

УДК 658.7

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА СТРАТЕГИЧЕСКОМ И ТАКТИЧЕСКОМ УРОВНЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Тюрин А.Ю.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Аннотация.

Проблема планирования работы автотранспорта на тактическом и оперативном уровнях является предметом научного интереса широкого круга экономистов. Большинство авторов отмечает большое разнообразие решаемых задач, необходимость согласования решений на всех уровнях планирования, учет взаимосвязи технологических и экономических параметров управления транспортно-логистическим комплексом. В данной статье предлагается детализация конкретных задач, решаемых на стратегическом и тактическом уровнях планирования и управления. Так, на стратегическом уровне одной из главных задач является проектирование сети продвижения материального потока. От правильной конфигурации спроектированной сети зависит 80% успеха работы входящих в нее объектов. Для проектирования сети учитываются годовые объемы производства и поставок продукции потребителям, расположение объектов обслуживания и распределительных центров на местности, особенности транспортного обслуживания. Автор рассматривает особенности планирования работы автотранспорта и логистических операций на стратегическом и тактическом уровнях. Приводится математическая постановка задач планирования. Показываются примеры практической реализации предложенных моделей планирования в реальных условиях эксплуатации автотранспорта.

Информация о статье

Принята 01 августа 2017

Ключевые слова: стратегический уровень, тактический уровень, транспортно-логистические операции, кластерный анализ, транспортное средство, маршрут, рейс.

DOI:10.26730/2587-5574-2017-2-97-110

PLANNING OF TRANSPORT AND LOGISTICS OPERATIONS AT THE STRATEGIC AND TACTICAL LEVELS OF DECISION-MAKING

Alexey Yu. Tyurin

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Abstract.

The problem of planning the operation of vehicles at the tactical and operational levels is the subject of research of a wide range of economists. Most authors note a wide variety of tasks to be solved, the need for coordinating decisions at all levels of planning, taking into account the interrelationship of technological and economic parameters of the management of the transport and logistics complex. In this article, it is proposed to detail the specific tasks to be performed at the strategic and tactical levels of planning and management. Thus, at the strategic level, one of the main tasks is the design of a network for promoting material flow. Up to 80% of the success of the work of the objects integrated in the network depend on the correct configuration of its design. To design the network, the annual volumes of production and products distribution to consumers, the location of service facilities and distribution centers on the ground, and the specifics of transport services must be taken into account. The author considers the features of planning the work of vehicles and logistics operations at strategic and tactical levels. A mathematical statement of planning problems is given. Examples of practical implementation of the proposed planning models in the real operating conditions of motor vehicles are shown.

Article info

Received August 01, 2017

Keywords:

strategic level, tactical level, transport and logistics operations, cluster analysis, vehicle, route, trip.

Введение

Проблеме планирования работы автотранспорта в условиях неопределенности посвящено довольно много работ отечественных и зарубежных исследователей. Среди отечественных работ можно выделить, например, [1,2] и ряд других работ, в которых раскрываются математические подходы к описанию и решению данных задач, их прикладное значение, отмечаются трудности поиска оптимального или приемлемого решения. Среди зарубежных исследователей можно выделить работы [3-9], в которых описываются различные ситуации управления транспортом в различных производственных и логистических системах. Так, в работах [3-6] описываются различные динамические и стохастические модели маршрутизации со случайным спросом на перевозки, приводящие к различным решениям в зависимости от условий задачи. В [7] рассматриваются задачи поставки товаров с различных складов потребителям неоднородным парком транспортных средств. В [8] рассматривается идея дробления партии поставки с целью улучшения загрузки автомобилей, а в [9] используется метаэвристический метод поиска с запретами для нахождения оптимальных маршрутов перевозок товаров потребителям.

В работах [10-11] рассмотрен авторский подход к вопросам планирования работы автотранспорта в различных территориальных и временных условиях. Дополнительно в [12] рассмотрены некоторые эвристические методы для поиска оптимальных маршрутов перевозок продукции заказчикам и дана оценка их эффективности использования в реальных условиях эксплуатации подвижного состава.

Наиболее интересные идеи планирования полетов самолетов в течение различных временных интервалов (день, месяц и т.д.) в условиях неопределенности изложены в [13, 14]. На основе идей, изложенных в этих работах, рассмотрим систему планирования рейсов автомобилей на месяц, обслуживающей рейсы двух типов: регулярные и специальные. Регулярные рейсы проводятся между фиксированными пунктами и планируются на каждый месяц заранее. Однако в течение месяца планы могут меняться. Специальные рейсы возникают нерегулярно, время и пункты перевозки грузов заранее не фиксированы. Специальные рейсы возникают нерегулярно, время и пункты перевозки грузов заранее не фиксированы, что может приводить к отвлечению подвижного состава с регулярных линий.

Различные типы автомобилей отличаются полезной нагрузкой, временем выполнения рейса и издержками на различных маршрутах. Рейсы планируются в условиях неполной информации. Спрос на специальные перевозки заранее неизвестен, поэтому количество груза, поступающее в течение дня, не может быть предсказано полностью. По истечении некоторого времени поступает информация о неопределенных параметрах условий задачи. В результате возникает необходимость в переназначении автомобилей с маршрутов, на которые поступило заявок меньше, чем ожидалось, на линии, обслуживающие перевозки, спрос на которые оказался выше ожидаемого. Переназначение может, в частности, производиться на промежуточных остановках. Требуется минимизировать средние ожидаемые издержки за весь плановый период.

Объекты и методы исследований

Задача ставится как двухэтапная стохастическая. На первом этапе, до того, как станут известны заявки на специальные рейсы, автомобили каждого типа распределяются между маршрутами и определяется число рейсов автомобилей каждого типа по каждой линии. На втором этапе после установления реализации случайных параметров условий задачи производится переназначение автомобилей с маршрута на маршрут.

Фиксированные условия (условия первого этапа) ограничивают сверху для автомобилей каждого типа общее число автомобиле-часов, распределенных по всем маршрутам, наличными временными ресурсами на планируемый месяц.

Ограничения второго этапа можно разделить на две группы. Ограничения первой группы фиксируют тот факт, что для каждого типа автомобилей общее число автомобиле-часов, переведенных с данного маршрута на другие линии, не превышает числа автомобиле-часов, первоначально назначенных на этот маршрут.

Ограничения второй группы, обычные для двухэтапных задач стохастического программирования, представляют собой балансовые соотношения для каждого маршрута.

Введем следующие обозначения: x_{ij} — количество рейсов в течение месяца автомобилей типа i , первоначально назначенных на маршрут j ; x_{ijk} — количество рейсов автомобилей типа i , снятых с маршрута j и переназначенных на маршрут k ; y_j^+ — неудовлетворенные заявки (в тоннах груза) на перевозки по маршруту j ; y_j^- — незагруженная емкость автомобилей (в тоннах груза) на j -м маршруте; a_{ij} — число часов, требуемое автомобилю типа i для преодоления маршрута j , если автомобиль с самого начала был назначен на этот маршрут; a_{ijk} — число часов, требуемое автомобилю типа i , первоначально назначенному на маршрут j , для того чтобы преодолеть маршрут k . Очевидно, $a_{ijk} \geq a_{ij}$; b_{ij} — число тонн груза, перевозимое за один рейс автомобилем типа i по маршруту j ; a_i — допустимое в течение месяца число часов выполнения рейсов автомобилем типа i ; d_j — заявки на перевозки (в тоннах груза) по маршруту j ; c_{ij} — стоимость рейса автомобиля типа i по маршруту j , при условии, что автомобиль с самого начала был назначен на этот маршрут; c_{ijk} — стоимость рейса автомобиля типа i по маршруту k , если он был снят с маршрута j . Очевидно, $c_{ijk} \geq c_{ij}$; q_j^+ — штраф за неудовлетворение заявки на перевозку тонны груза по маршруту j ; q_j^- — штраф за недогрузку на одну тонну автомобиля на маршруте j .

Запишем во введенных обозначениях формальную модель задачи.

Условия первого этапа, ограничивающие сверху для автомобилей каждого типа общее число часов работы по всем маршрутам, имеют вид

$$\sum_j a_{ij} x_{ij} \leq a_i, \forall i \quad (1)$$

Для формализации ограничений второго этапа необходимо учесть следующее замечание.

Длительность рейса автомобиля типа i , назначенного на маршрут j , равна a_{ij} часов. Если этот автомобиль переназначить на маршрут k , то преодоление этого маршрута займет a_{ijk} часов.

Таким образом, этот рейс по маршруту k вызывает отмену a_{ijk}/a_{ij} рейсов по маршруту j .

Условия второго этапа первой группы, означающие, что нельзя отменить больше рейсов автомобилей типа i по маршруту j , чем их первоначально было запланировано на этот маршрут, записываются в виде

$$\sum_{k \neq j} \frac{a_{ijk}}{a_{ij}} x_{ijk} \leq x_{ij}, \forall i, j \quad (2)$$

Условия второй группы второго этапа имеют вид

$$\begin{aligned} \sum_i b_{ij} x_{ij} + \sum_i \sum_{k \neq j} b_{ik} x_{ijk} - \sum_i \sum_{k \neq j} (b_{ij} \frac{a_{ijk}}{a_{ij}}) x_{ijk} \\ + y_j^+ - y_j^- = d_j, \forall j \end{aligned} \quad (3)$$

Это балансовые условия, определяющие заявки на перевозки и их удовлетворение.

Целевой функционал двухэтапной задачи планирования рейсов выражается как

Таблица 1. Время выполнения рейсов 2 типами автомобилей по 5 маршрутам

Тип авто-мобиля	Время рейса (кругорейс). ч				
	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4	Маршрут 5
1	58	20	10	70	60
2	63	24	13	76	65

Таблица 2. Максимальная загрузка автомобилей на маршрутах

Провозная способность (в тоннах)				
Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4	Маршрут 5
10	10	10	10	10
20	20	20	20	20

Таблица 3. Стоимость выполнения рейсов

Стоимость за рейс, р.				
Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4	Маршрут 5
14500	13500	8000	19000	42000
24000	22000	12000	31000	70000

$$\sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} + M \left\{ \min_{x_{ijk}, y_j^+, y_j^-} \left[\sum_{i,j} \sum_{k \neq j} \frac{(c_{ijk} - c_{ij}) a_{ijk}}{a_{ij}} x_{ijk} \right] \right\} \quad (4)$$

Задача планирования рейсов сводится, таким образом, к двухэтапной модели стохастического программирования, в которой требуется вычислить неотрицательные параметры $x_{ij}, x_{ijk}, y_j^+, y_j^-$, минимизирующие целевой функционал (4) при условиях (1) - (3). На

переменные x_{ij}, x_{ijk} накладывается, кроме того, дополнительное требование целочисленности.

Представление планирования рейсов в виде двухэтапной модели - определенная идеализация задачи. Более естественное описание ситуации можно представить многоэтапной задачей стохастического программирования, в которой последовательно учитывались бы ежедневные изменения заявок на перевозки. Однако решение многоэтапной задачи планирования рейсов связано со значительными вычислительными трудностями. Предлагается следующий путь упрощения задачи.

Разобьем горизонт планирования на n периодов и представим ситуацию в виде последовательности двухэтапных моделей стохастического программирования. Решение, полученное для последовательности двухэтапных задач, можно рассматривать как приближенное решение многоэтапной задачи планирования рейсов.

Оптимальный план для периода t дает исходную информацию для последующего периода

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) - \sum_{k \neq j} \frac{a_{ijk}}{a_{ij}} x_{ijk}(t) + \sum_{k \neq j} x_{ijk}(t) \quad (5)$$

К неопределенным заявкам на перевозки, которые должны поступить в период добавляются заявки на грузы, поступившие, но не перевезенные в предыдущие периоды. Вводится штраф за опоздание груза на l периодов.

В задаче t -го периода минимизируются общие издержки, связанные с переназначением рейсов, с потерями из-за опоздания грузов, со штрафами за неудовлетворенные заявки на перевозки и за недогруженность автомобилей.

Область определения задачи описывается ограничениями на наличный парк транспортных средств и на грузоподъемность каждого типа автомобиля по каждому маршруту. Кроме того, условия модели включают обычные для двухэтапной задачи балансовые соотношения и типичные для задач, связанных с переназначениями, неравенства вида (2).

Можно полагать, что намеченная последовательность двухэтапных задач позволяет получить достаточно хорошее приближение к оптимальному планированию рейсов при существенно меньших вычислительных трудностях, чем многоэтапная задача стохастического программирования.

Рассмотрим практическую реализацию представленного выше подхода при планировании рейсов 2 типов автомобилей по 5 маршрутам. Исходные данные представлены в таблицах 1–4.

Таблица 4. Штрафные санкции при отклонении от оптимальных показателей

Стоимость штрафа (р. за тонну)		
Маршрут	Избыточный спрос	Избыточное предложение
1	5000	4000
2	2500	6000
3	3000	8000
4	4000	12000
5	6000	10000

Помимо этого спрос на перевозки может быть детерминированным или случайным со средними значениями по маршрутам в количестве 200, 300, 120, 100 и 50 т.

Кроме того, время, чтобы переключиться между любыми маршрутами, составляет 5 часов для автомобиля 1 типа и 7 часов для автомобиля 2 типа.

Возрастающие затраты в связи с переназначением автомобилей составят 1000 и 1500 р. для этих типов автомобилей соответственно.

Предполагается также, что общее время работы для каждого типа автомобиля в месяц составляет 160 часов.

Оптимальное решение задачи представлено в таблицах 5–9.

Анализ полученных данных показывает, что первоначально планировалось 16 рейсов автомобиля 1 типа по 3 маршруту и 12 рейсов автомобиля 2 типа также по 3 маршруту (таблица 5).

Так как автомобили 1 типа перевозят за рейс 10 т, а автомобили 2 типа – 20 т, то все планируется перевезти 400 т по 3 маршруту. После уточнения спроса и переназначения автомобилей представилась следующая ситуация: автомобили 1 типа снимаются с 3 маршрута и переназначаются в количестве 4 рейсов на 1 маршрут, 1 рейса на 4 маршрут и 5 рейсов на 5 маршрут (таблица 6).

С учетом того, что автомобили 1 типа перевозят за рейс 10 т, всего будет перераспределено 100 т груза.

Для автомобилей 2 типа перераспределение приведет к снятию с 3 маршрута и переназначению в количестве 8 рейсов на 1 маршрут (таблица 7).

С учетом того, что автомобили 2 типа перевозят за рейс 20 т, всего будет перераспределено 160 т груза.

То есть всего останется перевезти 140 т груза, что приводит к полному удовлетворению спроса с некоторым запасом. Соответственно, в колонке 3 в таблицах 8 и 9 стоят нули, показывающие полное удовлетворение заявок на перевозки по 3 маршруту.

Таблица 5. Оптимальные значения x_{ij}

0	0	16	0	0
0	0	12	0	0

Таблица 6. Оптимальные значения x_{ijk} для первого типа автомобиля

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
4	0	0	1	5
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Таблица 7. Оптимальные значения x_{ijk} для второго типа автомобиля

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
8	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Таблица 8. Оптимальные значения y_j^+

0	300	0	83	0
---	-----	---	----	---

Таблица 9 - Оптимальные значения y_j^-

0	0	0	0	0
---	---	---	---	---

Если же общее время работы для каждого типа автомобиля в месяц увеличить до 320 часов (2 водителя закреплены за 1 автомобилем), то оптимальное решение задачи будет уже другим и предстанет в табл. 10-14.

Таблица 10. Оптимальные значения x_{ij}

0	0	32	0	0
0	0	24	0	0

Таблица 11. Оптимальные значения x_{ijk} для первого типа автомобиля

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	11	0	10	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Таблица 12. Оптимальные значения x_{ijk} для второго типа автомобиля

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
10	3	0	0	2
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Таблица 13. Оптимальные значения y_j^+

0	116	0	0	0
---	-----	---	---	---

Таблица 14. Оптимальные значения y_j^-

0	0	0	0	0
---	---	---	---	---

Анализ полученных данных показывает, что первоначально планировалось 32 рейсов автомобиля 1 типа по 3 маршруту и 24 рейсов автомобиля 2 типа также по 3 маршруту (таблица 10). После уточнения спроса и переназначения автомобилей получаем: автомобили 1 типа снимаются с 3 маршрута и переназначаются в количестве 11 рейсов на 2 маршрут и 10 рейсов на 4 маршрут (таблица 11).

Для автомобилей 2 типа перераспределение приведет к снятию с 3 маршрута и переназначению в количестве 10 рейсов на 1 маршрут, 3 рейсов на 2 маршрут и 2 рейсов на 5 маршрут (таблица 12). Здесь также спрос на перевозки будет полностью удовлетворен. Соответственно, в колонке 3 в таблицах 13 и 14 стоят нули, показывающие полное удовлетворение заявок на перевозки по 3 маршруту.

Результаты и их обсуждение

Рассмотренные выше примеры показывают важность учета временных ограничений на выполнение рейсов, требование целочисленности количества рейсов приводит иногда к удовлетворению спроса на некоторых маршрутах с запасом. Стоимостные показатели задачи регулируют приоритетность выполнения рейсов и степень загрузки подвижного состава в течение месяца. Поэтому детальный учет всех входных параметров и условий обслуживания потребителей позволит разработать план работы автотранспорта на любой временной отрезок с учетом динамичности спроса, количественного состава транспортных средств при минимальных издержках транспортного обслуживания.

В качестве другого примера рассмотрим методику проектирования сети продвижения материального потока в размере 200 тыс. т в год от 2 поставщиков 10 крупным потребителям, размещенных на некоторой территории. Вначале на основе информации о местоположении потребителей и расстояниях между ними центроидным методом кластерного анализа [15] производится их группировка в определенные зоны (кластеры) обслуживания и выбирается соответствующее количество распределительных центров для снижения расстояния доставки и стоимости перевозок продукции от поставщиков потребителям. В результате решения данной подзадачи объединение потребителей в кластеры приведено на рис. 1.

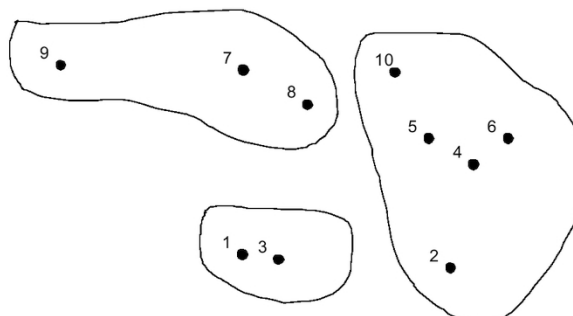


Рис. 1. Группировка потребителей по кластерам

Анализ группировки потребителей по кластерам показывает, что в 1 кластер объединяются пункты 1 и 3, во 2 кластер - пункты 2, 4, 5, 6 и 10 и в 3 кластер - пункты 7, 8 и 9. Эту разбивку по кластерам в дальнейшем учитывают при перераспределении порожних автомобилей внутри сформированных кластеров.

В дальнейшем решается транспортная задача с промежуточными пунктами [16] в двух вариантах – организация поставок продукции через распределительные центры (РЦ) и комбинированная доставка, учитывающая прямую доставку продукции от поставщиков потребителям, поставку через РЦ, между РЦ и с РЦ потребителям. Сопоставление транспортных расходов этих двух вариантов показывает, что наилучшим вариантом является комбинированная доставка, схема которой представлена на рисунке 2 (цифры на схеме определяют объемы перевозок за год в тыс.т). Для выбранного плана перевозок производится расчет технико-эксплуатационных показателей работы автомобилей на маршрутах за год.

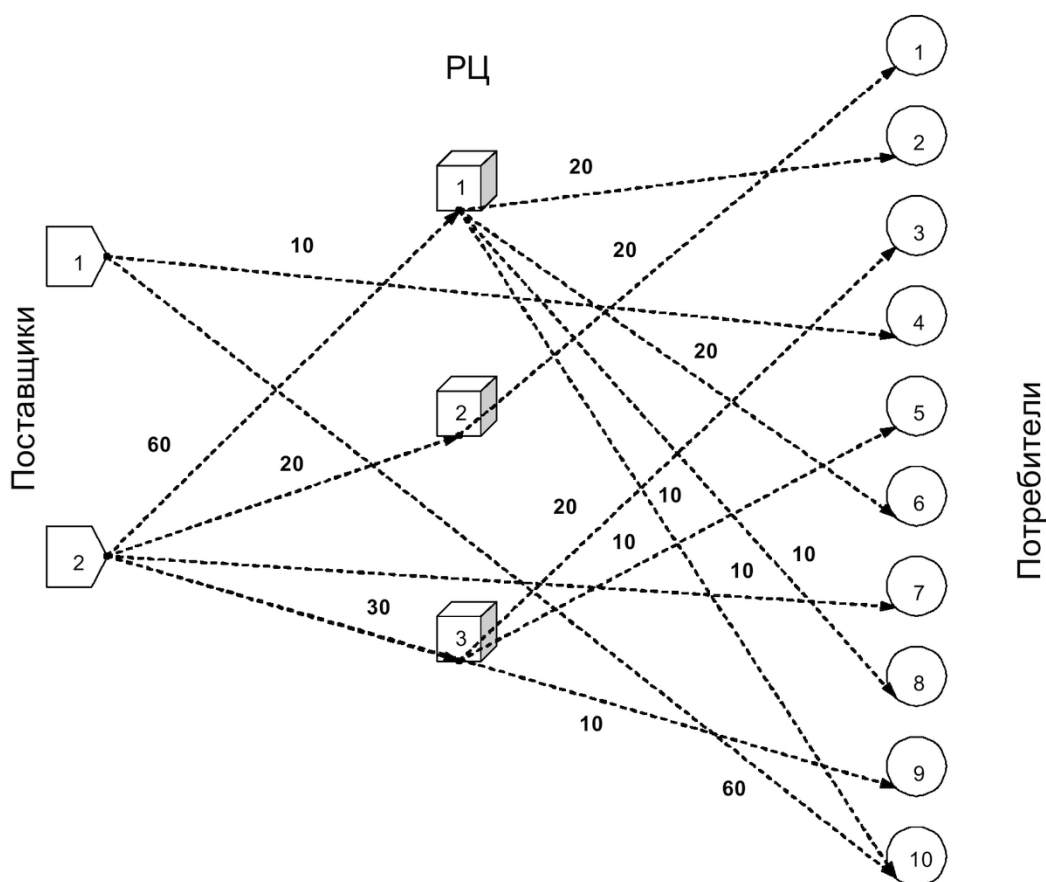


Рис. 2. Схема распределения материального потока в сети поставок

На тактическом уровне планирования и управления решаются задачи учета сезонных эффектов при выборе политики транспортного обслуживания и выбор механизма перераспределения порожних транспортных средств для выполнения транспортных задач следующего периода планирования.

Для первой задачи на основе информации о неравномерности спроса по месяцам и кварталам в течение года определяется политика транспортного обслуживания, минимизирующая расходы и убытки на данном горизонте планирования.

Математическая постановка задачи. Обозначим через r_k спрос, а через z_k - необходимую провозную способность автотранспорта в k -м периоде, $k = \overline{1, m}$, где m - число заказов, поступающих в течение года (периоды). При этом $z_0 = c$ - некоторый фиксированный начальный уровень провозной способности. Для своевременного выполнения заказов требуется, чтобы спрос всегда удовлетворялся, т.е. $z_k \geq r_k, k = \overline{1, m}$.

В соответствии с изложенным, введем две функции убытков:

- а) $g_k(z_k - r_k)$ - убытки в k -м периоде, вызванные тем, что провозная способность превышает спрос и появляются излишние мощности транспортных средств ($z_k > r_k, k = \overline{1, m}$);
- б) $h_k(z_k - z_{k-1})$ - убытки в k -м периоде, вызванные неравномерностью использования транспортных средств по периодам ($z_k \neq z_{k-1}, k = \overline{1, m}$).

Таким образом, первая функция (g_k) определяет убытки от излишков провозной способности автотранспорта, вторая (h_k) - убытки, связанные с изменением уровня транспортного обслуживания.

Тогда целевая функция может быть записана в виде:

$$L(z_1, z_2, \dots, z_m) = \sum_{k=1}^m \left[g_k(z_k - r_k) + h_k(z_k - z_{k-1}) \right] \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях

$$z_k \geq r_k, k = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Данная задача может быть решена методом динамического программирования. Обозначим через $f_k(c)$ суммарные издержки при оптимальной политике транспортного обслуживания на год, если до конца планируемого периода остается k периодов.

Тогда оптимальное решение можно получить с помощью следующих рекуррентных соотношений:

$$f_k(c) = \min_{z_k \geq r_k} \left\{ g_k(z_k - r_k) + h_k(z_k - c) + f_{k+1}(z_k) \right\}, \quad k = \overline{1, m} \quad (3)$$

где

$$r_{k-1} \leq c \leq \max_k r_k, \quad k = \overline{1, m} \quad (4)$$

$$r_k \leq z_k \leq \max_k r_k, \quad k = \overline{1, m} \quad (5)$$

Начальные условия: $f_{m+1}(c) = 0$ и $r_0 = 0$.

Для второй функции $h_k(z_k - z_{k-1})$ в выражении (3) в случае $z_k > z_{k-1}$ - это лишняя работа автотранспорта, считается как для первой функции $g_k(z_k - r_k)$ и умножается на 10 для выравнивания производительности автотранспорта по периодам. В случае $z_k < z_{k-1}$ - это простой автотранспорта, считается как для первой функции $g_k(z_k - r_k)$, только вместо расценок работы берутся расценки за простой автотранспорта. Задача решается по кварталам, т.е. используется 4 периода за год. Методика решения изложена в [17].

Так как в стратегическом плане перевозок 10 потребителям необходимо за год доставить 200 тыс. т, то необходимо установить спрос на продукцию по кварталам. Исходные данные динамики спроса по кварталам представлены в табл. 15.

Таблица 15. Динамика спроса за год по кварталам

k	1	2	3	4
r_k , ТЫС. Т	54	67	37	42

Используя функциональные уравнения (3) и ограничения (1) и (2) при значениях функции $g_k(z_k - r_k) = 110$ р./т и функции $h_k(z_k - z_{k-1})$ при $z_k < z_{k-1}$ равной 20 р./т, проведение расчетов приводит к оптимальной программе транспортного обслуживания за год, представленной в табл. 16.

Таблица 16. Программа транспортного обслуживания за год

k	1	2	3	4
r_k , тыс. т	54	67	37	42
z_k , тыс. т	67	67	43	42

Таблица 17. Динамика спроса для каждого потребителя в течение 4 недель

	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя
	Объем перевозок, тыс. т			
Потребитель 1	0,29	0,35	0,21	0,31
Потребитель 2	0,27	0,34	0,29	0,33
Потребитель 3	0,23	0,28	0,24	0,23
Потребитель 4	0,25	0,15	0,2	0,32
Потребитель 5	0,35	0,28	0,27	0,29
Потребитель 6	0,25	0,28	0,3	0,29
Потребитель 7	0,28	0,17	0,24	0,38
Потребитель 8	0,33	0,28	0,43	0,26
Потребитель 9	0,24	0,23	0,26	0,22
Потребитель 10	0,21	0,34	0,26	0,27

Суммарные расходы (убытки) при оптимальной политике использования подвижного состава составят 2590 тыс. р. При этом оптимальная программа транспортного обслуживания за год предполагает резервирование провозной способности автотранспорта в размере 67 тыс. т за 1 и 2 кварталы и понижение ее до 43 тыс. т и 42 тыс. т за 3 и 4 кварталы соответственно.

Вторая задача тактического уровня связана с перераспределением порожних транспортных средств на сети обслуживания. На основе сформированных планов транспортного обслуживания в течение кварталов и месяцев с разбивкой по неделям решается задача перераспределения порожних транспортных средств для каждой недели обслуживания в течение месяца для каждого потребителя.

Математическая постановка задачи. Обозначим через V множество вершин графа $G(V, A)$, A - множество дуг, O - множество поставщиков, D - множество потребителей, o_i - поставку узла i , d_i - потребление узла i , u_{ij} - пропускную способность дуги (i, j) , c_{ij} - стоимость перемещения потока из i в j , x_{ij} - количество потока, перемещаемого из i в j .

Тогда целевая функция может быть записана в виде:

$$L = \sum_{(i, j) \in A} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (6)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} & \left\{ j \in V : \sum_{(i, j) \in A} x_{ij} - \sum_{(j, i) \in A} x_{ji} \right. \\ & \left. = \begin{cases} o_i, & \text{если } i \in O \\ -d_i, & \text{если } i \in D \end{cases}, \quad i \in V \right. \end{aligned} \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij}, (i, j) \in A, \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0, (i, j) \in A. \quad (9)$$

На основе детализации спроса по кварталам и месяцам определяем спрос на продукцию для всех 10 потребителей в течение 4 недель (см. табл. 17).

Перераспределение порожних транспортных средств ведется на каждую неделю в пределах сформированных кластеров. В 1 кластере (см. рис. 1) находятся потребители 1 и 3, во 2 кластере - потребители 2, 4, 5, 6 и 10 и в 3 кластере - потребители 7, 8 и 9. Перераспределение автомобилей определяется для 2, 3 и 4 недель на основе увеличения или уменьшения спроса по отношению к предыдущей неделе по потребителям в пределах кластеров.

Так для первого кластера для 1 потребителя объем спроса для 1 недели составляет 290 т, а для 2 недели - 350 т. Следовательно, объем поставок увеличивается на 60 т, что вызывает дефицит провозной способности для 1 потребителя в 60 т, т.е. он является потребителем порожнего транспорта на 2 неделю и должен получить от других поставщиков порожнего транспорта дополнительную провозную способность в 60 т. Согласно выражению (7) поток порожнего транспорта для узла (потребителя) 1 составит -60 т. Аналогично для 3 потребителя на 2 неделю возникает дефицит провозной способности в $280-230=50$ т и его поток порожнего транспорта составит -50 т. Так как больше потребителей в 1 кластере нет, то суммарный дефицит провозной способности в $-60+(-50)=-110$ т покрывается за счет ввода фиктивного поставщика. таким образом, сумма входящих и выходящих потоков в узлы в пределах кластера должны быть равна нулю. Если наблюдается избыток провозной способности на 2 неделю (для 3 кластера), то вводится фиктивный потребитель. Для 2 кластера: 2 потребитель ($340-270=70$ т), 4 потребитель - ($150-250=-100$ т), 5 потребитель - ($280-350=-70$ т), 6 потребитель - ($280-250=30$ т), 10 потребитель - ($340-210=130$ т) в сумме $70-100-70+30+130=60$ т, т.е. наблюдается дефицит в 60 т и вводится фиктивный поставщик.

Для 3 кластера: 7 потребитель ($170-280=-110$ т), 8 потребитель - ($280-330=-50$ т), 9 потребитель - ($230-240=-10$ т) в сумме $-110-50-10=-170$ т, т.е. наблюдается избыток в 170 т и вводится фиктивный потребитель.

Используя информацию о расстояниях между пунктами каждого кластера и объемах поставок и потребления порожних автомобилей в каждом пункте, получаем решения о перераспределении для 2 недели, представленные на рис. 3 - 5.

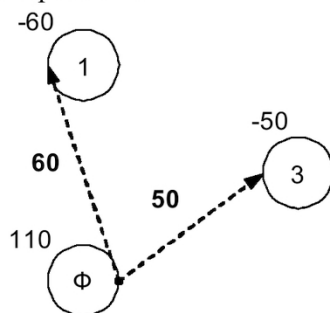


Рис. 3. Перераспределение порожних автомобилей (т) в пределах 1 кластера для 2 недели

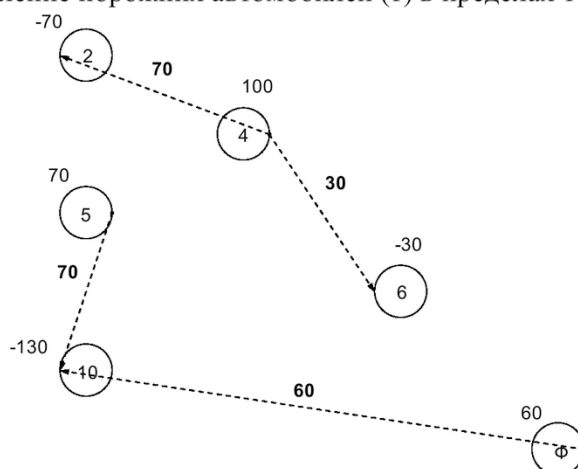


Рис. 4. Схема перераспределения порожних автомобилей (т) в пределах 2 кластера для 2 недели

На рис. 3 в кружках 1 и 3 обозначают номера пунктов потребления, Φ - фиктивный поставщик, жирные цифры 60 и 50 обозначают объемы поставок от фиктивного поставщика в узел 1 и 3 соответственно. На рис. 4 введен фиктивный поставщик, который осуществляет поставку в 60 т в 10 пункт, в который также поступает 70 т из пункта 5. пункт 4 раздает избыток транспортных средств в объеме 70 т в пункт 2 и 30 т в пункт 6. На рис. 5 введен уже фиктивный потребитель, который потребляет суммарно 170 т от пункта 7 в размере 110 т, от пункта 8 в размере 50 т и от пункта 9 в размере 10 т. Аналогичным образом составляют схемы перераспределения порожних автомобилей для 3 и 4 недель. Исходные данные для расчета в обозначениях выражения (7) представлены в таблице 18.

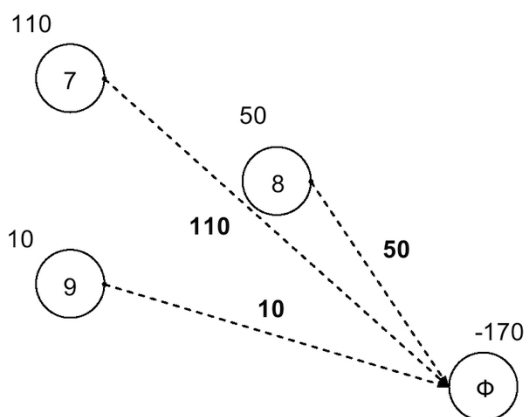


Рис. 5. Схема перераспределения порожних автомобилей (т) в пределах 3 кластера для 2 недели

Таблица 18. Динамика спроса для каждого потребителя в течение 3 недель

	2 неделя	3 неделя	
	Объем порожних автомобилей, т		
Кластер 1			
Потребитель 1	-60	140	-100
Потребитель 3	-50	40	10
<i>Сумма</i>	-110	180	-90
Кластер 2			
Потребитель 2	-70	50	-40
Потребитель 4	100	-50	-120
Потребитель 5	70	10	-20
Потребитель 6	-30	-20	10
Потребитель 10	-130	80	-10
<i>Сумма</i>	-60	70	-180
Кластер 3			
Потребитель 7	110	-70	-140
Потребитель 8	50	-150	170
Потребитель 9	10	-30	40
<i>Сумма</i>	170	-250	70

Заключение

Таким образом, используя информацию о движении автотранспорта по сети, можно установить долю привлекаемого подвижного состава, интенсивность передачи транспорта в аренду и выработать политику контроля за работой транспортных средств на обслуживаемой сети.

Список источников

1. Юдин Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 399 с.
2. Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969. – 384 с.
3. Bent R., Hentenryck P. Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers // *Oper. Res.* – 2004. – 52(6). – P. 977–987.
4. Bertsimas D., Ryzin G. V. A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the euclidean plane // *Oper. Res.* – 1991. – 39(4). – P. 601-615.
5. Bertsimas D. A Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand // *Oper. Res.* – 1992. – 40(3). – P. 574-585.
6. Bertsimas D., Ryzin G. V. Stochastic and dynamic vehicle routing in the euclidean plane with multiple capacitated vehicles // *Oper. Res.* – 1993. – 41(1). – P. 60–76.
7. Chan Y., Carter W. B., Burnes M. D. A multiple-depot, multiple vehicle, location routing problem with stochastically processed demands // *Computers & Oper. Res.* – 2001. – 28. – P. 803-826.
8. Dror M. Modeling vehicle routing with uncertain demand as a stochastic program: Properties of the corresponding solution // *European Journal of Oper. Res.* – 1993. – 64. – P. 432-441.
9. Gendreau M., Laporte G., Seguin R. A Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers // *Oper. Res.* – 1995. – 44 (3). – P. 469-477.
10. Тюрин А.Ю. Краткосрочное планирование поставок продукции автотранспортом на региональном уровне // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2015. – №2. – С.151-156.
11. Тюрин А.Ю. Тактико-оперативное планирование работы автотранспорта в логистических системах // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2015. – №3. – С.156-162.
12. Тюрин А.Ю. Эвристические методы решения задач доставки мелкопартионных грузов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2007. – №1. – С.51-55.
13. Milder J.L., Wollmer R.D. Stochastic programming models for scheduling airlift operations // *Nav. Res. Log. Quart.* – 1969. – 16(3). – P. 315–330.
14. Ferguson A.R., Dantzig G. B. The Allocation of Aircraft to Routes-An Example of Linear Programming Under Uncertain Demand // *Mgmt. Sci.* – 1956. – 9(3). – P. 45-73.
15. Калинина В.Н., Соловьев В.И. Введение в многомерный статистический анализ. – М.: ГУУ, 2003. – 66 с.
16. Семериков А.В. Решение транспортных задач. – Ухта : УГТУ, 2013. – 58 с.
17. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. - М.: Наука , 1965. – 460 с.

References

1. Judin D. B. Matematicheskie metody upravleniya v usloviyah nepolnoj informacii [Mathematical methods of control under incomplete information]. Soviet radio, 1974. 399 p.
2. Gol'shtejn E. G., Judin D. B. Zadachi linejnogo programmirovaniya transportnogo tipa [Problems of linear programming of transport type]. Science. Moscow, 1969. 384 s.
3. Bent R., Hentenryck P. Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers. *Oper. Res.* 2004. Vol. 52(6). pp. 977–987.
4. Bertsimas D., Ryzin G. V. A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the euclidean plane. *Oper. Res.* 1991. Vol. 39(4). pp. 601-615.
5. Bertsimas D. A Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand. *Oper. Res.* 1992. Vol. 40(3). pp. 574-585.
6. Bertsimas D., Ryzin G. V. Stochastic and dynamic vehicle routing in the euclidean plane with multiple capacitated vehicles. *Oper. Res.* 1993. Vol. 41(1). pp. 60-76.
7. Chan Y., Carter W. B., Burnes M. D. A multiple-depot, multiple vehicle, location routing problem with stochastically processed demands. *Computers & Oper. Res.* 2001. Vol. 28. pp. 803-826.
8. Dror M. Modeling vehicle routing with uncertain demand as a stochastic program: Properties of the corresponding solution. *European Journal of Oper. Res.* 1993. Vol. 64. pp. 432-441.
9. Gendreau M., Laporte G., Seguin R. A Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers, *Oper. Res.* 1995. Vol. 44 (3). pp. 469-477.
10. Tjurin A.Ju. Kratkosrochnoe planirovanie postavok produkcii avtotransportom na regional'nom urovne [Short-term planning of deliveries of products by road transport at the regional level]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Bulletin of Kuzbass State Technical University.* 2015. Vol. 2. pp. 151-156.
11. Tjurin A.Ju. Taktiko-operativnoe planirovanie raboty avtotransporta v logisticheskikh sistemah [Tactico-operational planning of the motor transport in logistics systems]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Bulletin of Kuzbass State Technical University.* 2015. Vol. 3. pp. 156-162.

12. Tjurin A.Yu. Jevristicheskie metody reshenija zadach dostavki melkopartionnyh грузов [Heuristic methods for solving problems of delivery of small lot cargoes]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of Kuzbass State Technical University. 2007. Vol. 1. pp. 51-55.
13. Milder J.L., Wollmer R.D. Stochastic programming models for scheduling airlift operations. Nav. Res. Log. Quart. 1969. Vol. 16(3). pp. 315–330.
14. Ferguson A.R., Dantzig G. B. The Allocation of Aircraft to Routes-An Example of Linear Programming Under Uncertain Demand. Mgmt. Sci. 1956. Vol. 9(3). pp. 45-73.
15. Kalinina V. N., Solov'ev V.I. Vvedenie v mnogomernyj statističeskij analiz [Introduction to multidimensional statistical analysis]. GUU. Moscow, 2003. 66 p.
16. Semerikov A. V. Reshenie transportnyh zadach. [Solution of transport tasks]. UGTU. Uhta, 2013. 58 p.
17. Bellman R., Drejfus S. Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovanija [Applied problems of dynamic programming]. Science. Moscow, 1965. 460 p.

Авторы

Тюрин Алексей Юрьевич – доктор экономических наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: alexturin07@rambler.ru

Authors

Alexey Yu. Tyurin – Doctor of Sc. (Economics), T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, ul. Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: alexturin07@rambler.ru

Библиографическое описание статьи

Тюрин А.Ю. Планирование транспортно-логистических операций на стратегическом и тактическом уровнях принятия решения // Экономика и управление инновациями. – 2017. – № 2 (2). – С.97-110.

Reference to article

Tyurin A.Yu. Planning of transport and logistics operations at the strategic and tactical levels of decision-making. Economics And Innovation Management, 2017, no. 2 (2), pp. 97-110. (In Russian).