

А. А. ЕРОФЕЕВ (Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь)

## ПОВЫШЕНИЕ ТРАНЗИТНОСТИ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ

Розглянуті напрями оптимізації системи поїздоутворення. Встановлені параметри, що характеризують транзитність при постановці завдання збільшення дальності призначення. Виділені завдання підвищення транзитності для станційного рівня. Розглянута методика визначення потенціалу транзитності для лінійного полігону. Приведений граф варіантів формування потягів підвищеної транзитності та наведений його опис. Як критерії ефективності, що дозволяють проводити порівняння різних варіантів утворення потягів, пропонується використовувати термін доставки кореспонденцій до станцій призначення і витрати на просування кореспонденцій від станції поїздоутворення до станції призначення. Розглянуті варіанти формування призначень. Приведені можливі варіанти поєднання кореспонденцій в призначення. Встановлені ті обмеження, що накладаються на варіанти поїздоутворення: час на просування кореспонденцій і максимальне число призначень, які можуть одночасно накопичуватися на станції.

Рассмотрены направления оптимизации системы поездообразования. Установлены параметры, характеризующие транзитность при постановке задачи увеличения дальности назначений. Выделены задачи повышения транзитности для станционного уровня. Рассмотрена методика определения потенциала транзитности для линейного полигона. Приведен граф вариантов формирования поездов повышенной транзитности и дано его описание. В качестве критериев эффективности, позволяющих производить сравнение различных вариантов образования поездов, предлагается использовать срок доставки корреспонденций до станций назначения и затраты на продвижения корреспонденций от станции поездообразования до станции назначения. Рассмотрены варианты формирования назначений. Приведены возможные варианты сочетания корреспонденций в назначения. Установлены накладываемые на варианты поездообразования ограничения: время на продвижения корреспонденций и максимальное число назначений, которые могут одновременно накапливаться на станции.

Directions of optimization of train formation system are considered. The parameters describing transit traffic at statement of a problem of increase of range of purposes are established. Problems of increase of transit traffic for a station level are allocated. The technique of definition of potential transit traffic for linear range is considered. It is given a number of variants of train formation raising the transit traffic and its description is given. As criteria efficacy allowing to make comparison of various variants of train formation, it is offered to use term of delivery of correspondence to stations of destination and an expenses for delivery of correspondence from stations of train formation to stations of destination. Variants of formation of purposes are considered. Possible variants of a combination of correspondence in purposes are given. It is established superposable restrictions on variants of train formation: time for delivery of correspondence and the maximal number of purposes that simultaneously can be collected at the station.

### 1. Введение

Оптимизация системы поездообразования возможна в двух основных направлениях:

1. Оптимизация массы  $Q$  и длины  $m$  поездов с учетом затрат на их накопление, формирование, продвижение и переработку на технических станциях полигона:

$$E = f(Q, m) \rightarrow \min. \quad (1)$$

2. Оптимизация количества и дальности формируемых сквозных назначений для различных параметров нагрузки на транспортную систему:

$$E = f(N, K) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Оба этих направления взаимосвязаны. Увеличение дальности формируемых назначений приводит к сокращению затрат времени и ресурсов при пропуске корреспонденций транзитом через технические станции, но ведет к увеличению продолжительности накопления вагонов на состав. И наоборот, на время нахождения вагонов под накоплением можно влиять путем корректировки массы и длины поезда.

### 2. Потенциал транзитности в системе поездообразования

Первоочередной задачей системы поездообразования следует считать реализацию потенциала транзитности, который имеется на стан-

циях формирования поездов.

Транзитность при постановке задачи увеличения дальности назначений в системе поездообразования характеризуется следующими параметрами:

- дальность  $L_{pq}$  (расстояние следования  $i$ -ой корреспонденции без переработки от станции образования  $p$  до станции назначения  $q$ );
- число технических станций, которые  $i$ -ая корреспонденция проходит в поездах без переработки  $k_{pq}$ .

**Потенциал транзитности** – это та доля разницы между величиной дальности корреспонденций и дальности следования поездов, сформированных их этих корреспонденций согласно плана формирования поездов, которую с учетом транспортных ограничений (пропускной способности участков, перерабатывающей способности станционных комплексов) можно реализовать за счет сокращения количества переработок в пути следования.

Задача повышения транзитности для станционного уровня заключается в том, чтобы:

1) определить имеющийся потенциал транзитности вагонотока, перерабатываемого на станции;

2) установить, в какой мере можно использовать этот потенциал для увеличения транзитности вагонотока с учетом перерабатывающей способности станции;

3) определить перечень управляющих решений, которые позволят в соответствии с рассчитанным потенциалом сформировать транзитные назначения.

### 3. Определение потенциала транзитности

Для расчетов потенциала транзитности в системе поездообразования определим понятие «уровень транзитности». Потенциал транзитности, который может быть реализован в системе поездообразования, зависит в том числе и от плана формирования. Если сформированное на станции новое назначение проходит без переработки одну станцию, такое назначение будем называть **назначением первого уровня транзитности**, а станцию которую оно проследовало без переработки – **транзитной станцией первого уровня**. Если назначение проходит две станции – назначение транзитности второго уровня и станции соответственно первого и второго уровня транзитности.

Станцией второго и большего уровня транзитности не обязательно будет последующая

техническая станция рассматриваемого направления. **Транзитной станцией  $i$ -го уровня** будем называть такую станцию, на которую должно следовать сформированное транзитное назначение в соответствии с планом формирования для  $(i-1)$  станции направления, но которую сформированный поезд может проследовать без переработки. Таким образом, потенциал транзитности будет зависеть не только от плана формирования начальной станции, но и от плана формирования всех станций, участвующих в переработке рассматриваемого вагонотока.

Определение потенциала транзитности и выбор оптимального плана поездообразования целесообразно производить при помощи графа назначений (рис. 1).

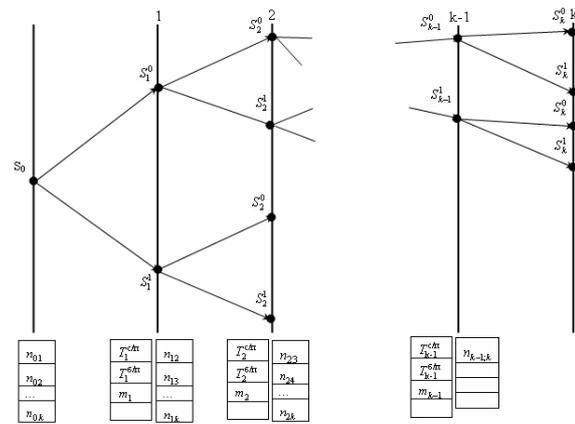


Рис. 1. Граф вариантов формирования поездов повышенной транзитности

Граф вариантов поездообразования описывает одно направление полигона и состоит из  $k$  осей. Если сформированное назначение проследует первую ось графа без переработки, такое назначение будем называть транзитным назначением первого уровня. Соответственно, если сформированный поезд проследует станции от 1-й до  $k$ -й без переработки, будем называть такое назначение назначением  $k-1$  уровня. Количество осей  $k$  определяется числом станций, на которых исходный вагоноток проходит переработку на рассматриваемом направлении. Для различных направлений максимальный уровень транзитности будет различным. На графе количество осей  $k$  должно соответствовать максимальному уровню транзитности.

Вершинами графа являются технические станции  $S_i$ , которые вагоноток в соответствии с существующим планом формирования проходит с переработкой либо без переработки.

Если вагонопоток следует через станцию  $i$  без переработки, окончанием ребра графа будет вершина  $S_i^0$ . Если с переработкой – соответственно вершина  $S_i^1$ . Вершины графа определяются планом формирования станций, входящих в рассматриваемое направление.

Для каждой их станций графа определяются затраты на пропуск вагонопотока с переработкой или без переработки. В общем случае к таким затратам относятся простой транзитного вагона на станции с переработкой  $T_{c/n}^i$  и без переработки  $T_{б/п}^i$ . Тогда экономия от проследования одного вагона без переработки через станцию  $S_i$  составит  $\Delta T_i = T_{c/n}^i - T_{б/п}^i$ .

Потенциал транзитности зависит от мощности назначений, которые могут проследовать станцию  $S_i$  без переработки. Соответственно, суммарная мощность возможных транзитных назначений  $\sum n_{i,i+1}$ , которые проследуют станцию  $S_i$  будет потенциалом транзитности.

Вершины графа соединены между собой ребрами. Совокупность последовательно связанных ребер, начальной вершиной которой является  $S_p^1$ , а конечной  $S_q^1$  описывают назначение  $n_{pq}$ . Назначение характеризуется станцией отправления  $S_p$ , станцией назначения  $S_q$  и мощностью  $n_{pq}$ . Количество станций, которые данное назначение проходит без переработки, определяется числом вершин  $S_i^0$  и называется уровнем транзитности.

Определенный с помощью графа потенциал может быть реализован или не реализован. Если в системе поездообразования транзитное назначение  $n_i$  от станции  $S$  до  $S_i$  было выделено в самостоятельное, будем называть его реализованным. Если выделение назначения в самостоятельное назначения нецелесообразно, будем называть потенциал транзитности нереализованным (но это не означает что потенциал отсутствует).

В соответствии с графом вариантов поездообразования расчет проводится начиная с наиболее дальней струи, станцией назначения которой находится на  $k$ -ой оси. Уровень транзитности такой струи будет составлять  $(k-1)$ . Мощность струи назначением на станцию  $S_k$  будет определяться количеством вагонов, участвующих в процедуре планирования поездообразования на станции  $S_0$  и следующих на

значением на станцию  $S_k$ , т. е.  $n_{0k}$ .

Современные подходы к решению задачи оптимизации системы поездообразования предлагают использовать два критерия: срок доставки и приведенные затраты на передвижение корреспонденций. Сокращение срока доставки можно достигнуть за счет формирования поездов повышенной транзитности, что в некоторых случаях сопряжено с увеличением затрат на накопление состава, следовательно максимальное ускорение перевозки требует, в том числе, и сокращения длины состава.

**Срок доставки** грузов является ведущим логистическим показателем качества работы транспорта, его конкурентоспособности. Его соблюдение является первостепенным фактором, который должен учитываться в системе поездообразования.

Вариант поездообразования считается приемлемым и может рассматриваться как конкурентоспособный в технико-экономических расчетах, если для всех корреспонденций  $\{n_{ij}\}$ , участвующих в поездообразовании на станции  $S$ , справедливо выражение

$$P\{\max T_{\text{техн}}^{s:j} \leq T_{\text{ю}}^{i:j} - T_{\text{факт}}^{i:s}\} \rightarrow 1, \quad (3)$$

то есть вероятность непревышения нормативного (юридического) срока доставки в соответствии с выбранной технологией поездообразования стремится к единице. Временной критерий участвует в расчетах как основное технологическое ограничение.

В качестве определяющего выступает экономический критерий. При определении оптимального варианта продвижения корреспонденций важно учесть все затраты, связанные с процессом поездообразования. В применяемой в настоящее время методике организации вагонопотоков как оптимальный план формирования, так и оптимальный вариант поездообразования должны обеспечивать минимальные затраты вагоно-часов на накопление и переработку. При этом подразумевается, что через вагоно-часы можно выразить приведенные денежные затраты. Но, по мнению ряда специалистов, существующий критерий оптимизации выражает не более 10 % всех эксплуатационных расходов и 7 % затрат на основные производственные фонды [29].

В связи с этим предлагается использовать стоимостной критерий, рассчитываемый по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_{\text{след}} - \Delta E_{\text{нак}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{ман}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{пер}} +$$

$$+\Delta\mathcal{E}_{\text{охр}} + \Delta\mathcal{E}_{\text{шт}} - \Delta E_{\text{ож}} \rightarrow \max, (4)$$

где  $\Delta\mathcal{E}_{\text{след}}$  – экономия, возникающая при проследовании технических станций без переработки;  $\Delta E_{\text{нак}}$  – дополнительные затраты, связанные с накоплением на станции поездообразования;  $\Delta\mathcal{E}_{\text{ман}}$  – экономия затрат на маневровые передвижения на технических станциях;  $\Delta\mathcal{E}_{\text{пер}}$  – экономия затрат поездных локомотивочасов и бригадо-часов за счет сокращения количества перецепок поездных локомотивов;  $\Delta\mathcal{E}_{\text{охр}}$  – экономия от сокращения потребного количества нарядов военизированной охраны;  $\Delta\mathcal{E}_{\text{шт}}$  – сокращение выплат за несвоевременный возврат собственных вагонов их владельцами и за несвоевременную доставку грузов;  $\Delta E_{\text{ож}}$  – дополнительные затраты, связанные с переносом отправления поезда на более позднюю нитку графика, отправлением локомотива резервом, отправлением бригады пассажирами, отменой поездки бригады.

Экономическая оценка варианта поездообразования  $\mathcal{E}_{\text{вар}}$  определяется путем суммирования значений  $\Delta\mathcal{E}_{\text{след}}, \Delta\mathcal{E}_{\text{ман}}, \Delta\mathcal{E}_{\text{пер}}$ , по корреспонденциям  $\{n_{ij}\}$ , участвующим в поездообразовании станций полигона планирования, и значений  $\Delta E_{\text{нак}}, \Delta\mathcal{E}_{\text{охр}}, \Delta\mathcal{E}_{\text{шт}}, \Delta E_{\text{ож}}$ , определяемых в общем для рассматриваемого варианта.

Для струи с максимальным уровнем транзитности производится проверка условия на выделение в самостоятельное назначение. Если условие (4) не выполняется (целевая функция приобретает отрицательное значение), потенциал транзитности струи  $n_{0k}$  относительно станции  $S_{k-1}$  будем считать нереализованным. Такая струя может усилить транзитное назначение  $(k-2)$ -го уровня транзитности. Далее расчет выполняется для остальных струй  $(k-1)$ -го уровня транзитности, относительно станции  $S_{0;k-1}$ .

Совокупность струй  $\sum n'_{k-1}$ , не выделенных в самостоятельные назначения совместно со струями  $n_{k-1}$  образуют потенциал транзитности  $(k-2)$ -го уровня (относительно станции  $S_{k-2}$ ). Мощность транзитных назначений  $(k-2)$ -го уровня составит

$$N_{k-1} = x_{k-1} + \sum x'_k. (5)$$

Расчеты по определению потенциала транзитности и эффективности формирования сквозных назначений производятся до тех пор, пока не будут рассмотрены все варианты графа поездообразования транзитных поездов.

Приведенный на рис. 1 граф отображает варианты продвижения корреспонденций конкретного назначения. При этом учитываются затраты на формирование назначения повышенной транзитности без установления всего перечня назначений системы поездообразования. Данный граф не дает представления о возможных сочетаниях формируемых назначений, не отражает суммарной мощности назначений и позволяет проводить сравнение ограниченного числа вариантов формирования назначений повышенной транзитности.

Тем не менее данный граф дает возможность провести расчет эффективности выделения транзитного назначения по сравнению с исходным. В случае, если выделение данного назначения эффективно – предлагаемый план поездообразования может быть принят за исходный и расчетные значения по вновь выделяемым транзитным назначениям сравниваются уже со скорректированным значением.

#### 4. Варианты формирования назначений на станционном уровне

Выделение назначения повышенной транзитности влияет не только на затраты на накопление, но и может привести к необходимости корректировки плана формирования для выделенной станции.

Для примера рассмотрим возможные варианты формирования назначений повышенной транзитности для полигона, состоящего из рассматриваемой станции поездообразования и трех возможных станций назначения  $S_1, S_2, S_3$ . Схема расчета вариантов поездообразования представлена на рис. 2.

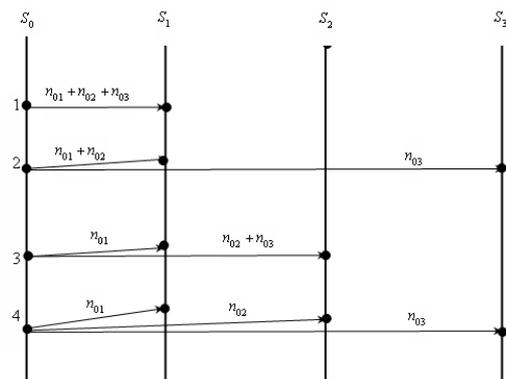


Рис. 2. Схема вариантов поездообразования для полигона из трех станций назначения

В отличие от расчета плана формирования для полигона нет необходимости рассматривать варианты продвижения корреспонденций по всем участкам. Рассматриваются только варианты формирования назначений по выделенной станции.

Первый вариант (исходный) предусматривает продвижение вагонопотока до станций  $S_1, S_2, S_3$  в участковом назначении  $N_{01}$ , включающем корреспонденции  $n_{01}, n_{02}, n_{03}$ . В общем случае данное назначение не обязательно должно быть участковым, однако для данных расчетов технические станции, находящиеся между  $S_0$  и  $S_1$  во внимание не принимаются (т.к. это ведет к снижению транзитности и при данной постановке задачи не рассматривается).

При втором варианте предлагается выделить в самостоятельное назначение  $N_{03} = n_{03}$ . При этом ослабляется участковое назначение  $N_{01}$  (увеличиваются вагоно-часы простоя под накоплением), требуется дополнительный путь для накопления  $N_{03}$ , но возникает экономия от проследования станций  $S_1$  и  $S_2$  без переработки.

При третьем варианте в самостоятельное назначение выделяется назначение  $N_{02} = n_{02} + n_{03}$ . При его выделении увеличиваются затраты на накопление назначения  $N_{01} = n_{01}$ , но возникает экономия от проследования без переработки станции  $S_2$ . Потребное количество путей в сортировочном парке станции  $S_0$  как и во втором варианте возрастает на один.

Четвертый вариант предусматривает максимальную реализацию потенциала транзитности (все корреспонденции следуют в сквозных назначениях). При этом увеличивается до максимума продолжительность нахождения вагонов под накоплением на станции  $S_0$ , но и значение экономии в пути следования также является максимальным. Для реализации данного варианта по станции  $S_0$  требуется два дополнительных пути.

Оптимальным будет вариант, дающий максимальное значение целевой функции (2.15). При расчетах принимается, что по участкам  $S_1 S_2$  и  $S_2 S_3$  идет в соответствии с действующим планом формирования (если вариант поездообразования не предусматривает других условий продвижения).

На выбор вариантов поездообразования на-

кладываются технологические ограничения, которые также снижают размерность задачи:

- суммарное время продвижения корреспонденции от станции отправления до станции назначения не должно превышать юридическое время доставки. Относительно системы поездообразования ограничение накладывается на продолжительность накопления назначения  $N_{0j}$ ;
- число одновременно накапливаемых на станции назначений не должно превышать наличного количества путей накопления в сортировочной системе. Варианты, для которых условие  $K_{нал}^{сп} \geq K_{потр}^{сп} + K_{спец}^{сп}$  не выполняется, из расчетов исключаются.

Дополнительно могут учитываться ограничения по наличию сквозных ниток в нормативном графике движения поездов, перерабатывающей способности станций назначения (если формирование назначений на эти станции не было предусмотрено исходным планом формирования) и др.

Введение дополнительных ограничений также снижает размерность задачи (окончательное количество вариантов зависит от параметров корреспонденций, полигона и станции поездообразования).

## 5. Заключение

Повышение транзитности вагонопотоков в системе поездообразования позволяет не только снизить затраты на переработку вагонов на сортировочных станциях, но и ускорить доставку грузов получателям, сократить оборот вагона, сократить потребный парк поездных локомотивов. Рассмотренная выше методика позволяет не только оптимизировать план поездообразования в сторону увеличения транзитности, но и в сторону уменьшения (если это на конкретный момент времени экономически оправдано).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев А. А. Повышение транзитности вагонопотоков / Сб. тр. аспирантов и магистрантов. Вып. 2. – Гомель, 2002. – С. 52-56.
2. Аветикян А. А. Потенциал транзитности вагонопотоков. – М.: Транспорт, 1981. – 191 с.
3. Харитонов А. В. Планирование поездообразования на полигоне // Железнодорожный транспорт, 2000 – № 7. – С. 17-22.

Поступила в редколлегию 20.09.2007.