ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 1, 1970 Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. Г. АГАБАБОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ*

Маршрутизация автомобильных перевозок массовых грузов при их оперативном планировании предусматривает последовательное решение следующих задач [1]:

а) закрепление потребителей однородного или взаимозаменяемого груза за поставщиками;

б) выбор грузов, которые можно перевозить на одном и том же подвижном составе;

в) определение маршрутов перевозки различных грузов;

г) совмещение периода отгрузки и приема грузов в тех пунктах, для которых перевозки могут осуществляться по оптимальным маршрутам (регулирование перевозок по времени);

д) определение оптимальных нулевых пробегов подвижного состава.

Как правило, задачи по маршрутизации перевозок относятся к классу экстремальных задач, которые решаются методами линейного программирования. При этом, целевая функция имеет вид:

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} = \min, \tag{1}$$

где c_{ij} — критерий оптимальности — величина затрат на перевозку 1 m груза от соответствующих отправителей до получателей;

x_{ij} — размеры перевозок от каждого i-го отправителя каждому j-ому получателю;

m, n — общее количество отправителей и получателей грузов.

В большинстве случаев за показатель оптимальности плана перевозок принимают кратчайшее расстояние перевозок или $c_{ij} = l_{ij}$. Тогда целевая функция принимает вид:

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} l_{ij} x_{ij} = \min. \tag{2}$$

* В порядке обсуждения

В результате проведенных нами исследований установлено, что не во всех случаях маршрут движения автомобиля по кратчайшему пути соответствует минимальным затратам общественно-полезного труда [2]. В отличие от наикратчайшего маршрута, существует такой оптимальный маршрут движения, при котором перевозки осуществляются при относительно меньших затратах общественно-полезного труда. В этом случае имеет место минимум суммарных затрат, связанных с движением автомобиля и содержанием дороги на маршруте $i-j$, т. е.

$$\sum E_{i-j} = \min. \tag{3}$$

Для выполнения (3) необходимо и достаточно, чтобы в каждом звене $i-j$ модели транспортной сети оптимального маршрута движения был бы обеспечен минимум дорожно-транспортных затрат, т. е.

$$E_{i-j} = \min. \tag{4}$$

Приведенные соображения позволяют составить систему уравнений (5), которую можно рассматривать как математическую модель требований, предъявляемых к автомобильному транспорту и маршруту движения

$$\left.\begin{aligned} &\sum E_{i-j} = \min \\ &E_{i-j} = \min \\ &F(l_{i-j},\ Q_{i-j},\ D_{i-j},\ A_{i-j},\ v_{i-j},\ E_{i-j}) = 0 \end{aligned}\right\}, \tag{5}$$

где l_{i-j} — длина маршрута; Q_{i-j} — грузооборот; D_{i-j} — дорожно-эксплуатационные затраты; A_{i-j} — транспортно-эксплуатационные затраты; v_{i-j} — техническая скорость движения автомобиля.

Система (5) отражает некоторые основные условия выбора оптимального маршрута движения автомобиля. При этом в ней содержится указание о путях решения задачи — выбор на маршруте движения звеньев с минимальными затратами (второе условие), что приводит к выполнению требований, выраженных первым условием.

Между суммарными затратами и их дорожной составляющей и транспортными затратами существует зависимость:

$$E_{i-j} = l_{i-j}(D_{i-j} + A_{i-j}), \tag{6}$$

или же

$$E_{i-j} = l_{i-j}Q_{i-j}\left(\frac{D_{i-j}}{Q_{i-j}} + \frac{A_{i-j}}{Q_{i-j}}\right). \tag{7}$$

Так как объем перевозимого груза — величина постоянная, то для выполнения условия $E_{i-j} = \min$ необходимо и достаточно, чтобы

$$l_{i-j}\left(\frac{D_{i-j}}{Q_{i-j}} + \frac{A_{i-j}}{Q_{i-j}}\right) = \min, \tag{8}$$

где левая часть представляет собой удельные дорожно-транспортные затраты на маршруте $i-j$.

На автомобильном транспорте тарифы основаны на себестоимости перевозок с отчислением от доходов средств в размере 2% на строительство дорог республиканского значения (при общей рентабельности перевозок до 7%). В условиях горной местности, в зависимости от высоты ее расположения над уровнем моря, введены поясные поправочные коэффициенты. Исходя из этого, выражение (8) можно представить в следующем виде:

$$T_{i-j} = l_{i-j} \frac{A_{i-j}}{Q_{i-j}}, \qquad (9)$$

где T_{i-j} — тариф за перевозку на маршруте $i-j$.

Произведенные преобразования не нарушили требований, выраженных условием (4), которое может быть представлено в виде:

$$T_{i-j} = \min. \qquad (10)$$

Таким образом, минимум затрат при перевозке грузов автомобильным транспортом может быть достигнут в том случае, если тариф за перевозку на каждом звене модели транспортной сети по избираемому маршруту будет минимальным, а в условиях горного рельефа местности и с учетом поясных поправочных коэффициентов. В этих условиях выражение (1) может быть преобразовано и представлено в виде:

$$\sum T_{i-j} = \min. \qquad (11)$$

Из вышеизложенного вытекает одно из основных и необходимых условий для оптимальных связей звеньев маршрута движения автомобиля, согласно которому каждая корреспондирующая точка в оптимальном маршруте связана со всеми остальными корреспондирующими точками по направлениям, обеспечивающим наименьшие удельные дорожно-транспортные затраты в виде тарифов за перевозки с учетом поясных поправочных коэффициентов для горных условий.

Для определения оптимального маршрута движения автомобиля или решения транспортной задачи на минимизацию расстояния перевозок в ряде городов страны разработаны модели транспортной сети и справочники наикратчайших расстояний перевозок грузов.

В Армянской ССР, впервые, в Отделе по оптимальному управлению транспортом Центральной научно-исследовательской лаборатории по автоматизированным системам управления народным хозяйством разработана модель транспортной сети АрмССР и составлен справочник наикратчайших расстояний перевозок для автомобильного транспорта, а также перевозки грузов при минимальных тарифах.

В этом справочнике, с рядом наикратчайшими маршрутами и расстояниями между заданными пунктами, приведены также тарифы за провоз одной тонны груза между вершинами звеньев с учетом поясных поправочных коэффициентов.

При решении транспортной задачи с критерием минимального тарифа за перевозки грузов по модели транспортной сети определены-

наикратчайшие маршруты движения автомобиля, расстояния между конечными пунктами и соответствующий тариф за перевозки.

Математически задача может быть выражена так:

$$A = \{(x_i,\ x_j,\ t_{ij})\}, \tag{12}$$

где $1 \leqslant i;\ \ j \leqslant n\ \ (i \neq j)$.

Множество A состоит из следующих элементов (рис. 1):

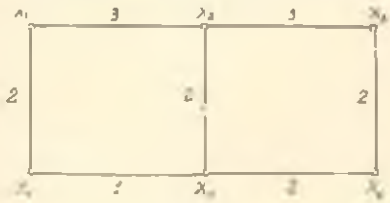

Рис. 1.

$(x_1\ \ x_4\ \ 2)$ $(x_5\ \ x_2\ \ 2)$

$(x_2\ \ x_5\ \ 2)$ $(x_2\ \ x_1\ \ 3)$

$(x_4\ \ x_5\ \ 1)$ $(x_3\ \ x_6\ \ 2)$

$(x_1\ \ x_2\ \ 3)$ $(x_6\ \ x_5\ \ 2)$

$(x_2\ \ x_3\ \ 3)$

где $x_1,\ x_2, \cdots,\ x_6$ — узлы вершины графа; t_{i-j} — тариф за перевозки между $i - j$; $x_i,\ x_j$ — элементы множества.

В (12) A представляет собой путь движения или тариф за перевозку, который начинается в вершине x_i и заканчивается в вершине x_j, а тариф за перевозки t_{i-j} является целым положительным числом, выраженным в определенных единицах измерения, принимаемым за постоянную величину для данного графа.

При определении наикратчайшего расстояния в графе использован алгоритм Форда [3]. Для определения тарифов за провоз одной тонны груза между смежными пунктами, составлена вспомогательная таблица, по которой проведены расчеты тарифов с учетом поясных поправочных коэффициентов.

В единных тарифах за перевозку грузов автомобильным транспортом общие тарифы определены в зависимости от расстояния перевозок и класса грузов. Располагая данными о тарифах за перевозку грузов первого класса, через переходные коэффициенты, приведенные в табл. 1, могут быть определены тарифы за перевозку для остальных классов грузов.

Таблица 1

Класс груза	I	II	III	IV	V
Переходный коэффициент	1,0	1,247	1,677	2,0	2,5

При движении автомобиля из пункта A в пункт $Б$ (рис. 2) возможны n вариантов направлений движения и расстояние l_n может находиться в пределах:

$$l_{II} > l_n > l_{III}.$$

В условиях низменного рельефа местности, когда отсутствуют поясные поправочные коэффициенты, можно утверждать, что тарифы

за перевозку грузов автомобильным транспортом будут находиться в следующих соотношениях:

$$T_{I} > T_{II} > T_{III} > T_{n}.$$

То есть, чем длиннее расстояние перевозки, тем выше тариф за перевозку. Однако, исходя из условий рельефа местности и соответствия конструкции автомобиля дорожно-географическим особенностям эксплуатации, может иметь место случай, когда технические скорости движения автомобиля будут находиться в следующем соотношении:

$$v_{I} > v_{II} > v_{III} > v_{n}.$$

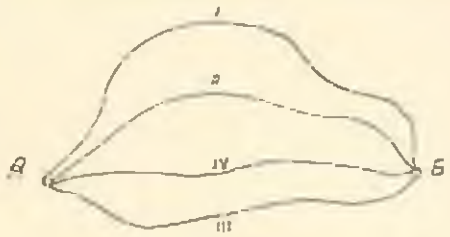

Рис. 2.

В этом случае, независимо от того, что движение автомобиля происходит по более длинному I маршруту с высоким тарифом за перевозки грузов, может иметь место более эффективное использование автомобиля по I маршруту за счет повышения его производительности и ускорения доставки грузов. Поэтому наряду с тарифами на перевозку грузов, вторым важным фактором является скорость движения автомобиля или доставки грузов, которая должна быть учтена при установлении оптимальности маршрута движения. В этих условиях возникает необходимость в уточнении определения оптимального маршрута. *Оптимальным маршрутом движения автомобиля* будет такой путь его движения между заданными пунктами, при котором достигается минимальный тариф за перевозки и максимальная скорость доставки грузов.

Техническая скорость доставки грузов автомобильным подвижным составом на каждом звене модели транспортной сети зависит от дорожно-географических и климатических особенностей. Основными категориями, характеризующими дорожно-географические и климатические особенности, являются: техническая категория и состояние автомобильной дороги, интенсивность движения, высота расположения дорожной трассы над уровнем моря, величина и расположение продольных уклонов дороги, величина и расположение кривых на плане дороги, ширина проезжей части дороги, наличие и расположение светофоров регулирования уличного движения.

В соответствии с данным выше определением оптимального маршрута движения, систему (5) можно представить в следующем виде:

$$\left.\begin{aligned} \sum T_{i-j} &= \min \\ T_{i-j} &= \min \\ \sum v_{i-j} &= \max \\ v_{i-j} &= \max \\ F(v_{i-j}, K_{i-j}, I_{i-j}, H_{i-j}, b_{i-j}, l_{i-j}) &= 0 \end{aligned}\right| \qquad (13)$$

где K_{i-j} — техническая категория дороги; I_{i-j} — интенсивность движения; H_{i-j} — высота местности над уровнем моря; i_{i-j} — продольный уклон дорожной трассы.

Приведенная система уравнений полнее отражает основные условия выбора оптимального маршрута движения автомобиля, так как она учитывает условия минимизации тарифа за перевозки, а также максимальной производительности автомобильного подвижного состава, как по каждому звену модели в отдельности, так и в целом по всему маршруту движения.

Поступило 10.X.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белов Д. А., Бобырыкин В. А.* Маршрутизация автомобильных перевозок. Изд. „Транспорт", 1965.
2. *Агабабов А. Г.* Критерий оптимальности автомобильных перевозок. „Промышленность Армении", № 2, 1969.
3. *Форд Л., Фалькерсон Д.* Потоки в сетях. Изд. „Мир". 1968.

А. В. БЕЛУБЕКЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ БАЛОК ИЗ ЛЕГКОГО БЕТОНА ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

В Армянском НИИ стройматериалов и сооружений (АИСМ) в 1969 г. проводились испытания армированных балок прямоугольного сечения из легкого бетона при кручении и при совместном действии изгиба и кручения. Было испытано 10 предварительно напряженных балок сечением 16×24 *см*, длиной 300 *см* и для сопоставления 4 аналогичные балки с ненапряженной арматурой. Эксперименты проводились на специальном стенде, позволяющем испытывать балки на чистое кручение, а также на изгиб с кручением [1].

Продольное армирование балок — 4∅ 12 *мм* из стали марки 35ГС (по одному стержню в каждом углу сечения); поперечное — замкнутые хомуты диаметром 6 *мм* из стали марки Ст-3 с пределом текучести 3100 *кГ/см*². Шаг хомутов на исследуемом участке балок (100 *см*), принимался равным 10 *см* и 20 *см*. С целью предотвращения преждевременного разрушения опорных участков балок, шаг хомутов на этих участках был учащен и принимался равным 6 *см*. Предварительно напряженные балки изготовлялись на открытом стенде экспериментального полигона АИСМ. Натяжение арматуры производилось гидравлическим домкратом с передачей усилия на упоры. Механическим упрочнением предел текучести стали был повышен с 4070 *кГ/см*² до 6060 *кГ/см*². Балки изготовлялись в металлических формах и были распалублены на третьи сутки, после чего до момента