

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

В.В. БАРДАЧЕНКО, Ю.А. МЕРКУРЬЕВ, А.В. СОЛОМЕННИКОВ

Riga Technical University, Department of Modelling and Simulation,
 ph.: +371-7089514, Fax: +371-7089513, E-mail: merkur@itl.rtu.lv

Расходы на транспортировку грузов достигают две трети от общих логистических расходов, поэтому в последнее время всё больше внимания уделяется тщательному решению транспортных задач. Такие задачи, как и задачи составления расписания, обычно сводятся к задачам целочисленного линейного программирования, для решения которых разработаны многочисленные эффективные методы решения и соответствующие компьютерные программы. В общем случае при решении подобных задач возможны три исхода: система ограничений может быть несовместной (при этом задача вообще не будет иметь решения при заданных условиях); решение может быть одно (но оно может оказаться неприемлемым); наконец, решений может быть бесконечно много.

Ключевые слова: транспортная задача, логистика, линейное программирование

1. Введение

В качестве ограничений и внешних параметров задачи выступает большое количество переменных, таких, как скорость движения транспорта на различных участках в разное время суток, координаты естественных препятствий (реки, озёра, морской залив,...), перерывы на питание и отдых, интервалы времени, в течение которых нужно доставить груз в заданные пункты, вес и объём груза для каждого пункта, интервалы времени погрузки или разгрузки товара и т.п. Заметим, что в общем случае для единственности решения задачи линейного программирования вовсе не требуется равенства числа переменных и числа ограничений (нестрогих неравенств). При поиске оптимального решения требуется найти маршруты движения транспортных средств, которые обеспечивают доставку грузов всем потребителям с минимальными затратами (стоимость, время, расстояние). При этом неявно решается задача выбора числа и типа транспортных средств, чем мы и воспользуемся в дальнейшем. Решение задачи оптимизации транспортировки грузов должно не только удовлетворять заданным условиям, но и быть устойчивым по отношению к возможным изменениям ситуации (например, к длительности остановок в пути). В данной статье вопросы рискоустойчивости транспортных маршрутов анализируются на примере транспортировки мясных продуктов от их производителей к потребителям.

2. Проблема рискоустойчивости оптимальных маршрутов

В качестве базисной основы рассмотрим практическую задачу выбора транспортных средств и маршрутов движения каждого транспортного средства для регулярного снабжения мясными продуктами питания жителей 32-х городов Латвии (Таблица 1) из некоторого пункта «S», где расположен завод по производству мясных изделий для продажи (Рисунок 1).

ТАБЛИЦА 1. Города Латвии, в которые ежедневно нужно доставлять мясные продукты из источника S

Nr.	Название	Доставить, kg	Nr.	Название	Доставить, kg	Nr.	Название	Доставить, kg
1	Ainazi	50	12	Kolka	50	23	Salaspils	70
2	Auce	60	13	Kuldiga	120	24	Saldus	70
3	Baldone	60	14	Liepaja	200	25	Saulkrasti	50
4	Bauska	80	15	Limbazi	70	26	Staicele	50
5	Cesis	200	16	Olaine	90	27	Stende	50
6	Jaunjelgava	60	17	Pavilosta	50	28	Tukums	90
7	Jelgava	200	18	Piltene	50	29	Valdemarpils	50
8	Jurmala	60	19	Priekule	50	30	Valmiera	100
9	Kalnciems	70	20	Riga	300	31	Vangazi	50
10	Kandava	80	21	Rujiena	50	32	Ventspils	200
11	Kegums	60	22	Salacgriva	50			

На следующем рисунке показано географическое расположение источника продукции S и мест поставки продукции из источника S.

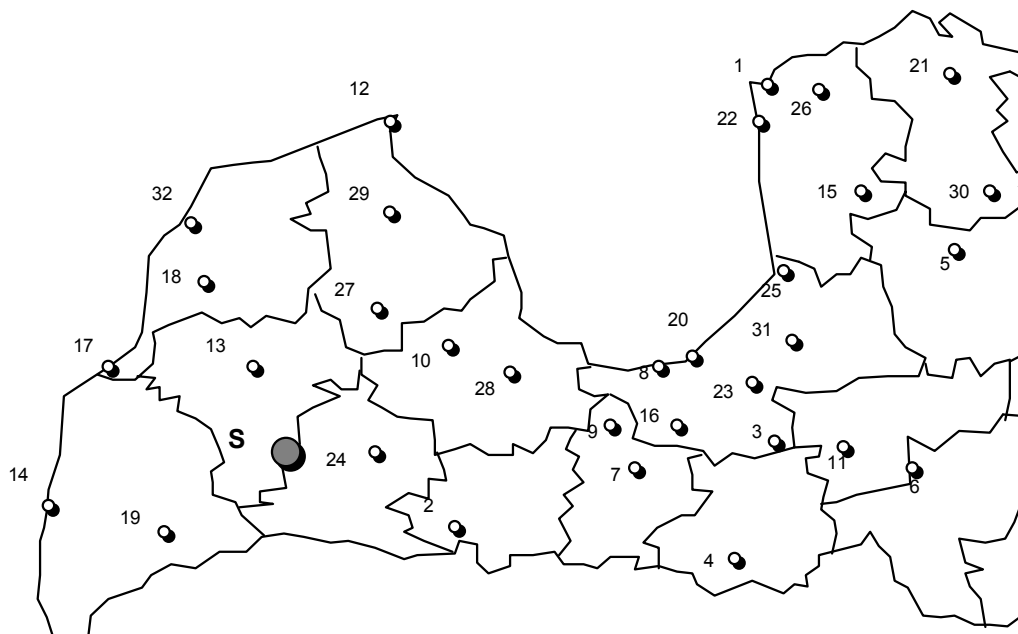


Рисунок 1. Географическое расположение мест доставки продукции из пункта S

В качестве постоянных исходных расчётных параметров задачи задаются географические координаты городов-потребителей продукции и координаты Рижского залива (который мешает движению транспорта по прямой). Количество переменных параметров, которые придется учитывать, обычно намного больше. Сюда входят параметры времени, такие как начало работы и конец работы, время на погрузку/разгрузку, оформление документов, дополнительное время в зависимости от веса или объёма выгружаемого/погружаемого груза, перерывы на питание и отдых, их начало и продолжительность, «временные окна» желательной доставки груза в места назначений. Требуется задать расходы на каждый вид транспорта, на топливо, на зарплату водителей и доплаты за сверхурочную работу. Иногда приходится ограничивать расстояния, чтобы предотвратить интенсивный износ отдельных транспортных средств.

Для определенности рассмотрим задачу выбора вида транспорта, маршруты которого минимизируют транспортные расходы. Допустим, что нам нужно выбирать в любой комбинации машины из двух видов транспорта. Имеются пикапы с полезной нагрузкой 500кг и начальной стоимостью \$6000 (type 1) и пикапы грузоподъемностью 1300кг и начальной стоимостью \$10000 (type 2). Оба типа пикапов могут развозить груз со средней скоростью 50 миль в час (80км/час) с фиксированным временем разгрузки и оформления документов в размере 20 минут в каждом месте остановки. Оплата водителя пикапа 1 типа (500кг) принята \$2/час, 2-го типа \$2.5/час. Сверхурочное время оплачивается из расчёта \$4/час. Стоимость эксплуатации с учётом расходов на топливо составляет для пикапов 1 типа \$0.18/миля и \$0.22/миля для пикапов 2-го типа.

3. Влияние ограничения максимального времени маршрута на оптимальный по стоимости выбор транспорта (и на его маршруты)

Ограничивая максимальное время самого длинного маршрута соответственно 9, 10, 11 и 12 часов, проведём сравнительный анализ полученных оптимальных по стоимости решений. При этом для решения соответствующих оптимизационных задач будем использовать программный пакет **LOGWARE** [1].

Самая высокая стоимость перевозок и число необходимых транспортных средств наблюдаются при 9-ти часовом ограничении времени маршрута (Рисунки 2, 3).

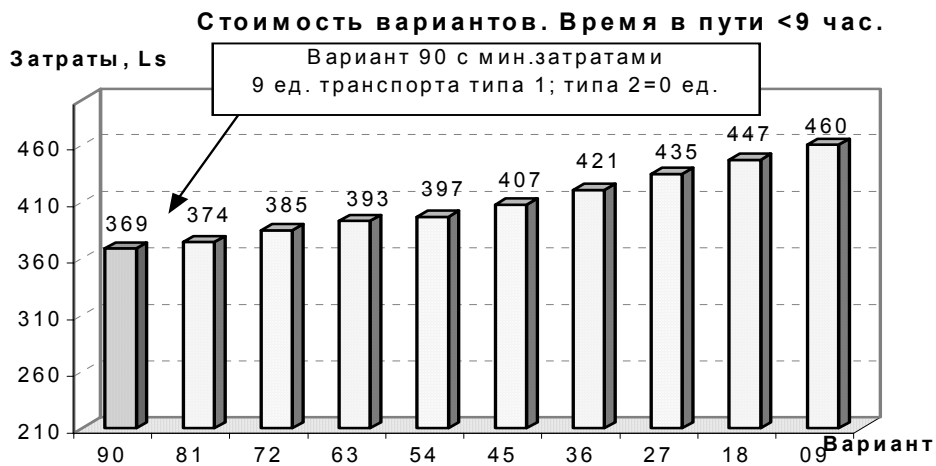


Рисунок 2. Расчётные затраты на варианты маршрутов при 9-ти часовом ограничении времени и разном составе транспортных средств.

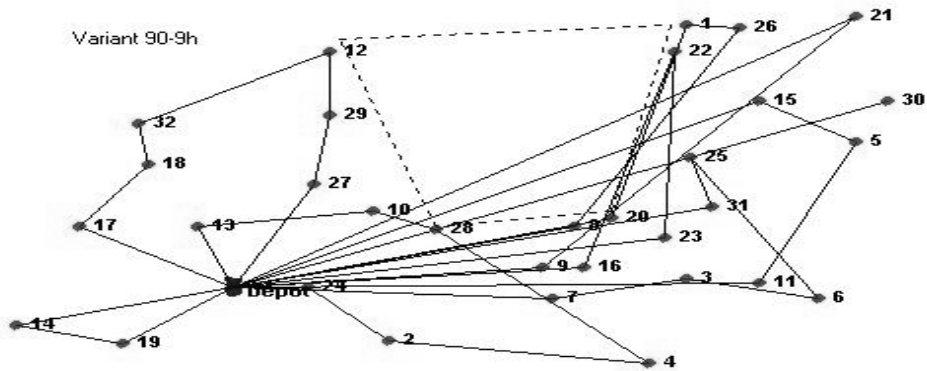


Рисунок 3. Наилучшие маршруты при 9-ти часовом ограничении времени (соответствуют 9 единицам транспортных средств типа 1).

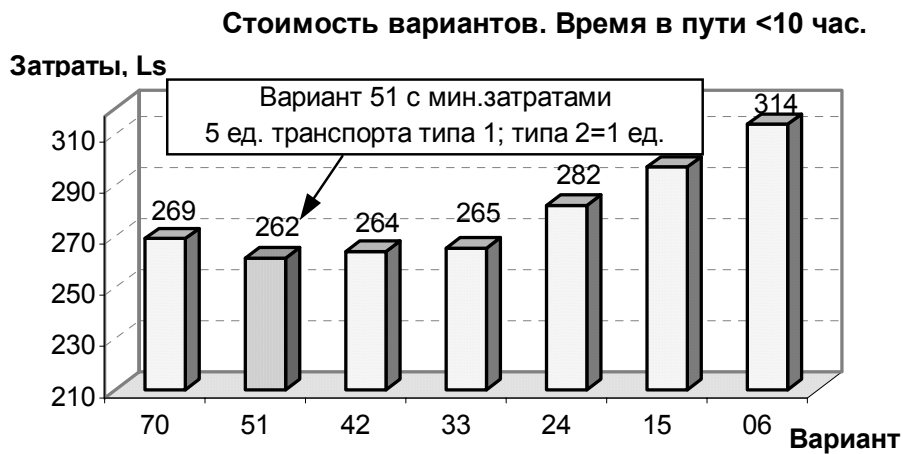


Рисунок 4. Расчётные затраты на варианты маршрутов при 10-ти часовом ограничении времени и разном составе транспортных средств.

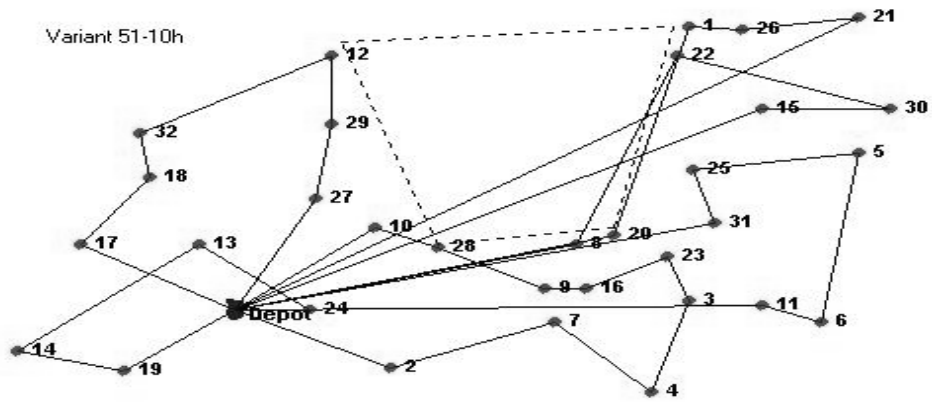


Рисунок 5. Наилучшие маршруты при 10-ти часовом ограничении времени (соответствуют 5 единицам транспортных средств типа 1 и 1 единице транспортных средств типа 2).

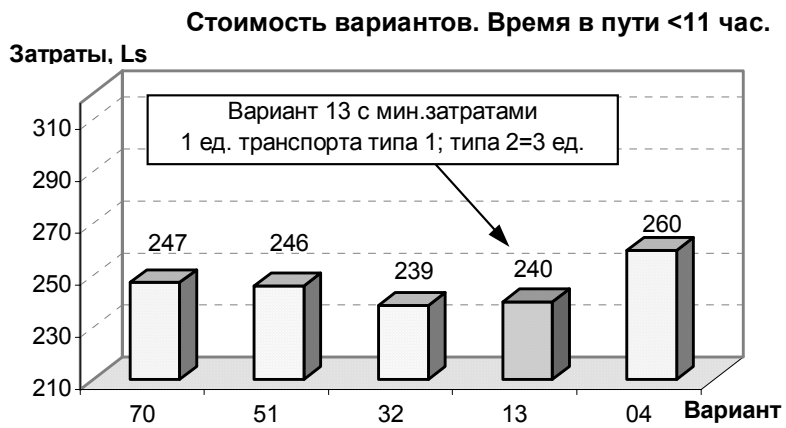


Рисунок 6. Расчётные затраты на варианты маршрутов при 11-ти часовом ограничении времени и разном составе транспортных средств.

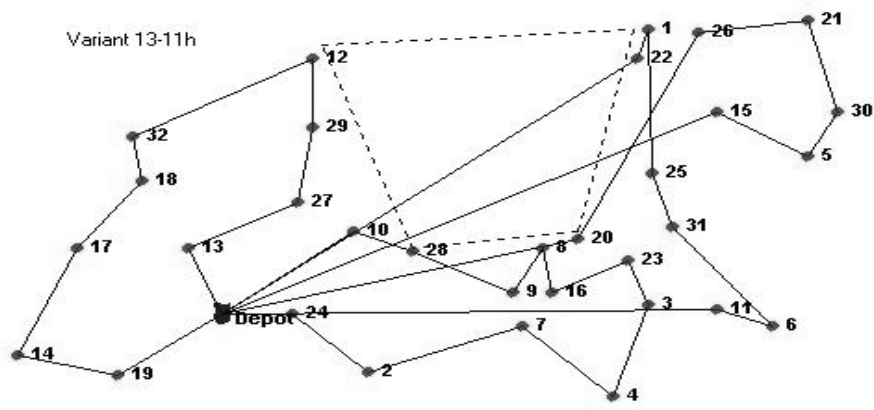


Рисунок 7. Наилучшие маршруты при 11-ти часовом ограничении времени (соответствуют 1 единице транспортных средств типа 1 и 3 единицам транспортных средств типа 2).

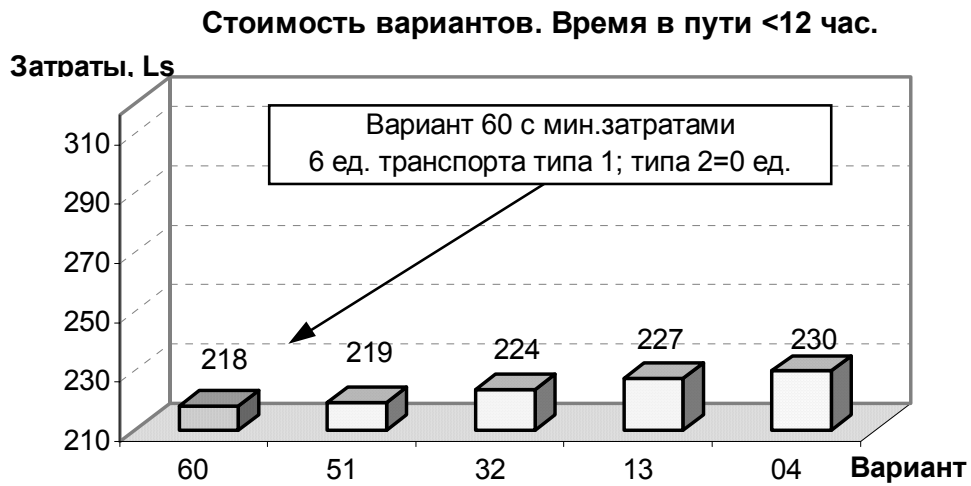


Рисунок 8. Расчётные затраты на варианты маршрутов при 12-ти часовом ограничении времени и разном составе транспортных средств.

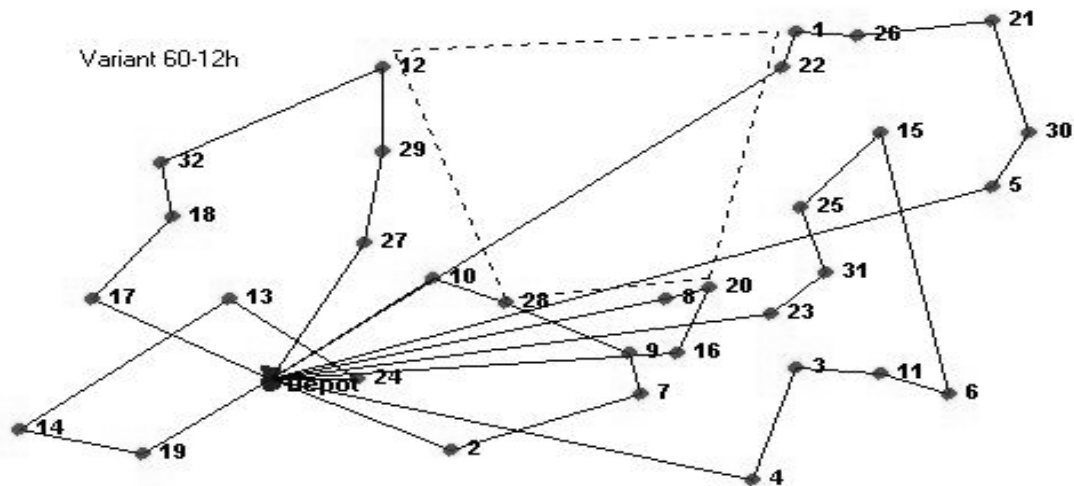
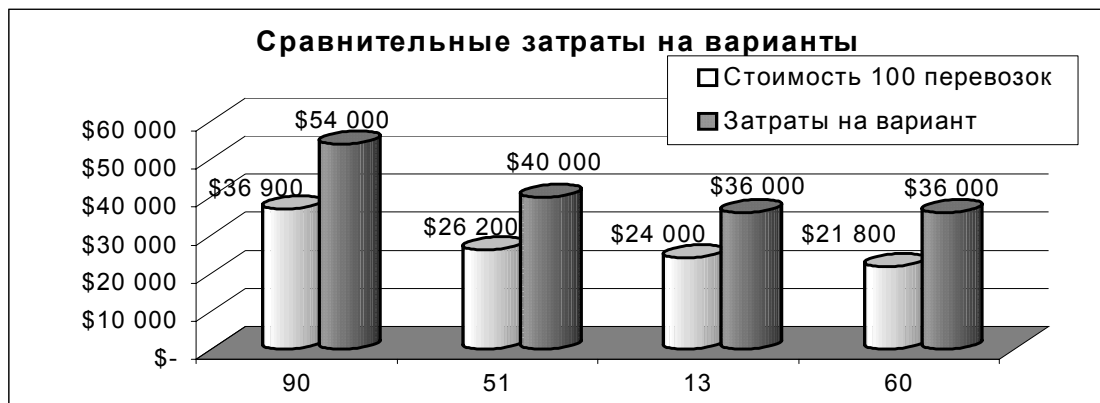


Рисунок 9. Наилучшие маршруты при 12-ти часовом ограничении времени соответствуют 6 единицам транспортных средств типа 1.

Сведём вместе найденные наилучшие решения для различных ограничений по времени и рассмотрим проблему выбора (покупки) транспортных средств.

ТАБЛИЦА 2. Стоимостные показатели наилучших вариантов маршрутизации при ограничениях времени маршрутов 9, 10, 11, 12 часов.

Вариант	Ограничение по времени, час.	Стоимость 100 перевозок	Затраты на вариант	Число транспорта типа 1	Число транспорта типа 2	Стоимость транспорта типа 1	Стоимость транспорта типа 2
90	9	\$ 36,900.00	\$54,000.00	9	0	\$ 54,000.00	\$ -
51	10	\$ 26,200.00	\$40,000.00	5	1	\$ 30,000.00	\$ 10,000.00
13	11	\$ 24,000.00	\$36,000.00	1	3	\$ 6,000.00	\$ 30,000.00
60	12	\$ 21,800.00	\$36,000.00	6	0	\$ 36,000.00	\$ -



Число транспорта типа 2 →

тип 1	0	1	2	3
0				
1				11час.(\$240)
2				
3				
4				
5		10час.(\$262)		
6	12час.(\$218)			
7				
8				
9	9час.(\$369)			

Рисунки 10-11. Неустойчивость выбора типов транспортных средств от допустимого времени маршрута.

Рисунки 10-11 иллюстрируют резкое изменение числа транспортных средств двух рассматриваемых типов в зависимости от ограничений на продолжительность маршрутов. Действительно, увеличивая на 1 час продолжительность 9-ти часового маршрута, нам придётся уменьшить с 9 до 5 число машин типа 1 и докупить 1 машину типа 2. При этом суммарные затраты снижаются более, чем на 26%, тогда как время возрастает лишь на 11%. Пока нас не волнует утомляемость водителей и связанный с этим риск аварий, увеличим время маршрута до 11 часов. Стоимость 11-ти часового варианта снизится примерно на 9% по сравнению с 10-ти часовым вариантом. Число машин типа 1 уменьшится до 1 единицы, тогда как число машин типа 2 возрастёт до 3 единиц. Дальнейший переход на 12-ти часовой вариант даст почти такое же снижение стоимости, однако, число машин типа 1 увеличится до 6.

Таким образом, выбор числа машин каждого типа является неустойчивым и во многих практических случаях не является строго формализуемым. Приемлемых решений можно добиться применением рациональных эвристических методов на базе эффективных вычислительных процедур. Такие процедуры должны обладать известной рискоустойчивостью решений, т.е. небольшие изменения числа транспортных средств, скорости движения, веса или объёма груза, времени разгрузки товара и т.п. не должны приводить к критическим последствиям в хозяйственной деятельности фирмы.

4. Рискоустойчивость ко времени

Для исследования рискоустойчивости решения транспортной задачи при изменении времени остановок и перерывов, рассмотрим варианты выбора маршрутов при наличии 2-х машин типа 1 и 3-х единиц транспортных средств типа 2. Такой «джентльменский» набор определён результатами предыдущих расчётов, когда для 10-ти и 11-ти часовых маршрутов наилучшими были соотношения 5:1 и 1:3 соответственно для транспорта 1-го и 2-го типов. Изменяемыми параметрами выступают время остановок для разгрузки груза и оформления документов, и время перерывов для отдыха водителя.

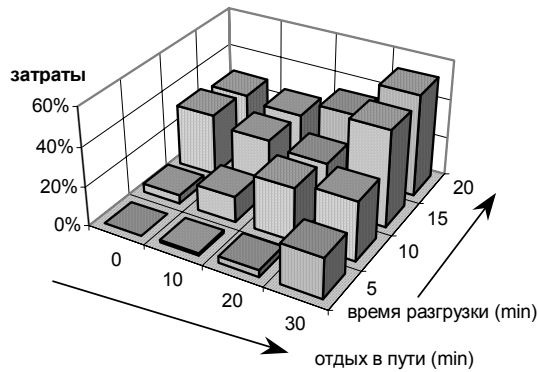
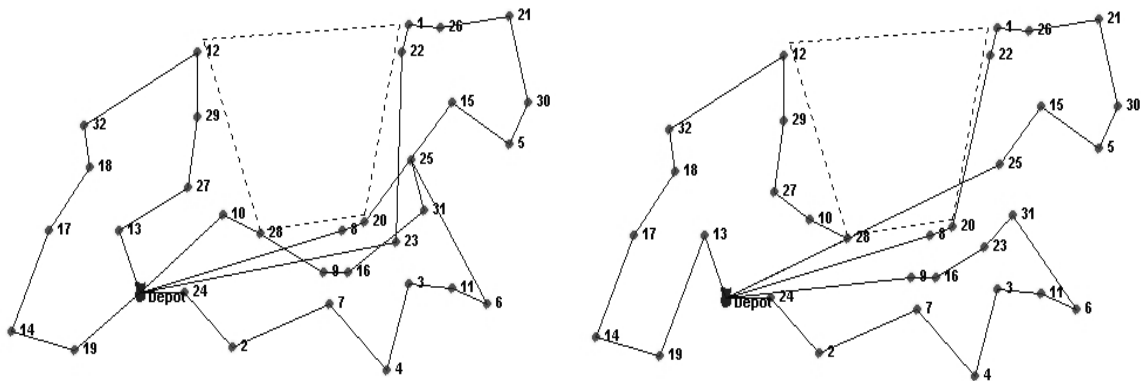


Рисунок 12. Относительная стоимость перевозок при 10-ти часовом ограничении маршрутов для 2-х машин типа 1 и 3-х машин типа 2 в зависимости от длительности времени остановок и времени перерывов.

Таким образом, как и следовало ожидать, решение с минимальной стоимостью достигается при минимальных непроизводительных расходах времени. Отметим, что в условиях задачи минимальное число машин равно только 3-м единицам типа 2 при среднем времени остановок 5 минут и при отсутствии специальных перерывов для отдыха.



Рисунки 13-14. «Квазиоптимальные» маршруты движения 3-х единиц транспорта 2 типа при 10-ти часовом ограничении на каждый маршрут и 10 минутных остановках для разгрузки без специальных перерывов для отдыха водителей.

ТАБЛИЦА 3. Основные параметры маршрутов на Рисунке 13.

Номер маршрута	Время в пути часы	Время движения часы	Время остановок часы	Время отправления	Время прибытия	Число остановок	путь dist,Mi	путь dist,km	Стоимость Route cost,\$
1	9.9	8.3	1.6	06:30AM	04:26PM	10	414	666	118.84
2	6.9	5.4	1.5	06:30AM	01:26PM	9	272	438	77.21
3	9.5	7.3	2.2	06:30AM	04:00PM	13	367	591	106.91
Итого	26.3	21	5.3			32	1053	1695	302.96

ТАБЛИЦА 4. Основные параметры маршрутов на Рисунке 14.

Номер маршрута	Время в пути часы	Время движения часы	Время остановок часы	Время отправления	Время прибытия	Число остановок	путь dist,Mi	путь dist,km	Стоимость Route cost,\$
1	8.5	6.7	1.8	06:30AM	02:59PM	11	333	536	95.29
2	9.7	8	1.7	06:30AM	04:12PM	10	402	647	115.21
3	8.3	6.5	1.8	06:30AM	02:48PM	11	324	521	92.43
Итого	26.5	21.2	5.3			32	1059	1704	302.93

На Рисунках 13-14 содержатся маршруты, (их основные параметры приведены в таблицах 3-4), которые практически не отличаются по затратам, однако второе расписание не превосходит 8-ми часового лимита рабочего времени и более равномерно распределяет число остановок по маршрутам, чем предыдущее. Таким образом, довольно существенные изменения расписания маршрутов могут практически не отражаться на финансовых затратах самих перевозок, однако, это приводит к изменению объема продаж продукции, что также свидетельствует о плохой устойчивости решений транспортных задач. На Рисунке15 приведен разброс в расписании прибытия транспорта в пункты разгрузки для вышеприведенных маршрутов. Из графика на

рис.15 следует, что различие в стоимости на 3 цента приводит к отклонениям в расписании до 6 часов. Таким образом, рискоустойчивость решения транспортной задачи оставляет желать лучшего.

Ещё более неблагоприятная картина наблюдается при проверке решения на рискоустойчивость к авариям транспортных средств. Ясно, что устойчивость к рискам здесь обусловлена не только наличием соответствующих достаточных резервов, но и возможностью их оперативного и эффективного использования (факторы времени и координации).

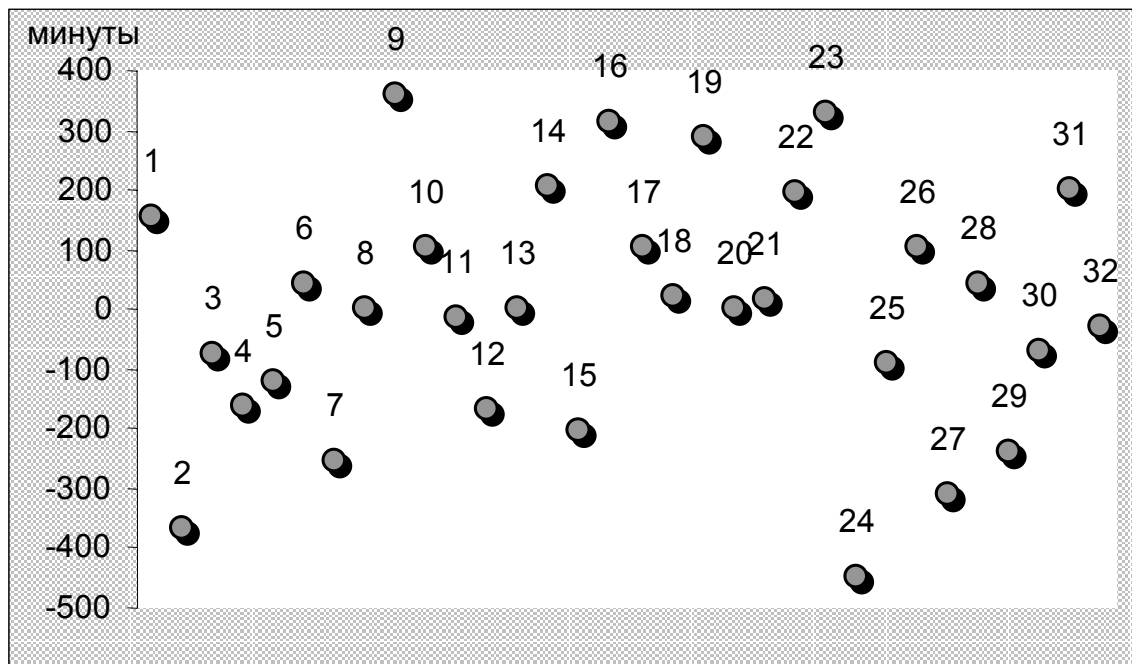


Рисунок 15. Разница в расписаниях прибытия в пункты разгрузки

Проверим, например, рискоустойчивость варианта маршрутизации нашей задачи из таблицы 4 к возможной аварии одного транспортного средства. «Весовые нагрузки» каждого транспортного средства на соответствующем маршруте равны 990, 980, 870 кг при максимальной собственной грузоподъемности 1300кг для каждого транспортного средства. При выходе одного транспортного средства из строя два оставшихся с суммарной грузоподъемностью 2600кг не в состоянии перевезти за один раз требуемые 2840кг. Однако, резерв времени в несколько часов даёт возможность организовать дополнительные маршруты двумя оставшимися машинами при наличии резерва возможностей водителей.

5. Заключение

❖ Проблема нахождения наилучшего решения конкретной транспортной задачи становится всё более сложной по мере необходимости учёта всё более разнообразных практических требований, таких как множественность типов транспорта с разной грузоподъемностью и полезным объёмом, «временные окна» для погрузки/разгрузки грузов в пунктах остановки, различные допустимые скорости на различных участках движения (и в разное время суток и года), наличие географических барьеров (реки, озёра, морские заливы, другие препятствия движению), ограничений на рабочее время водителей и необходимость в перерывах для отдыха и питания водителей и др.

❖ Решение, доставляющее минимум затрат на транспортировку, часто весьма чувствительно как к вариациям ограничений, так и к вариациям других параметров задачи. Поэтому перед практической реализацией полученного решения необходимо исследовать его рискоустойчивость. Такое исследование, к сожалению, в настоящее время является весьма сложным, трудоёмким и требует привлечения специальных неформальных знаний.

Литература

- [1] Ballou, R.H. (1999) *Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*. 4th edition. Prentice-Hall International, Inc., N.-Y.

Received on the 27th of July 2002