механических оконных ставней, подача мигающих световых сигналов или включение звукового оповещения).

Основной функцией данного комплекса мер - информирование хозяина дома о возникшей угрозе (зачастую с помощью сообщения на мобильный телефон) или передача команд тревоги на центральный охранный пункт. Заключение. Можно продумывать и запрограммировать различные режимы, составить библиотеку сценариев на различные жизненные ситуации, и тогда данное жилище станет комфортным, умным и безопасным.

1. Психолого-педагогические проблемы развития личности в системе многоуровневого профессионального образования. Асатрян С.С., Клушина Н.П., Гулякин Д.В., и др. Коллективная монография / [Асатрян С. С. и др.]; под ред. Н. П. Клушиной; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Северо-Кавказский гос. технический ун-т ". Ставрополь, 2009.
2. Kharchenko L., Panova I., Babaeva E., Magomedova R., Gulyakin D., Pashtayev B. Russian syndromes, impeding the development of the innovation processes in education // Life Sci J 2014;11(9s):184-187, USA, (ISSN:1097-8135). <http://www.lifesciencesite.com>. 35.
3. Гулякин Д.В. Факторы, детерминирующие необходимость формирования социально-информационной культуры студентов технического вуза//Историческая и социально-образовательная мысль. –2014. –№ 3 (25). –С. 109-111.
4. Гулякин Д.В. Сущностные характеристики социально-информационной культуры студента технического вуза // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2016. – № 1 (105). – С. 4-7.
5. Гулякин Д.В. Социально-информационная культура специалиста технического профиля//Научное обозрение. Серия 2. Гуманитарные науки. – 2010. – № 1-2. – С. 12-16.

Яркин Е.К., Романенко В.Е., Мохов В.А.

Оптимизация маршрутов грузовых мультимодальных перевозок

*ЮРГПУ «Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова»
(Россия, Новочеркасск)*

doi: 10.18411/lj-10-2020-15

idsp: ljournal-10-2020-15

Аннотация

Рассмотрена актуальная задача повышения эффективности мультимодальных грузовых перевозок путем составления и оптимизации маршрута доставки груза. Задача представлена в виде математической модели с использованием темпоральных графов и графа переноса. Причем в модели учитываются динамические изменения требований грузоотправителей и грузополучателей, что по мнению авторов дает приоритет при выборе маршрута доставки, выигрыш во времени и уменьшение финансовых затрат на перевозку.

Ключевые слова: мультимодальные грузовые перевозки; математическая модель; темпоральный граф; оптимизация маршрута доставки.

Abstract

The actual problem of increasing the efficiency of multimodal cargo transportation by creating and optimizing the route of cargo delivery is considered. The problem is presented in the form of a mathematical model using temporal graphs and the graph of the transfer. Moreover, the model takes into account dynamic changes in the requirements of shippers and consignees, which, according to the authors, gives priority when choosing a delivery route, gains in time and reduces financial costs for transportation.

Key words: multimodal freight transportation; mathematical model; temporal graph; optimization of the delivery route.

Введение. Говоря о грузовых мультимодальных перевозках (ГММП) мы подразумеваем, прежде всего, транспортировку различных грузов, осуществляемую одной транспортной компанией с применением нескольких видов транспорта (автомобильный, железнодорожный, водный, авиа) с заключением единого договора на предоставление услуг [1, 2]. Транспортная компания, с которой заключается договор на доставку груза, несет полную ответственность на протяжении всего маршрута следования от начального до конечного пункта. Такая перевозка называется «от двери к двери». В процессе доставки могут быть использованы услуги субподрядчиков (действительных перевозчиков). Грузовладелец активного участия в процессе не принимает: исключительно оформление документов.

Компания, ответственная за весь процесс грузоперевозки является в данном случае мультимодальным транспортным оператором (МТО). Вся ответственность и контроль за грузом лежит на МТО.

По сути мультимодальные перевозки являются смешанным видом грузоперевозок и осуществляются на территории одной страны (внутренние мультимодальные перевозки) или между континентами (интермодальные перевозки) [3].

Актуальность работы

Основным недостатком ГММП является необходимость перевалки груза с одного вида транспорта на другой в специальных логистических центрах, портах, железнодорожных станциях [4]. Одним из основных направлений поддержания конкурентоспособности предприятий является минимизация общих затрат на логистику и прежде всего, за счет оптимизации возможных транспортных маршрутов с учетом перевалки грузов [5].

Одной из формальных обязанностей МТО является составление маршрута доставки груза. Основными критериями при формировании маршрута является стоимость и время доставки груза от грузоотправителя (ГО) до грузополучателя (ГП). При этом следует отметить, что ГО и ГП могут выдвинуть ряд дополнительных требований к доставке груза. Такими требованиями могут быть:

- ограничение времени на доставку груза;
- необходимость исключения/включения некоторых промежуточных пунктов, через которые проходит маршрут;
- требования по виду и грузовместимости (грузоподъемности) транспортных средств;
- удобство, качество, безопасность перевозки и сохранность груза;
- иные требования.

Так, например, у ГП может возникнуть необходимость обеспечить доставку груза в кратчайшие сроки, несмотря на существенное увеличение ее общей стоимости.

Следует принять во внимание ряд возможных форсмажорных обстоятельств (пробки на участке дорожной сети, природные и погодные условия, и прочее), которые увеличивают время доставки. Однако, во всех случаях, допускается возможность динамической корректировки мультимодального маршрута с целью снижения общих потерь [6].

Одним из резервов достижения наибольшей эффективности ГММП является рациональная организация передачи транзитных грузов с одних видов транспорта на другие. При этом должна минимизироваться стоимость перевозки в целом за счет снижения затрат на перегрузку и сокращения времени нахождения транспорта в соответствующем транспортном узле [7].

На основании изложенного определяется актуальность в создании/улучшении имеющихся у МТО инструментов для формирования мультимодальных маршрутов, удовлетворяющих в наибольшей степени грузоотправителя и грузополучателя и

отвечающих требованиям экономической целесообразности мультимодальных перевозок [8].

Модель представления транспортно-логистической инфраструктуры

Для последующего изложения ограничимся рассмотрением организации ГММП в пределах отдельно взятого региона (территории).

Предполагается, что данная территория обладает M унимодальных транспортных сетей G , которые на формальном уровне можно выделить из общей транспортно-логистической инфраструктуры (ТЛИН) территории.

Пусть $G = (N, M, A, P)$ - ориентированный граф или сеть, в которой $N = \{n_1, \dots, n_i\}$ - это множество узлов, $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ - это набор видов транспорта (например, железнодорожный, автомобильный, авиационный, водный и т.д.) и $A = \{a_1, \dots, a_l\}$ - множество транспортных линий, являющихся дугами графа G . С каждой дугой a_i , ассоциируется некоторое p_{ai} ($p_{ai} \in P$, $P = \{p_{a1}, \dots, p_{az}\}$ указывающее стоимость включения дуги в решение (например, расстояние, время, финансовые затраты).

По аналогии с графом переноса [9] представим ТЛИН в виде графа

$$T = (N, A, C, Tr), \quad (1)$$

где $N = \{n_1, n_2, \dots, n_i\}$ - множество транспортных узлов ТЛИН;

$A = \{a_1, \dots, a_l\} \subseteq N \times N \times M$ - множество дуг (дуга $a_i \in A$ может быть идентифицирована как $(n_i, n_j, m_k)_i$, где $n_i, n_j \in N \wedge m_k \in M$;

$C = \{C_1, \dots, C_m\}$ набор унимодальных сетей, называемых компонентами, где каждый $C_g = (Ng, Ag, Pg)$, $Ng \subseteq N$, $Ag \subseteq A$ и $Pg \subseteq P$. C определяется так, что $N = \bigcup_g Ng$, $A = \bigcup_g Ag$ и $P = \bigcup_g Pg$ для всех $g = 1, \dots, m$, $C_g = (Ng, Ag, Pg) \wedge C_g \in C$;

$Tr = \{t_r \mid t_r = (n_i, n_j), n_i \in Ng \wedge n_j \in Ng' \wedge n_i = n_j \wedge g \neq g'\}$ - дуг, определяющих возможность включения в решение.

Определим, что при формировании мультимодальных маршрутов на множестве N задаются некоторые вершины $s, d \in N$, соответствующие адресам грузоотправителя и грузополучателя.

Для графа (1), две его различные компоненты C_g и $C_{g'}$, имеющие $Ng \cap Ng' = \emptyset$ не являющиеся обязательными, занятое однако условие $Ag \cap Ag' = \emptyset$ должно всегда сохраняться. Узел n называется точкой перевалки, когда $n \in Ng \cap Ng'$, то есть любой узел, который принадлежит более чем одному компоненту.

В отличие от [10] в предлагаемой модели Tr взвешивается с помощью стоимостных оценок перевалки груза в соответствующих $t_r \in Tr$.

На рисунке 1 показан пример, где C_1, C_2 и C_3 являются компонентами, соединенными дугами t_{r1}, t_{r2}, t_{r3} перевалки через соответствующие точки перевалки a, b и c . Также из рисунка видно, что узлы s и узлы d могут входить в состав более чем одного компонента. Абстракция представленного на рисунке 1 графа разделяет все виды транспорта в унимодальных сетях.

Для каждого компонента C_1, C_2, C_3 определяется собственное подмножество стоимостных оценок его дуг

$P^{c1} = \{p_{a1}^{c1}, p_{a2}^{c1}, p_{a3}^{c1}, p_{a4}^{c1}\}, P^{c2} = \{p_{a1}^{c2}, p_{a2}^{c2}, p_{a3}^{c2}\}$ и $P^{c3} = \{p_{a1}^{c3}, p_{a2}^{c3}, p_{a3}^{c3}, p_{a4}^{c3}, p_{a5}^{c3}\}$ соответственно. При этом $P = \bigcup_{ci} P^{ci}$.

Очевидно, что в данном случае множество стоимостных оценок перевалки определяется как $T_r = \{t_{r1}, t_{r2}, t_{r3}\}$.

Значения стоимостных оценок для всех элементов P_{aj}^{ci} и t_{rk} определяются соответствующими кортежами (2).

На основании совокупности принятых выше допущений, опишем значения стоимостных оценок $p_{ai} \in P$ и $t_{ij} \in T_r$ кортежами следующего вида

$$(t, p, l), \quad (2)$$

где t - срок доставки/перевалки груза;

p - расходы на доставку/перевалку груза;

l - длина маршрута (для t_{ij} не задается или равна нулю).

Причем вес каждого ребра, определяем как $p_{a1} = (t_1, p_1, l_1)$, $p_{a2} = (t_2, p_2, l_2)$ и т.д., а вес стоимостных оценок перевалки груза - $t_{r1} = (t'_1, p'_1, 0)$, $t_{r2} = (t'_2, p'_2, 0)$, $t_{r3} = (t'_3, p'_3, 0)$ соответственно.

Рисунок 1. Иллюстрация графа переноса

Задача оптимизации мультимодальных перевозок, целевая функция

На основании (1) и множества стоимостных оценок P и T_r , выраженных с помощью (2), целевая функция, определяющая эффективность/оптимальность того или иного маршрута ММП будет определена следующим образом:

$$F = \alpha_1 \cdot f_1 + \alpha_2 \cdot f_2 + \alpha_3 \cdot f_3, \quad (3)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты критериев целевой функции;

f_1 – критерий, определяющий суммарное время доставки: $f_1 = \sum t_i$;

f_2 – критерий, определяющий общие финансовые затраты на перевозку и перевалку груза: $f_2 = \sum p_i$;

f_3 – критерий, определяющий общую, длину маршрута ГМП: $f_3 = \sum l_i$.

Важно отметить, что для практического использования критериев f_1, f_2, f_3 – они должны быть нормированы.

Значения весовых коэффициентов α_1, α_2 и α_3 задаются мультимодальным оператором с учетом пожеланий ГО и ГП, описанных выше.

Так как значения стоимостных оценок t, p и l для всех p_{ai} и t_{ri} могут меняться во времени (например, изменение тарифов перевалки в дневное и ночное время) то граф (1) по сути, является темпоральным.

Таким образом, задача

$$F(f_1, f_2, f_3) \rightarrow \min \quad (3)$$

является динамической, а ее решение носит вариативный характер.

Заключение

Решения для управления маршрутами ранее применялись к одиночному мономодальному режиму транспортировки. Новая тенденция сегодня заключается в том, чтобы найти подходы к управлению перевозками, способные предложить маршруты, которые могут включать несколько различных видов транспорта. Такие решения для управления маршрутами считаются мультимодальными. Задача

оптимизации таких маршрутов по критериям стоимость, время и длина маршрута может быть решена следующим образом:

1. определяем s , d и точки перевалки груза;
2. считаем маршруты между точками перевалки для конкретных видов транспорта;
3. формируем и оцениваем с помощью (3) полученный маршрут ГММП.

1. Плужников К.И., Милославская С. В. Мультимодальные и интермодальные перевозки. М.: РосКонсульт, 2001. 368 с.
2. Левкин Г. Г. Организация интермодальных перевозок: конспект лекций / Г. Г. Левкин. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. — 178 с.
3. Левиков, Г.А. Смешанные перевозки (состояние, проблемы, тенденции) / Г.А. Левиков, В.В. Тарабанько. - 2-е изд., испр. и доп. — М. : РосКонсульт, 2006. — 224 с.
4. Василёнок В.Л., Негреева В.В., Шевченко Я.В. Организация интермодальных перевозок: международный и российский опыт // Экономика и экологический менеджмент. 2015. №4.
5. Ву С. Х. и соавт. Выбор мультимодальных маршрутов в морских перевозках: на примере корейских экспортеров автозапчастей // Морская политика и управление. - 2018. - Т. 45. - №. 1. - С. 19-33.
6. Хао С., Юэ Ю. Оптимизация сочетания транспортных маршрутов и режимов динамического программирования для контейнерной мультимодальной транспортной системы // Технологическая инженерия. - 2016. - Т. 137. - С. 382-390.
7. Тимофеев Ю. С., Земцова Е. М. Совершенствование организации мультимодальных перевозок в России // Редакционная коллегия. — 2016. — Т. 1. — С. 316.
8. Цзэн Т., Ху Д., Хуан Г. Распределение режимов транспортировки мультимодальных перевозок в автомобильной логистике // Процедурно-социальные и поведенческие науки. - 2013. - Т. 96. - С. 405-417.
9. Галвез-Фернандес, С. и соавт. Распределенный подход к решению зависящих от времени задач в мультимодальных транспортных сетях // Достижения в исследовании операций. - 2009. - Т. 2009.
10. Айед, Х., Галвез-Фернандес, С., Хаббас, З., Хадрауи, Д., 2011. Решение нестационарных задач мультимодального транспорта с использованием модели графа переноса. Вычи. Ind. Eng. 61, 391–401.