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНЫХ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ ИХ НЕОДНОРОДНОСТИ

Подорин А.А., Щепанов С.Л., Рубцов Д.В.

Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ»),
Россия, г. Москва ул. Новорязанская д.24

podorin@iedt.com.rzd, shepanovsl@iedt.com.rzd, rubtsov@iedt.com.rzd

Аннотация: Представлены результаты развития методов и алгоритмов сбора данных о фактических корреспонденциях вагонов в грузовом движении, расчёта прогнозируемых корреспонденций вагонов и моделирования вагонопотоков на железнодорожной сети. Показано применение результатов исследований в составе единого программного комплекса оценки загруженности инфраструктуры железнодорожной сети в статическом режиме.

Ключевые слова: статический анализ загруженности инфраструктуры, прогнозирование вагонопотоков, фактические корреспонденции вагонов.

Введение

В рамках выполнения прогнозирования и планирования перевозочного процесса на краткосрочную и среднесрочную перспективу на отечественном железнодорожном транспорте применяются различные программные комплексы, однако в основе всегда лежит информация о плановых объемах перевозок, представляемых в виде корреспонденций с разным уровнем детализации. Моделирование плановых вагонопотоков является комплексной задачей, позволяющей определить узкие места инфраструктуры сети, а также проводить оценку методов их устранения.

Однако, зачастую используемая для прогнозирования информация не имеет достаточной детализации, а также необходимого уровня достоверности. Основной проблемой сбора и анализа информации является неполноценность и частичная противоречивость данных о грузовых операциях с вагонами в различных системах, а также рассинхронизация информации с базами данных о поездных и вагонных операциях на железнодорожном транспорте.

Для решения данной задачи применяется построение комбинированных моделей на основе нескольких источников информации и добавление особых условий обработки для формирования целостной модели данных.

1 Анализ исходных данных для разработки модели ретроспективных данных о корреспонденциях грузовых перевозок

Исходными данными для формирования модели исполненных корреспонденций грузовых перевозок являются грузовые операции с вагонами. Погрузка и выгрузка вагонов регистрируются в базах данных ОАО «РЖД». На основании этих данных можно собрать информацию о корреспонденциях, оформленных к перевозке за отчётный период. Классический пример жизненного цикла корреспонденции представлен (рисунок 1).

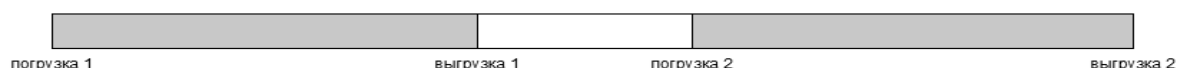


Рис. 1. Жизненный цикл вагонных корреспонденций во внутрироссийском сообщении

При наличии полной информации обо всех операциях погрузки и выгрузки грузовые и порожние корреспонденции формируются последовательно по цепочкам операций. Для формирования гружёных рейсов необходимо объединить последовательные операции погрузки и выгрузки, а для порожних – последовательные выгрузки и погрузки. Для учёта сдвоенных операций выгрузки или погрузки выполняется анализ веса и рода груза, так при их изменении система фиксирует начало нового рейса в соответствующем состоянии.

В ряде используемых источников информации встречаются ситуации, когда отсутствуют данные об одной из операций, например, погрузки или выгрузки. Это вызвано как объективными причинами

– вагон направляется в другие страны, операции выгрузки происходят вне зоны действия автоматизированных систем ОАО «РЖД». В таком случае фиксируются операции сдачи за границу, однако достаточно часто встречаются ситуации, когда операции погрузки или выгрузки не фиксируются без каких-либо видимых причин. В таких случаях, для формирования целостной модели производится анализ другого источника данных - хранилища вагонных операций. В основном проблема потери части информации о грузовых операциях затрагивает выгрузку, поэтому для обеспечения целостности модели используется информация о станции назначения, которая получена из операции погрузки вагона, которая принимается за станцию начала порожнего рейса (рисунок 2).



Рис. 2. Определение цепочки операций при отсутствии данных о выгрузке

В ситуации, когда вагон поступает из другой страны, информация о наличии грузовой операции отсутствует, и для формирования целостной модели данных о корреспонденциях создается дополнительная запись о рейсе с началом на станции межгосударственного стыкового пункта приема. Станция назначения, то есть условная станция конца рейса принимается на основе реквизитов вагонной модели по операции приёма по стыку (рисунок 3).

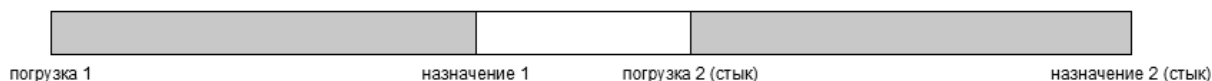


Рис. 3. Определение цепочки операций при отсутствии данных о погрузке на территории других железнодорожных администраций

Кроме решения задачи дополнения отсутствующей информации для задач планирования требуется решать задачу условной адресации порожних вагонов. В связи с приватизацией вагонного парка и отсутствием заранее согласованного плана перевозок порожних вагонов, а также с учетом необязательности использования универсальных вагонов под погрузку в регионах выгрузки – планирование порожних рейсов является сложнейшей задачей, решение которой в настоящее время предлагается осуществлять на основе статистической информации.

Однако существует отдельная категория порожних рейсов, когда отправитель порожнего подвижного состава заключает договора с перевозчиком на формирование специализированных маршрутов. В таких случаях ретроспективные данные в необработанном виде использовать не представляется возможным из-за низкой сходимости с реальным исполнением.

Для решения данной задачи формируется управляемая таблица нормативно-справочной информации, составляемая в соответствии с предоставляемыми отправителями порожнего подвижного состава информация. Вспомогательное НСИ описывает долю от высвобождаемых порожних вагонов, следующих по маршрутизированной технологии. Таким образом в результате формируется дополнительный порожний рейс внутри жизненного цикла, который имитирует работу станционного маршрута.

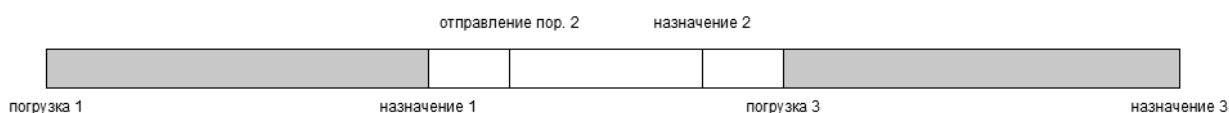


Рис. 4. Определение цепочки операций для маршрутизируемых порожних вагонов

В итоге для сбора полноценной модели исполненных корреспонденций в качестве источников информации выступают модели данных о поездных, вагонных и грузовых операциях одновременно.

2 Разработка алгоритма прогнозирования плановых корреспонденций

Прогнозирование использования и загрузки железнодорожной инфраструктуры требует использования в качестве исходных данных перспективных корреспонденций, однако их уровень детализации представляет собой такие реквизиты, как:

- железная дорога отправления;
- железная дорога назначения;
- род груза;
- число вагонов.

Для построения подробной прогнозной модели данной информации недостаточно и для решения поставленной задачи используются уже доработанные исполненные корреспонденции (см. раздел 1), так как их детализация до уровня «станция отправления» - «станция назначения» достаточно. Таким образом плановые корреспонденции в детализации «железная дорога отправления» - «железная дорога назначения» преобразуются в новую модель данных о плановых корреспонденциях в детализации «станция отправления» - «станция назначения» через эталонные процентные коэффициенты.

Значение коэффициентов определяются для каждого сочетания станций отправления и назначения и родов груза. Укрупненный алгоритм расчета представлен на рисунке 5.



Рис. 5. Алгоритм расчёт прогнозных грузёных потоков станция-станция

Для определения коэффициентов необходимо на основании фактических данных получить процентное соотношение потоков станция-станция в рамках пары дорога-дорога по формуле (1).

$$k_{ij} = N_{ij} / N\sum_{kl} \quad (1)$$

где

k_{ij} – часть потока между станциями $i - j$ относительно общего потока дорог $k - l$

N_{ij} – вагонопоток между станциями $i - j$

$N\sum_{kl}$ – суммарный вагонопоток между дорогами $k - l$

k – дорога принадлежности станции i

l – дорога принадлежности станции j .

После получения прогнозных грузёных потоков между станциями требуется рассчитать прогнозные порожние потоки между станциями. Данные потоки нельзя рассчитывать аналогично грузёным потокам по следующим причинам:

- в прогнозируемых потоках дорога-дорога отсутствуют порожние корреспонденции;
- порожние корреспонденции могут изменяться нелинейно относительно грузёных потоков станция-станция из-за наличия сдвоенных операций и перенаправления порожних вагонов.

Для расчёта порожнего потока станция-станция определяется коэффициент порожнего потока относительно грузового потока по дороге формирования/назначения и роду подвижного состава в исходных фактических потоках станция-станция (рисунок 6).

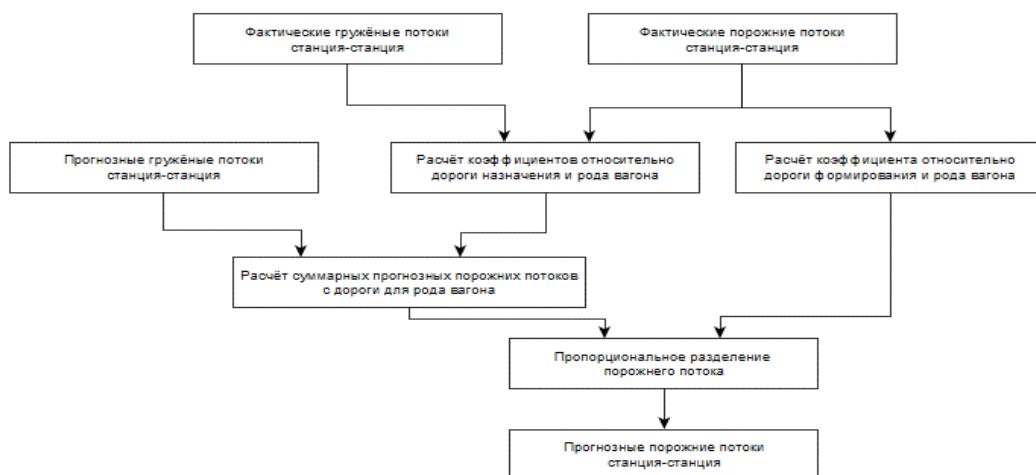


Рис. 6. Алгоритм расчёта прогнозных порожних потоков станция-станция

Коэффициент относительно дороги назначения/формирования и рода вагона рассчитывается по формуле(2).

$$k_{пор.kr} = N_{гр.kr} / N_{пор.kr1} \quad (2)$$

где

$N_{гр.kr}$ – суммарный грузёный поток на дорогу k рода вагона r

$N_{пор.kr1}$ – суммарный порожний поток с дороги k рода вагона r

k – дорога назначения для грузовых потоков и формирования для порожних потоков

r – род вагона

Используя данный коэффициент рассчитывается суммарный порожний поток с дороги для рода вагона по формуле (3)

$$N_{пор.kr} = k_{пор.kr} * N_{гр.kr} \quad (3)$$

где

$N_{пор.kr}$ – прогнозный порожний поток с дороги k рода вагона r

$N_{гр.kr}$ – прогнозный грузёный поток на дорогу k рода вагона r

Расчетный суммарный прогнозный порожний поток разделяется между существующими фактическими потоками станция-станция аналогично порожним потокам.

В результате расчёта прогнозных потоков станция-станция данным способом позволяет получить грузёные потоки, которые учитывают плановое изменение потоков между дорогами и характер движения данных грузёных потоков, и порожние потоки, которые учитывают сдвоенные операции и род используемых вагонов.

3 Моделирование загрузки инфраструктуры на основе плановых данных о корреспонденциях грузовых перевозок

Моделирование вагонопотоков используется для определения текущих и прогнозных узких мест сетевой инфраструктуры (рисунок 7). Решение задачи производится на среднесуточных вагонопотоках.

В рамках расчёта определяется соответствие каждого потока установленному плану формирования грузовых поездов и маршрутов назначению или пути следования. В первую очередь моделирование загрузки инфраструктуры осуществляется для корреспонденций, подходящих под условия выполнения перевозок маршрутными поездами, далее остальные вагонопотоки прокладываются по плану формирования – определяется последовательность назначений поездов по плану формирования и на их основании строится полный путь следования данного потока.

При моделировании выполняются расчёты технологических показателей таких как загрузка пропускной способности перегонов, междорожных стыковых пунктов, станций. На основании

результатов моделирования принимаются решения об изменении технологии и возможном развитии инфраструктуры.

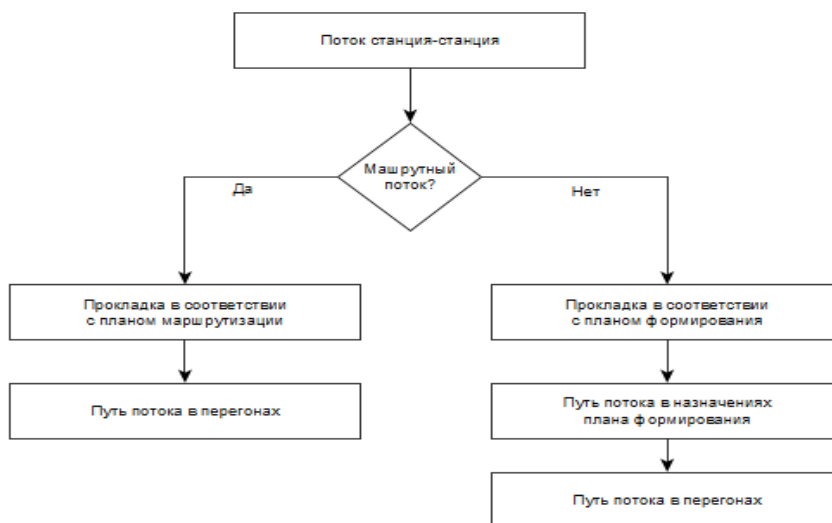


Рис. 7. Алгоритм прокладки потока станция-станция

Заключение

Выполнение качественного и достоверного прогнозно-планирующего моделирования требует тщательной подготовки исходных данных, и в условиях наличия высокой неоднородности, а также ситуаций противоречивости или потерь данных в качестве одного из эффективных и апробированных решений предлагается применять синхронизацию плановых и исполненных данных. В перспективе предполагается использовать предложенные подходы вкупе с технологиями машинного обучения, что позволит повышать точность прогноза, а также ориентироваться не только на заранее сформулированные и выявленные правила вычисления, но и формировать их в процессе обучения системы.

Литература

1. Бородин А.Ф., Панин В.В., Лаханкин Е.А., Пояркова М.А. Алгоритмы разработки плановой «шахматки» вагонопотоков в разрезе «станция – станция» и её применение при планировании и анализе эксплуатационной работы. - Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018). Труды седьмой научно-технической конференции. 2018. С. 75-79.
2. Панин В.В., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В. Актуальные направления автоматизации задач управления и контроля исполнения технологии организации вагонопотоков. - Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018). Труды седьмой научно-технической конференции. 2018. С. 44-47.
3. Бородин А.Ф., Панин В.В., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В., Лазарева Е.Н. – Технология автоматизированного планирования и управления маршрутными перевозками. - Железнодорожный транспорт. 2018. № 3. С. 8-15.
4. Бородин А.Ф. – Новые инструктивные указания по организации вагонопотоков. - Железнодорожный транспорт. 2007. № 10. С. 24-28.
5. Батурич А.П., Бородин А.Ф., Панин В.В. – Организация вагонопотоков в одногруппные поезда - Мир транспорта. 2010. Т. 8. № 5 (33). С. 72-77.