

УДК 656.222.3

Н. А. КЕКИШ, младший научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНПОТОКОВ ПО СИСТЕМЕ ВЗАИМОУВЯЗАННЫХ ГРУППОВЫХ ПОЕЗДОВ МЕЖДУ УЗЛОВЫМИ ПУНКТАМИ ПЕРВОГО УРОВНЯ

Дано краткое описание организации вагонопотоков по системе взаимосвязанных групповых поездов, указаны ее основные характеристики и преимущества. Важнейшим этапом реализации данной системы является формирование базовой модели, которое может быть выполнено с использованием теории графов. Полигон представляется как связный граф с множеством ребер, каждому из которых ставится в соответствие определенная комбинация групп вагонов. Задача поиска оптимальной комбинации назначений и увязки их между собой решается путем поэтапного исключения неконкурентоспособных вариантов. На окончательном этапе возможно дополнительное применение экспертных методов отбора. Приведены принципиальная схема отбора и, в качестве примера, поэтапное изменение исходного графа при решении этой задачи для полигона Белорусской железной дороги.

Организация вагонопотоков по системе взаимосвязанных групповых поездов (ВГП) является одним из перспективных направлений совершенствования системы организации внутридорожных вагонопотоков на полигонах с преобладанием маломощного потока на ряде направлений. Система базируется на принципах декомпозиции, перехода и взаимосвязи, отражающих структуру полигона, порядок перехода вагонов из состава в состав и комплексный характер системы. Отличительными ее особенностями являются совместное применение двух способов организации вагонопотоков на полигоне с соответствующей их дифференциацией и преимущественное формирование групповых поездов. Декомпозиция полигона подразумевает разделение его на районы тяготения и ранжирование станций полигона на узловые пункты трех уровней по объему выполняемых функций и значимости в системе. Наиболее важными в системе являются узловые пункты первого уровня. Как правило, их роль выполняют сортировочные и крупные участковые станции дороги. На узловых пунктах первого уровня осуществляется формирование, расформирование, подборка и обмен групп между взаимосвязанными групповыми поездами. Западноевропейский термин «узловой пункт», предлагаемый в описании этой системы более точно, чем классический термин «выделенная станция», отражает выполнение функции связи пересекающихся направлений. Выбор групповых поездов как основы продиктован их соответствием цели построения системы: ускорение продвижения маломощных потоков при одновременном снижении затрат.

Система обладает высокой степенью адаптивности к колебаниям мощности вагонопотока за счет учета особенностей конфигурации полигона, меньшего периода расчета плана формирования и упрощения методики этого расчета, заранее разра-

батываемым рекомендациям по величине и количеству формируемых групп при изменении мощности потока в планируемом периоде. Это позволяет существенно снизить зависимость системы от ошибок прогноза величины вагонопотока. Преимущественный переход вагонов из состава в состав через обмен групп, а не через переработку на попутных технических станциях способствует скорейшему продвижению вагонов, существенному сокращению простоя вагонов и связанных с этим затрат. Обеспечение такого перехода в масштабах полигона возможно только на основе твердого графика движения взаимосвязанных групповых поездов. Более подробная характеристика этой системы, сфера ее применения и оценка сравнительной экономической эффективности приведены в литературе [1, 2].

Формирование базовой модели является одним из важнейших этапов организации вагонопотоков по системе взаимосвязанных групповых поездов (ВГП) на выбранном полигоне.

Базовая модель организации вагонопотоков между узловыми пунктами первого уровня представляет собой универсальную схему взаимосвязанных групповых поездов, учитывающую максимально возможную и приемлемую по условиям обмена групп детализацию потока. Базовая модель, составленная для конкретного полигона, учитывает его основные особенности, влияющие на структуру формируемых поездов и условия их обращения. К этим особенностям относятся, прежде всего, степень разветвленности полигона и количество узловых пунктов на каждом направлении. Задача формирования базовой модели заключается в определении комбинаций назначений групп вагонов, формируемых на каждом узлом пункте первого уровня на каждое прилегающее направление, на котором обращаются ВГП. Эта задача может быть решена с помощью теории графов. Все используемые при описании матема-

тической постановки задачи термины взяты в соответствии с работами У. Тагга, М. Свами [3, 4].

Полигон дороги представляется в виде конечного связного графа

$$G = (V, E), \quad (1)$$

где $V = \{v_u\}$ – множество вершин графа G (множество узловых пунктов первого уровня исследуемого полигона); $E = \{e_z\}$ – множество ребер графа G .

Исходный граф G содержит подграфы H и R :

$$H = (V, P), \quad V(H) \subseteq V(G), \quad P(H) \subseteq E(G); \quad (2)$$

$$R = (V, B), \quad V(R) \subseteq V(G), \quad B(R) \subseteq E(G); \quad (3)$$

где $P = \{p_{i-j}\}$ – множество ребер подграфа H (множество участков, соединяющих узловые пункты первого уровня согласно существующей конфигурации исследуемого полигона); $B = \{b_{i-j}^k\}$

– множество ребер подграфа R (множество вариантов комбинаций назначений, формируемых на каждое направление на узлом пункте первого уровня). Индексы i и j означают номера смежных вершин графа G , входящих во множество $V = \{v_u\}$ и являющихся концами данного ребра, индекс k – номер ребра, соединяющего данные вершины в подграфе R . Ребра подграфа R являются кратными, поскольку предполагается многовариантность комбинаций подбора групп на каждое направление, а также направленными (ориентированными).

Граф G и его подграфы H и R содержат идентичные наборы вершин, поэтому можно записать

$$V(H) = V(R) = V(G). \quad (4)$$

Вершинам и ребрам графа ставятся в соответствие определенные параметры:

– $l(p_n)$ – длина n -го участка, км;

– $f(v_u)$ – число направлений, на которые данный узловой пункт первого уровня формирует групповые поезда (подборки прицепных групп). Этот параметр соответствует валентности вершины в подграфе H :

$$f(v_u) = \text{val}(H, v_u); \quad (5)$$

– $r(b_{i-j}^k)$ – характеристика комбинации назначений групп, формируемых на каждом узлом пункте. Эта характеристика ставится в соответствие каждому ребру подграфа R , исходящему из данной вершины. Она включает наименования назначений групп (номера соответствующих вершин в графе R), мощность назначений. Для последующего расчета необходима мощность корреспонденции вагонопотока с данного узлового пункта первого уровня на узловые пункты первого уровня, являющиеся конечными пунктами расформирования группы. Таким образом, множество комбинации назначений, соответствующих ребрам подграфа R ,

$$r = \{r_{i-j}^k\}, \quad r_{i-j}^k = \{V'_c, M_c\}, \quad (6)$$

где $V'_c = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ – назначения групп вагонов (номера соответствующих вершин в подграфе R). Множество V'_c является подмножеством $V(R)$ ($V'_c \subseteq V(R)$) и для данной задачи представлено максимум четырьмя значениями, поскольку для условий исследуемого полигона максимальное число групп в составе – четыре, причем один из номеров вершин подграфа $R(v_1)$ – обязательно номер смежной вершины на соответствующем направлении; $M_c = \{m_1, m_2, m_3, m_4\}$ – мощности струй вагонопотоков на соответствующие узловые пункты первого уровня.

Требуется:

1) найти оптимальный вариант комбинаций групп вагонов с каждого узлового пункта первого уровня на каждое направление $r_c(b_{i-j}^k)$. Критерии оптимальности комбинации указаны ниже;

2) выполнить увязку отобранных комбинаций между собой:

Оптимальный вариант комбинаций групп вагонов с каждого узлового пункта первого уровня на каждое направление $r_c(b_{i-j}^k)$ должен обеспечивать:

– отправление вагонов всех назначений во ВГП на все прилегающие направления, на которых обращаются такие поезда:

$$\sum_{i=1}^4 m'_i = N_j, \quad (7)$$

где m'_i – суммарная мощность струй вагонопотока, включаемых в группу i -того назначения; N_j – суммарный поток с данного узлового пункта первого уровня на данное направление;

– следование вагонов всех назначений по кратчайшему пути. В общем случае это требование может быть необязательным. Тогда в подграф H , отражающий конфигурацию полигона, добавляются вершины и ребра, учитывающие варианты маршруты следования, в подграф R – ребра, отражающие множество дополнительных вариантов комбинаций назначений групп. Соответственно увеличивается и число вершин и ребер в исходном графе G . При определении количества комбинаций и их характеристик кратчайшее расстояние следования для каждого назначения выбирается по весам ребер (значениям $l(p_n)$) подграфа H ;

– минимизацию переработки вагонов. Оценка объема переработки вагонов производится по сумме среднесуточных вагонопотоков на назначения каждой комбинации. При подсчете учитываются только мощности основных назначений групп:

$$r_{i-j}^k = r_{i-j}^{\text{опт}} \text{ при } \max \left(\sum_{i=1}^4 m_i \right). \quad (8)$$

Если на ребре p_{i-j} подграфа H в направлении $i \rightarrow j$ оказалось несколько комбинаций групп с одинаковым значением $\max \left(\sum_{i=1}^4 m_i \right)$, максимальным для данного ребра, то в дальнейшем отборе участвуют все такие комбинации.

Увязка отобранных комбинаций между собой выполняется следующим образом:

– для каждой пары смежных вершин производится проверка выполнения условия

$$r_{i-j}^{\text{опт}} \cap R' = \{v_2, v_3, v_4\} \text{ при } R' = \bigcup_{s=1}^{f-1} r_{j-s}^{\text{опт}}, \quad (9)$$

где $r_{i-j}^{\text{опт}}$ – множество, отражающее оптимальную комбинацию групп, формируемых с узлового пункта первого уровня i на узловой пункт первого уровня j (характеристика соответствующего ребра подграфа R , инцидентного смежным вершинам i и j , в направлении $i \rightarrow j$); $r_{j-s}^{\text{опт}}$ – множество, отражающее оптимальную комбинацию групп, формируемых с узлового пункта первого уровня j на узловой пункт первого уровня s (характеристика соответствующего ребра подграфа R , инцидентного смежным вершинам j и s , в направлении $j \rightarrow s$). Исследуются все отражающие оптимальные комбинации на соответствующих направлениях ребра подграфа R , исходящие из вершины j , смежной вершины i , исключая ребра направления $j \rightarrow i$.

Если на каком-либо направлении $j \rightarrow s$ есть несколько оптимальных комбинаций по критерию (8), то они все участвуют в отборе и оставляется та комбинация, которая удовлетворяет условию (9). Если и на этом этапе отбора условию (9) удовлетворяют несколько комбинаций, то они остаются для дальнейшего отбора.

Если условие (9) не выполняется, то возможны два варианта изменения оптимальной комбинации на направлениях:

- 1) $i \rightarrow j$;
- 2) $j \rightarrow s$.

Изменение может производиться только для того направления, на котором есть другие допустимые комбинации назначений групп. Изменение производится для того из направлений $j \rightarrow s$, оптимальный вариант на котором не предусматривает группу назначения $r_{i-j}^{\text{опт}}$, следующую по маршруту $j \rightarrow s$. Если допустимые комбинации есть

как на направлении $i \rightarrow j$, так и на направлении $j \rightarrow s$, то для каждого из направлений подбирается комбинация, близкая по значению $\sum_{i=1}^4 m_i$ к

оптимальной и удовлетворяющая условию (9) при неизменной оптимальной комбинации другого направления. Определяются разницы между оптимальным и близким к нему вариантом для обоих направлений

$$\Delta = \max \left(\sum_{i=1}^4 m_i \right) - \sum_{i=1}^4 m_i. \quad (10)$$

Оптимальная комбинация изменяется на том направлении, на котором значение Δ меньше.

Если же и после этого этапа отбора на направлениях остается несколько комбинаций, удовлетворяющих перечисленным выше условиям и обеспечивающих увязку по обмену групп между поездами различных направлений, то окончательный выбор из равноценных комбинаций осуществляется экспертно. Экспертный отбор может выполняться как одним экспертом, так и группой с применением классических методов экспертного отбора (ранговых корреляций, коллективных экспертных оценок). Также на последнем этапе отбора могут быть внесены дополнительные изменения (назначения дополнительных групп или сокращение количества групп на отдельных участках), учитывающие особенности обращения поездов и обмена групп на исследуемом полигоне. Вносимые изменения не должны нарушать полученной увязки. В итоге поэтапного отбора получается граф G' , в котором каждому ребру подграфа H соответствуют два кратных ребра подграфа R , отражающих окончательно отобранные комбинации назначений групп, следующих между соседними узловыми пунктами первого уровня (смежными вершинами графа) в обоих направлениях.

При выполнении условия (9) для каждой пары смежных вершин все комбинации увязаны между собой и базовая модель сформирована. Принципиальная схема формирования базовой модели с поэтапным отбором по графу представлена на рисунке 1, последовательное изменение вида исходного графа при отборе для полигона Белорусской железной дороги – на рисунке 2.

Полученная путем расчетов по графу базовая модель представляет собой комбинации назначений групп, формируемых каждым узловым пунктом первого уровня на каждое прилегающее направление, на котором предусмотрено обращение взаимоувязанных групповых поездов, с максимально приемлемой для данного полигона детализацией потока и увязкой обмена групп по каждому узловому пункту первого уровня.

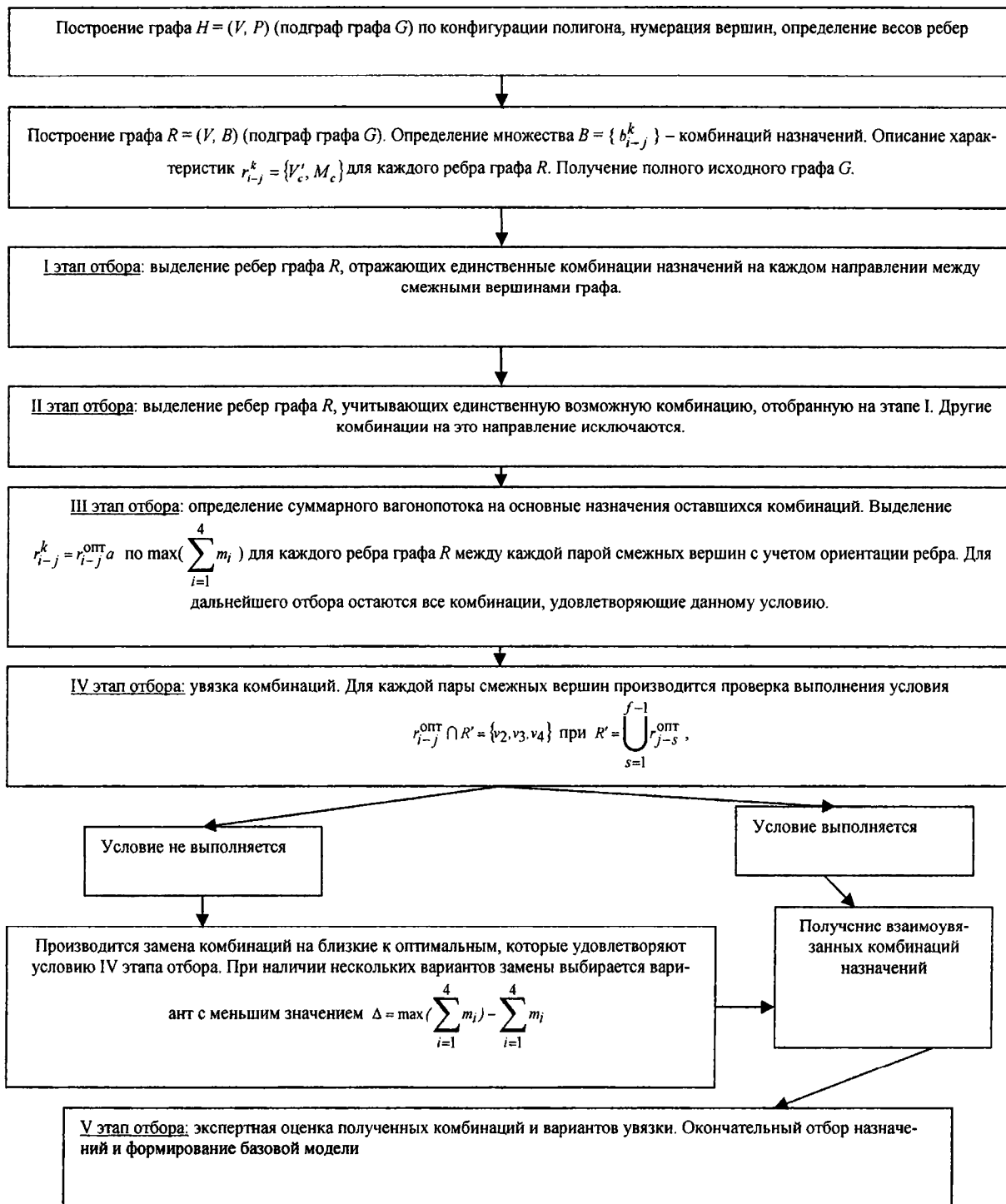


Рисунок 1 – Принципиальная схема формирования базовой модели с поэтапным отбором по графу

Базовая модель, описанная как перечень назначений групп вагонов, формируемых каждым узловым пунктом первого уровня на каждое из прилегающих направлений, и является основным планом формирования групповых поездов, обращающихся по системе взаимозавязанных групповых поездов.

Выводы

1 Организация вагонопотоков по системе взаимозавязанных групповых поездов может быть эффективным способом ускорения продвижения маломощных вагонопотоков на разветвленном по-

лигоне при одновременном снижении затрат на переработку и следование вагонопотока. При этом система обладает высокой степенью адаптивности к колебаниям мощности вагонопотока в планируемом периоде.

2 Важнейшим этапом реализации предлагаемой системы является построение базовой модели как основы плана формирования. Базовая модель, составленная для конкретного полигона, способна в максимальной степени учесть его особенности, что положительно сказывается на качестве системы организации вагонопотоков.

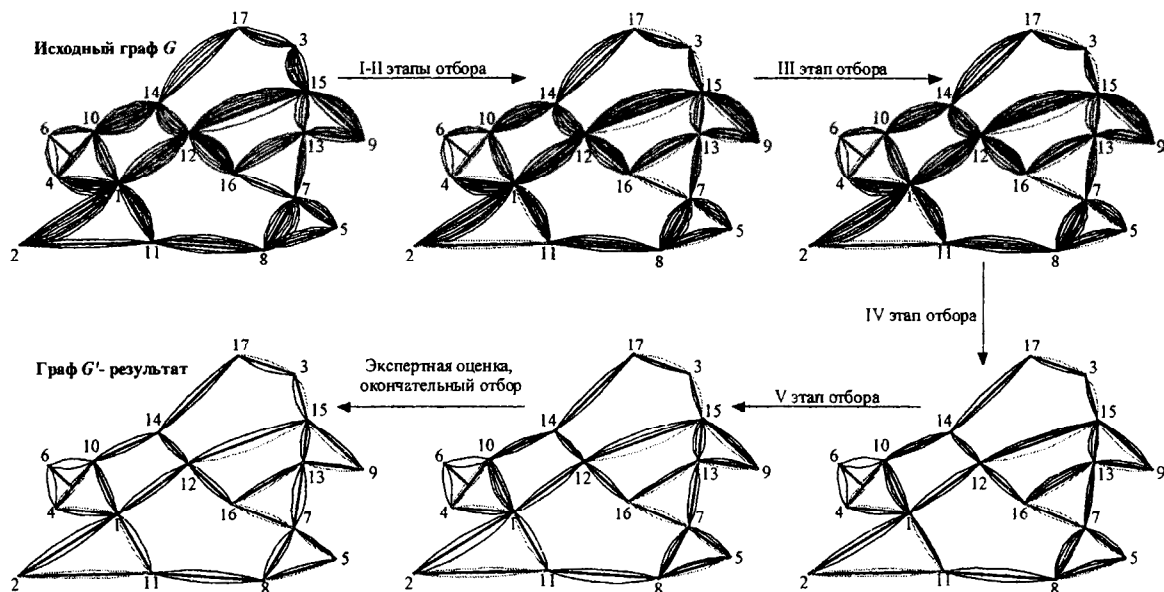


Рисунок 2 – Поэтапное изменение графа на примере полигона Белорусской железной дороги

3 Формирование базовой модели организации вагонопотоков по системе взаимосвязанных групповых поездов может быть выполнено с применением теории графов как универсального математического метода решения многовариантных задач. Полигон при этом представляется в виде связного графа. Целью задачи служит получение оптимальной комбинации назначений групп вагонов с каждого узлового пункта первого уровня (вершины графа) на каждое прилегающее направление и увязка их между собой.

Задача решается в несколько этапов путем последовательного сокращения ребер графа (исключения неконкурентоспособных вариантов по определенным критериям). При получении на последнем этапе нескольких вариантов с равным значением критерия оптимальности окончательный отбор выполняется с применением экспертных методов.

Получено 12.10.2007

N.A. Kekish. Mathematical statement of the problem the shaping to base model to organization of traffic volumes on system of mutually coordinated group trains between first level node points.

In article thumbnail sketch to organization of traffic volumes on system mutually coordinated group trains is given, its main features and advantage are indicated. The most important stage to realization of the suggested system is a shaping to the base model, which can be executed by using graph theory. The range introduces as connected graph with set of edges, each of which is put in correspondence to determine a combination of the groups of coaches. The problem of searching for of the optimum combination of the purposes and tying ups them between itself dare the way of the phased exception of uncompetitive variants. On final stage possible additional using the expert methods of the selection. The principle scheme of the selection happens to in article and as example – a phased change source column at decision of this problem for firing range of the Belorussian railway.

Список литературы

1 Кекиш, Н. А. Организация вагонопотоков по системе взаимосвязанных цепочек групповых поездов и комплексная сравнительная оценка ее экономической эффективности / Н. А. Кекиш, М. Н. Луговцов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2005. – № 1. – С. 69–72.

2 Кекиш, Н. А. Организация маломощных внутривидовых вагонопотоков по системе взаимосвязанных цепочек групповых поездов / Н. А. Кекиш // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: тези доповідей другої наук.-практ. конф., Київ, 29 листопада – 1 грудня 2004 г.: в 2 ч. / Міністерство транспорту та зв'язку України, Київський університет економіки і технологій транспорту, Транспортна академія України, Науково-технічне товариство залізничників України; редкол.: Е. І. Даніленко [та інш.]. – Київ, 2004. – Ч. 1 : Техніка, технологія. – С. 147–148.

3 Татт, У. Теория графов / У. Татт. – М. : Мир, 1988. – 424 с.

4 Свами, М. Графы, сети и алгоритмы / М. Свами, К. Тхуласираман. – М. : Мир, 1984. – 455 с.