

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РАДИАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

В работе представлено решение задачи маршрутизации автомобильного транспорта на основе усовершенствованного алгоритма метода фиктивных узлов и ветвей, позволяющего получить более точные результаты. Решение задачи маршрутизации предлагает использование методики определения оптимальных схем движения, которое до настоящего времени точное решение задачи в общем случае не найдено. Одной из причин этого является наличие различных ограничений при определении целевой функции, учитывающих специфику рассматриваемого вида перевозок. В частности при развозке нефтепродуктов необходимо учитывать следующие особенности: маршрут осуществляется по специально разработанной схеме, учитывающей особенности перемещения опасного груза, который не всегда совпадает с кратчайшими расстоянием между пунктами; для перевозки нефтепродуктов используются автомобили большой грузоподъемности. В результате чего во многих случаях свободного объема емкостей на автозаправочной станции оказывается недостаточно для организации маятникового маршрута.

В работе предлагается путь повышения эффективности развозки грузов, методом фиктивных узлов и ветвей при решении задачи маршрутизации транспорта на основе ввода внешних дублирующих узлов, что позволяет более точно описать процесс перевозки грузов.

Предложен усовершенствованный алгоритм метода фиктивных узлов и ветвей, содержащий 14 этапов, позволяющий получить точное решение задачи маршрутизации транспорта для определения радиальных маршрутов.

Приводится решение конкретной транспортной задачи на основе имеющего транспортного графа по предложенному алгоритму, позволяющее определять оптимальные радиальные маршруты, для перевозки грузов автомобильным транспортом, на основе использования точного метода линейного программирования.

Ключевые слова: фиктивный узел, граф, матрица, метод, алгоритм.

Для снижения стоимости транспортировки грузов требуется разработка эффективных алгоритмов для определения кратчайших маршрутов передвижения транспорта. Общая математическая формулировка этой задачи известна как задача маршрутизации транспорта.

Задачи определения маршрута и планирование пути представляют важную часть любой распределительной системы, обслуживающей группу клиентов при известных потребностях. Цель заключается в создании маршрутов минимальной длины (стоимости) при удовлетворении потребностей клиентов в срок.

Решение задачи маршрутизации предлагает использование методики определения оптимальных схем движения, которое до настоящего времени точное решение задачи в общем случае не найдено. Одной из причин этого является наличие различных ограничений при определении целевой функции, учитывающих специфику рассматриваемого вида перевозок. В частности при развозке нефтепродуктов необходимо учитывать следующие особенности. Во-первых, маршрут осуществляется по специально разработанной схеме, учитывающей

особенности перемещения опасного груза, который не всегда совпадает с кратчайшими расстоянием между пунктами. Во-вторых, для перевозки нефтепродуктов используются автомобили большой грузоподъемности (например, Mercedes-Benz Actros 3341S). В результате чего во многих случаях свободного объема емкостей на автозаправочной станции (АЗС) оказывается недостаточно для организации маятникового маршрута.

Рассмотрим открытую постановку задачи перевозки нефтепродуктов, когда запасов сырья на нефтебазах достаточно. Возникает задача планирования оптимальных радиальных маршрутов, чтобы общий холостой пробег был минимальным. Для ее решения в работах [1]–[4] используется методика ветвей и ветвей, которая нуждается в корректировке, так как не учитывает вторую особенность перевозки нефтепродуктов, и следовательно, не обеспечивает повторное посещение на маршруте нефтебаз.

Для устранения указанного недостатка предлагается использовать дублирующий внешний фиктивный узел Φ в вершинах транспортного графа, имеющий одинаковые связи с

действительным D. Ветви, соединяющие его с действительным узлом, называются фиктивными ветвями: Ф-1, Ф-2 и Ф-3 (рисунок 1).

На рисунке 1 фиктивные узлы и ветви обозначены пунктирными линиями. Следует отметить, что действительную и фиктивную вершины соединять нельзя. Ввод дублирующего узла превращает циклический контур с симметричной матрицей в разомкнутый граф одинаковой длины, представленный на рисунке 2. Исходный гамильтонов контур с центральным пунктом Ц изображен на рисунке 2а. Вводится в контрольную вершину К фиктивный узел – КФ. КФ связывается со смежными действительными узлами фиктивными дугами равного веса а и б, как и в пункте К (рисунок 2б). Получатся пара разомкнутых маршрутов из исходного центрального пункта Ц в конечные вершины К и КФ.

Чтобы получить гамильтонов контур аналогично вводится фиктивный узел ЦФ в начальный узел передвижения Ц (рисунок 3). Соединяются контрольные вершины К и КФ с начальными пунктами маршрута Ц и ЦФ, ориентированными связующими фиктивными ветвями [5].

Ветви К-ЦФ и КФ-Ц удаляются в начале расчета, чтобы обеспечить заданное направление перемещения.

Усовершенствованный алгоритм решения задачи. С учетом выше сказанного предложен усовершенствованный алгоритм метода фиктивных ветвей и границ для определения радиальных маршрутов, который выглядит следующим образом:

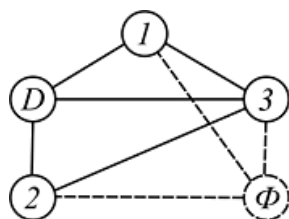


Рисунок 1. Внешний фиктивный узел

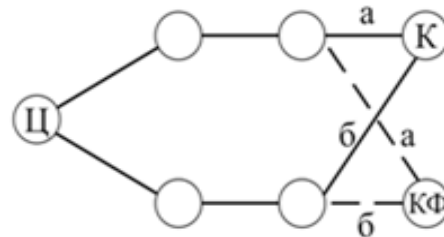
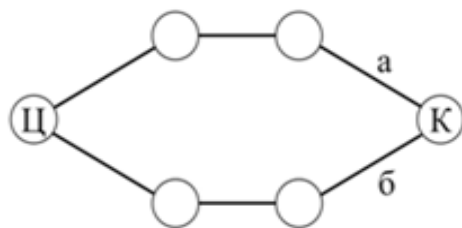


Рисунок 2. Схема ввода фиктивного узла КФ

1. Составляется исходная матрица весов – расстояний, стоимостей или времени – между пунктами исследуемой транспортной сети a_{ij} .

2. Формируется фиктивный транспортный граф путем дополнительного введения в транспортную сеть дублирующих узлов.

3. Составляется фиктивная матрица расстояний – L^{ϕ} .

4. Затем в каждой строке исходной матрицы находится минимальный элемент h_i , который вычитается из всех остальных элементов a_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$a'_{ij} = a_{ij} - h_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

5. Составляется новая матрица. В полученной матрице находится минимальный элемент в каждом столбце h_j , который вычитается из всех остальных элементов a'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$a''_{ij} = a'_{ij} - h_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (2)$$

6. Из приведенной матрицы удаляются строки и столбцы с номерами узлов, в которые входят и из которых выходят радиальные маршруты, соответственно.

7. Вычисляется новая приведенная матрица L_j^{np} .

8. На основе полученной матрицы составляется оценочная матрица L_i^o . Для этого устанавливается оценка каждого элемента с a''_{ij} по формуле:

$$A = \min a''_{ik} + \min a''_{sj}, \quad (3)$$

где a''_{ik} , a''_{sj} – наименьшие элементы соответственно в строке i и столбце j ; $k \neq j, s \neq i, k, s = 1, 2, 3, \dots, n$.

9. Создается матрица L_i путем вычеркивания ячейки $k-s$ с максимальной оценкой:

$$A_{ks} = \max A_{ij}; \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (4)$$

10. Блокируется ячейка на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущая к зацикливанию цепи со звеном $k-s$.

11. Возврат в пункт 5. Операции по пунктам 5–7 выполняются до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь станет очевидной.

12. При вырождении решения, устанавливаются ветви, связывающие полученные два подмножества [6].

13. Возврат в пункт 5 и удаление на следующем шаге в приведенной матрице одной из ветвей, найденных в пункте 3.

14. Оптимальная связующая ветвь определяется путем сравнения всех возможных вариантов по наименьшей длине маршрута.

Определение оптимальной комбинации транспортных маршрутов. Рассмотрим применение разработанного алгоритма на конкретной задаче. Задан транспортный граф из семи вершин, рисунок 4. Требуется определить два радиальных маршрута, выходящих из пункта 1 в пункт 2, чтобы их суммарная длина была минимальной. Исходная матрица расстояний приведена в таблице 1. После введения фиктивных узлов 8Ф и 9Ф получается расчетный транспортный граф (рисунок 5). На рисунке 5 фиктивные ветви показаны пунктирными линиями. Расчетная матрица расстояний между пунктами приведена в таблице 2 [7].

Над матрицей выполняется операция приведения (таблица 3). Далее производим операцию приведения в строках 3 и 7. Выполняем операцию приведения в столбце 7.

Далее, удаляются строки Б2 и 9Ф, из которых выходят маршруты, а также столбцы Б1 и 8Ф, в которые они входят (таблица 4). После удаления строк и столбцов данные сводятся в таблицу 5.

Далее производится оценка нулевых элементов (таблица 6). Наибольшую оценку имеют две ветви 3–4 и 7–5. Удаляется звено 3–4, как имеющее наименьшую оценку. Выводится таблица 7.

В матрице (таблица 6) блокируется звено 4–3. Аналогично выполняется операция оценки нулевых элементов. Далее удаляется ветвь 7–5 с наибольшей оценкой 4 (таблица 6).

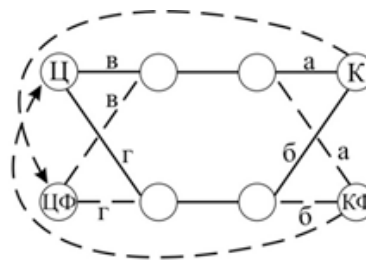


Рисунок 3. Ввод ориентированных внешних фиктивных ветвей в узел Ц.

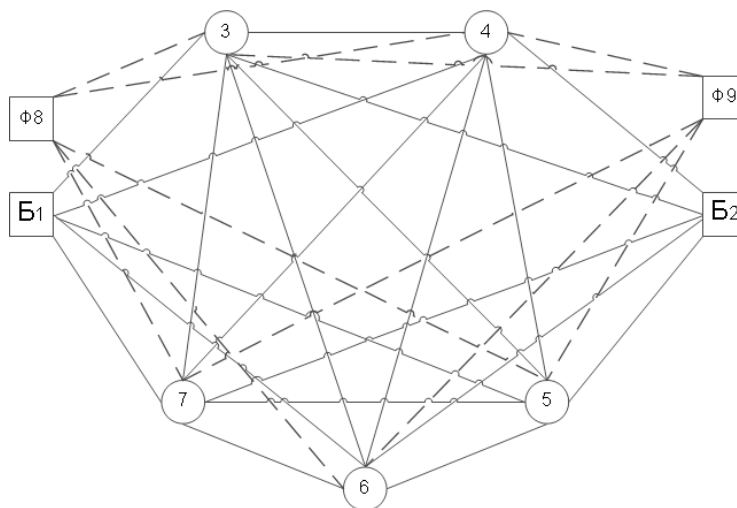
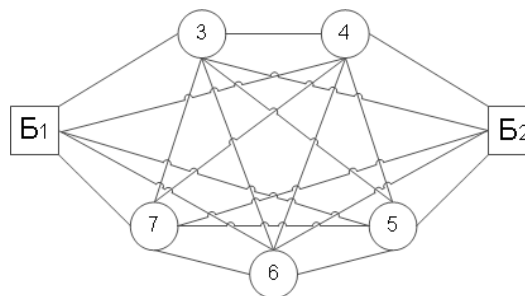


Рисунок 5. Расчетный транспортный граф

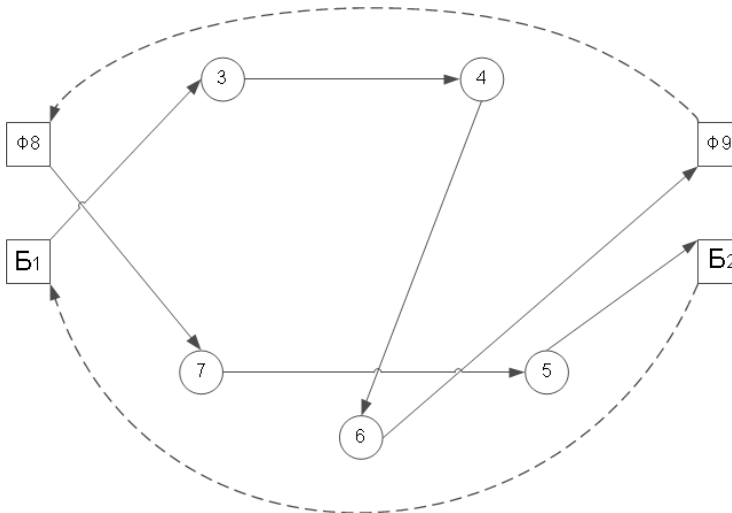


Рисунок 6. Граф фиктивного кольцевого маршрута

Таблица 1. Исходная матрица расстояний

	Б ₁	Б ₂	3	4	5	6	7
Б ₁			1	5	6	4	2
Б ₂			4	7	3	2	10
3	1	4		2	6	11	8
4	5	7	2		3	4	5
5	6	3	6	3		8	4
6	4	2	11	4	8		9
7	2	10	8	5	4	9	

Таблица 2. Расчётная матрица расстояний

	Б ₁	Б ₂	3	4	5	6	7	8Ф	9Ф
Б ₁			1	5	6	4	2		
Б ₂			4	7	3	2	10		
3	1	4		2	6	11	8	1	4
4	5	7	2		3	4	5	5	7
5	6	3	6	3		8	4	6	3
6	4	2	11	4	8		9	4	2
7	2	10	8	5	4	9		2	10
8Ф			1	5	6	4	2		
9Ф			4	7	3	2	10		

Таблица 3. Операция приведения расчетной матрицы

	Б ₁	Б ₂	3	4	5	6	7	8Ф	9Ф	
Б ₁			0	4	5	3	1			1
Б ₂			2	5	1	0	8			2
3	0	3		1	5	10	7	0	3	1
4	3	5	0		1	2	3	3	5	2
5	3	0	3	0		5	1	3	0	3
6	2	0	9	2	6		7	2	0	2
7	0	8	6	3	2	7		0	8	2
8Ф			0	4	5	3	1			1
9Ф			2	5	1	0	8			2

Таблица 4. Удаление строк Б₂ и 9Ф и столбцов Б₁ и 8Ф

	Б ₁	Б ₂	3	4	5	6	7	8Ф	9Ф
Б ₁			0	4	4	3	0		
Б ₂			2	5	0	0	7		
3	0	3		1	4	10	6	0	3
4	3	5	0		0	2	2	3	5
5	3	0	3	0		5	0	3	0
6	2	0	9	2	5		6	2	0
7	0	8	6	3	1	7		0	8
8Ф			0	4	4	3	0		
9Ф			2	5	0	0	7		
					1		1		

Таблица 5. Вид матрицы после операций приведения

	Б ₂	3	4	5	6	7	9Ф
Б ₁		0	4	4	3	0	
3	3		1	4	10	6	3
4	5	0		0	2	2	5
5	0	3	0		5	0	0
6	0	9	2	5		6	0
7	8	6	3	1	7		8
8Ф		0	4	4	3	0	

Таблица 6. Оценка нулевых элементов

	Б ₂	3	4	5	6	7	9Ф
Б ₁		0 ⁰	4	4	1	0 ⁰	
3	2		0 ²	3	7	5	2
4	5	0 ⁰		0 ⁰	0 ¹	2	5
5	0 ⁰	3	0 ⁰		3	0 ⁰	0 ⁰
6	0 ⁰	9	2	5		6	0 ⁰
7	7	5	2	0 ²	4		7
8Ф		0 ⁰	4	4	1	0 ⁰	
					1		

Таблица 7. Приведенная матрица после удаления звена 3-4

	Б ₂	3	5	6	7	9Ф
Б ₁		0 ⁰	4	1	0 ⁰	
4		∞	0 ⁰	0 ¹	2	5
5	0 ⁰	3		3	0 ⁰	0 ⁰
6	0 ⁰	9	5		6	0 ⁰
7	7	5	0 ⁴	4		7
8Ф		0 ⁰	4	1	0 ⁰	

Таблица 8. Исключение ветви 4-6

	Б ₂	3	6	7	9Ф
Б ₁		0 ⁰	1	0 ⁰	
4			0 ³	2	5
5	0 ⁰	3	3	∞	0 ⁰
6	0 ⁰	9		6	0 ⁰
8Ф		0 ⁰	1	0 ⁰	

Таблица 9. Исключение ветви Б₁-3

	Б ₂	3	7	9Ф
Б ₁		0 ⁰	0 ⁰	
5	0 ⁰	3		0 ⁰
6	0 ⁰	9	6	0 ⁰
8Ф		0 ⁰	0 ⁰	

Таблица 10. Исключение ветви 5-Б₂

	Б ₂	7	9Ф
5	0 [∞]		0
6	∞	6	0
8Ф		0 [∞]	

Таблица 11. Исключение ветвей 6-9Ф и 8Ф-7

	7	9Ф
6	6	0 [∞]
8Ф	0 [∞]	

Дальнейшее решение матриц выполняется аналогично. При этом поэтапно исключаются ветви 4–6, Б1–3, 5–Б2, 6–9Ф и 8Ф–7 (табл. 8 – 11)

В результате расчетов получается фиктивный кольцевой маршрут Б1–3–4–6–9Ф–8Ф–7–5–Б2, который изображён схематично на рисунке 6. При отделении из него фиктивных узлы Ф8 и Ф9, получается два радиальных маршрута: Б1–3–4–6–Б2 и Б1–7–5–Б2, длиной 9 км каждый (рисунок 7).

Рассмотренную методику можно использовать и при ином количестве радиальных маршрутов [8], [9].

Заключение:

1) представлен путь повышения эффективности развозки грузов, методом фиктивных узлов и ветвей при решении задачи маршрутизации транспорта на основе ввода внешних дублирующих узлов, что позволяет более точно описать процесс перевозки грузов;

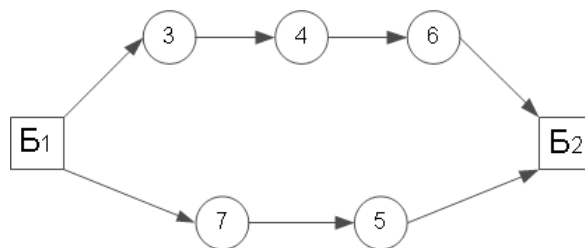


Рисунок 7. Оптимальный граф радиального маршрута

2) приводится решение транспортной задачи, позволяющее определять оптимальные радиальные маршруты, для перевозки грузов автомобильным транспортом, на основе использования точного метода линейного программирования;

3) предложен усовершенствованный алгоритм метода фиктивных узлов и ветвей, позволяющий получить точное решение задачи маршрутизации транспорта для определения радиальных маршрутов.

23.01.2015

Список литературы:

1. Домке Э.Р., Жесткова С.А. Особенности модели функционирования интегрированной системы развозки грузов// Мир транспорта и технологических машин .– 2012.-№3.-С.94-99.
2. Подшивалова К.С., Домке Э.Р., Подшивалов С.Ф., Жесткова С.А. Использование фиктивных узлов для определения оптимальной комбинации маршрутов с совместным центром // Известия высших учебных заведений Поволжский регион. Технические науки. .– 2011.-№2.-С.81-91.
3. Литл Дж. / Алгоритм для решения задачи о коммивояжере / Литл Дж., Мурти К. // Экономика и математические методы. 1965. Т. 1. Вып. 1. С. 94 – 107.
4. Пожидаев М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: дис. канд. техн. наук / М.С Пожидаев. – Томск: 2010. 134с.
5. Домке Э.Р., Жесткова С.А., Акимова В.Ю. Особенности решения задачи маршрутизации транспорта методом « ветвей и границ»// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) .– 2012.-№2.-С.76-79.
6. Жесткова С.А. Совершенствование организации перевозочного процесса автомобилями (на примере доставки нефтепродуктов на автозаправочные станции): дис. канд. техн. наук / С.А. Жесткова. – Пенза: 2013. – 167 с.
7. Жесткова С.А. Использование метода « ветвей и границ» при решении задач маршрутизации транспорта// Мир транспорта и технологических машин .– 2012.-№1.-С.94-100.
8. Домке Э.Р., Жесткова С.А. Оптимизация маршрутов при транспортировке строительных грузов на автомобильном транспорте // Региональная архитектура и строительство .– 2014.-№3.-С.172-177.

Сведения об авторах:

Котов Виталий Валерьевич, преподаватель кафедры автомобильного транспорта транспортного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, e-mail: v_v_kotov@mail.ru

Жесткова Светлана Анатольевна, старший преподаватель кафедры организации и безопасности движения автомобильно-дорожного института (АДИ) Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, кандидат технических наук, e-mail: s.zhestkova@yandex.ru

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 141, ауд. 12304