

К. А. Кузнецов, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического обеспечения ЭВМ Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара
В. А. Громов, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной математики и математической кибернетики Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ДИСТРИБЬЮТОРСКОЙ КОМПАНИИ

Представлены результаты оптимизации работы дистрибьюторской компании, математическая модель которой обсуждалась в работе [1], а алгоритм решения соответствующей оптимизационной задачи – в [2].

Ключевые слова: *системный анализ; маршрутизация транспортных средств; целочисленное программирование.*

The present paper deals with results of distribution company optimization. The respective mathematical model is presented in paper [1], an algorithm to solve the optimization problem is considered in paper [2].

Key words: *system analysis; vehicle routing problems; integer programming.*

Постановка проблемы. Конкурентоспособность дистрибьюторской компании определяется способностью менеджмента компании к принятию эффективных управленческих решений как стратегического, так и оперативного уровня, эффективной маркетинговой стратегии.

Агрессивная конкурентная среда побуждает компанию к маркетинговой политике, которая предусматривает личный контакт сотрудников компании (далее – торговых агентов) с представителями торговых предприятий (торговых точек), непосредственно осуществляющих продажу товаров.

Указанная политика побуждает менеджмент к оптимальной организации работы торговых агентов, которая заключается в выделении зон ответственности, составлении расписаний, построении маршрутов их движения.

Анализ последних исследований и публикаций. Предложенная в [2] методология декомпозиции задачи оптимизации работы крупной дистрибьюторской компании к иерархически упорядоченной последовательности подзадач была применена для отыскания значимых параметров, обеспечивающих эффективность работы компании, основные характеристики которой представлены в работе [1].

Развитие методов системного анализа, а также точных, эвристических и метаэвристических методов решения оптимизационных задач большой размерности обусловило появление значительного количества трудов, оптимизирующих работу крупных дистрибьюторских и ритейлерских компаний. Так, в исследовании [3], посвященном своевременной доставке скоропортящегося товара потребителям на рынке сельскохозяйственной продукции Республики

© К. А. Кузнецов, В. А. Громов, 2014

Словения, возникает задача маршрутизации транспортных средств с временными окнами и меняющейся во времени матрицей расстояний (VRPTWTD). Работа [4] посвящена оптимизации работы крупной греческой дистрибьюторской компании, специализацией которой является мясо и мясопродукты. Особенностью деятельности компании является наличие нескольких складов, из которых осуществляется доставка товаров по мясным лавкам в окрестностях Афин.

Результаты системного анализа сахарной промышленности Австралийского союза обсуждаются в [5]. Производимый на австралийских заводах сахар различных видов экспортируется потребителям из различных стран через сеть портов. Рассматриваемая в работе задача заключается в определении оптимальных планов производства и транспортировки для каждого сахарного завода.

Цель статьи – предложить методологию вместе с набором алгоритмов, предназначенных для решения отдельных подзадач, которая была реализована в виде программного комплекса, обеспечивающего поддержку принятия решений как стратегического, так и оперативного уровня.

Изложение основного материала. Результатами работы данного программного комплекса являются количество агентов для каждой группы и их зоны ответственности, расписание для каждого агента в его зоне ответственности, оптимальные маршруты движения агентов в каждый день горизонта планирования, заявка торговых точек на завоз товаров всех групп с указанием необходимого количества собственных и арендуемых транспортных средств, оптимальные маршруты развозки заказанных товаров.

Полученные результаты также позволяют определить численные характеристики, необходимые для оценки эффективности процесса планирования компании: фактическая продолжительность рабочего времени, время простоя, длина маршрута для каждого агента в каждый день горизонта планирования, заказ по номенклатуре товаров каждой группы для каждой обслуживаемой торговой точки, длина маршрутов для транспортных средств, участвующих в доставке товаров. Указанные характеристики позволяют вычислить значение каждой из компонент функционала затрат компании и тем самым оценить эффективность процесса планирования.

Кроме сугубо финансовых характеристик, эксперты по планированию считают важным для имиджа компании, чтобы торговая точка посещалась агентами разных групп в один и тот же день. Данная характеристика была формализована путём введения понятия “когерентности” посещения, которое определяется как процент торговых точек, посещаемых в один день агентами всех групп, из общего числа торговых точек, обслуживаемых агентами двух и более групп.

В табл. 1 представлено количество агентов, относящихся к различным группам, до и после оптимизации структуры компании. Внедрение системы поддержки принятия решений позволило уменьшить общее количество агентов (по всем группам) с 51 до 37, тем самым уменьшив расходы на оплату труда агентов (значение компоненты I_1 целевой функции задачи) на 38 %.

Уменьшение общего количества агентов вызвано оптимальным выбором их зон ответственности, составлением эффективного расписания агента в рамках горизонта планирования, а также отысканием оптимального маршрута движения агента в каждый день.

Так, на рис. 1а представлен результат кластеризации множества торговых точек, обслуживаемых агентами первой группы. Торговые точки обозначены на рисунке темными маркерами, границы зон ответственности – сплошными линиями.

**Оптимизация количества агентов в результате
внедрения системы поддержки принятия решения**

Номер группы	Количество точек в группе	Количество агентов (до внедрения)	Количество агентов (после внедрения)	Уменьшение количества, %
1	756	11	9	22
2	674	11	8	37
3	595	10	7	42
4	608	10	7	42
5	422	10	6	66
Все	846	51	37	38

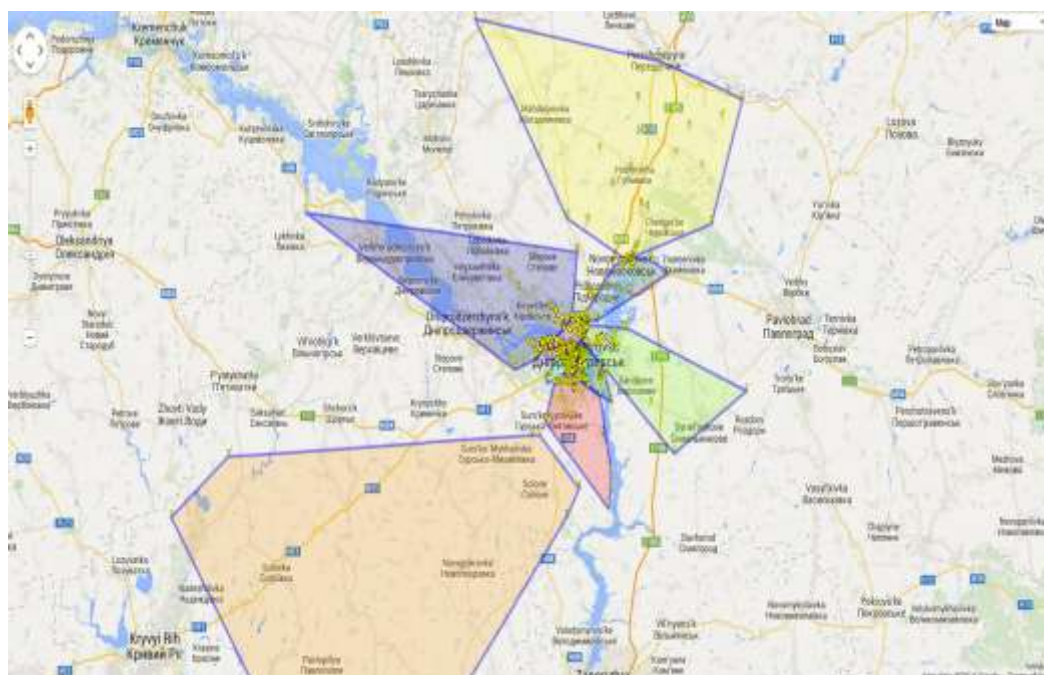


Рис. 1а. Зоны ответственности для агентов первой группы

Тот факт, что порядка 90 % торговых точек сосредоточены в границах города, объясняет наличие кластеров малой площади внутри городской черты. На рис. 1б представлен увеличенный фрагмент рис. 1а, соответствующий точкам, лежащим в административных границах г. Днепропетровска.

Видно, что границы зон ответственности являются выпуклыми непересекающимися многоугольниками. Наблюдаемое касание многоугольников объясняется наличием нескольких торговых точек с одинаковыми адресами. Такая ситуация, например, может возникнуть на городских рынках, для которых все торговые точки, расположенные на рынке, имеют один и тот же адрес.



Рис. 1б. Зоны ответственности для агентов первой группы
(фрагмент рис. 1а для точек, лежащих в границах г. Днепропетровска)

Таблица 2

Количество торговых точек в кластерах

Номер группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Всего
1	87	106	90	67	113	102	83	15	93	756
2	110	108	54	112	82	79	58	71		674
3	108	97	107	53	79	66	85			595
4	111	102	86	89	82	67	71			608
5	77	68	87	92	79	19				422

В табл. 2 представлено распределение количества торговых точек по кластерам для различных групп агентов (номер строки соответствует номеру группы, номер столбца – номеру агента в группе). Существенная разница между количеством точек для кластеров в таблице связана с неоднородностью функции плотности распределения количества торговых точек: в некоторых случаях, как, например, для городских рынков г. Днепропетровска, наблюдается высокая концентрация торговых точек на сравнительно малой площади, что позволяет агенту за рабочий день обойти значительное количество точек в течение рабочего дня и отнести к соответствующему кластеру сравнительно большое количество точек – такого рода кластеры обычно характеризуются малой площадью (рис. 1б). Напротив, для кластеров, содержащих торговые точки, расположенные в сельской местности, характерны большие расстояния между точками и, соответственно, малое количество точек в кластере; обычно такие кластеры имеют сравнительно большую площадь (рис. 1а).

Разумное распределение торговых точек между зонами ответственности различных агентов позволило уменьшить разрыв между реальным и номинальным (8 ч в день) временем работы торговых агентов.

Время работы агентов

Номер группы	1	2	3	4	5	Все
Среднее	7:26	7:23	7:35	7:42	6:39	7:22
Станд. откл.	0:55	0:46	0:19	0:09	1:41	0:58
Минимальное	3:42	4:35	6:58	7:24	2:27	2:27
Максимальное	8:00	8:00	8:00	8:00	7:49	8:00

В табл. 3 представлена информация о времени работы агентов по каждой из групп в отдельности и по всем агентам, работающим в компании, в целом. Информация о времени работы включает в себя среднее время работы, стандартное отклонение для данной величины, минимальное и максимальное время работы. Аналогично организовано представление информации и о других характеристиках предложенного решения оптимизационной задачи (табл. 4–6).

Значения минимального времени работы агентов для некоторых групп существенно меньше номинального времени работы агентов (8 ч) и объясняются необходимостью посещения торговых точек, расположенных достаточно далеко как от центрального склада, так и от основного массива торговых точек, обычно в некотором удалённом от главных транспортных артерий селе. В таком случае торговый агент с учётом времени движения от центрального склада и обратно (напомним, что указанное время включается в рабочий день агента) просто не успевает посетить какие-либо другие торговые точки; в лучшем случае возможно посещение нескольких точек, расположенных по пути следования со склада и на склад. Тем не менее, компания, исходя из соображений престижа, предпочитает работать и с такими отдалёнными торговыми точками, даже если это экономически невыгодно. Подчеркнём, что такого рода “рабочие” дни и кластеры являются редким исключением (ср. среднее время работы агентов).

Следующими факторами, оказывающими влияние на эффективность использования рабочего времени торговым агентом, являются распределение торговых точек, принадлежащих зоне ответственности агента, по дням (в пределах горизонта планирования), в которые они должны посещаться агентом, и составление оптимальных маршрутов движения.

В табл. 4–6 представлена усреднённая информация о количестве точек в дневном маршруте агента, времени ожидания в дневном маршруте агента, а также о длине дневного маршрута агента.

Таблица 4

Количество точек в дневном маршруте агента

Номер группы	1	2	3	4	5	Все
Среднее	18,49	18,15	18,54	18,89	15,13	17,96
Станд. откл.	6,41	5,69	5,17	5,12	5,75	5,77
Минимальное	1	2	4	5	1	1
Максимальное	24	25	25	24	23	25

Таблица 5

Время ожидания в дневном маршруте агента

Номер группы	1	2	3	4	5	Все
Среднее	0:34	0:32	0:30	0:28	0:19	0:29
Станд. откл.	0:21	0:21	0:18	0:20	0:18	0:20
Минимальное	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Максимальное	1:03	1:06	0:58	1:00	0:56	1:06

Длина дневного маршрута агента

Номер группы	1	2	3	4	5	Все
Среднее	112,58	116,64	132,74	126,01	128,64	119,19
Станд. откл.	71,73	70,52	71,01	77,86	63,79	72,73
Минимальное	47,84	47,36	46,42	40,58	60,16	40,58
Максимальное	326,74	323,84	309,53	321,77	314,24	326,74

Существенные значения стандартного отклонения для длины дневного маршрута агента обусловлены обсуждавшимся выше существованием кластеров двух типов: с высокой концентрацией торговых точек и малым расстоянием между ними (“городские” кластеры), второй тип – с низкой концентрацией торговых точек и большими расстояниями между точками (“сельские” кластеры). Кластеры первого типа ответственны за малые значения минимальной длины дневного маршрута агента (табл. 6), кластеры второго типа – за малые значения минимального количества точек в дневном маршруте агента (табл. 4).

Вычисление оптимальных маршрутов движения торговых агентов позволило, несмотря на увеличение среднего количества точек, которые посещаются агентом за один день, снизить суммарную длину маршрутов движения агентов, а тем самым и расходы на затраты компании на движение агентов по маршрутам, на 27 %.

Компактификация зон ответственности агентов вместе с существенным снижением стандартного отклонения величины количества точек, посещаемых агентами в течение одного рабочего дня, привели к выравниванию загрузки – объёма груза, который необходимо доставить заказчику в течении дня согласно заказам, полученным агентами за предыдущий день. Выравнивание загрузки привело к четырёхкратному снижению количества арендуемых в течение недели грузовиков и соответствующему снижению расходов фирмы на аренду транспортных средств (– 150 %).

С другой стороны, выравнивание загрузки привело к более интенсивному использованию собственного парка транспортных средств, следовательно, к увеличению расходов на закупку топлива. Соответственно, значение компонента I4 увеличилось на 12,05 %.

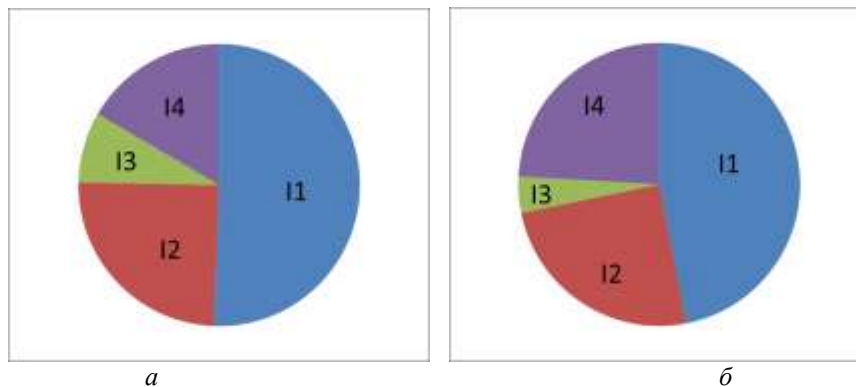


Рис. 2. Структура производственных расходов компании
а – до внедрения системы поддержки принятия решений,
б – после внедрения

Структура оптимизации деятельности компании, %

	И1	И2	И3	И4	И
До	50,61	24,70	8,10	16,59	100
После	46,92	24,85	4,14	24,09	100
Снижение расходов	37,84	27,00	150,00	- 12,05	27,77

В табл. 7 представлены результаты оптимизации деятельности компании: первые две строки описывают структуру расходов компании до и после внедрения системы поддержки принятия решений – диаграммное изображение указанной структуры представлено на рис. 2а и б, соответственно. Общее снижение расходов компании вследствие внедрения системы поддержки принятия решений составило 27,77 %.

Любопытным косвенным результатом оптимизации работы компании является некоторое увеличение когерентности посещения торговых точек агентами различных групп. Это вызвано, по-видимому, присутствием в целевой функции компоненты, отвечающей суммарным расходам на транспортировку груза заказчиком. Наличие этой компоненты приводит к минимизации частоты заезда на торговые точки развозящих товар грузовиков компании, что, в свою очередь, приводит к повышению вероятности одновременного посещения агентами торговой точки в предыдущий рабочий день.

Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших разведок в данном направлении. Внедрение системы поддержки принятия решений привело к существенному (27,77 %) снижению общих производственных затрат компании, изменению структуры расходов компании, увеличению прозрачности работы отдела планирования, снижению зависимости принятия решений от человеческого фактора.

Список использованных источников:

1. Кузнецов К. А. Системный анализ и математическая модель работы дистрибьюторской компании / К. А. Кузнецов, В. А. Громов // Вестник АТСУ. Серия: “Технические науки”. – 2013. – № 2 (50). – С. 119–129.
2. Кузнецов К. А. Подход к решению задачи оптимизации структуры дистрибьюторской компании / К. А. Кузнецов, В. А. Громов // Вестник АТСУ. Серия: “Технические науки”. – 2014. – № 1 (51). – С. 94–103.
3. Osvald A. A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food / A. Osvald, L. Z. Stirn // J. Food Eng. – 2008. – Vol. 85. – P. 285–295.
4. Kiranoudis C. D. Distribution of fresh meat / C. D. Kiranoudis, C. T. Tarantilis // J. Food Eng. – 2002. – Vol. 51. – P. 85–91.
5. Higgins A. Scheduling of brand production and shipping within a sugar supply chain / A. Higgins, G. Beashel, A. Harrison // J. Oper. Res. Soc. – 2006. – Vol. 57. – № 5. – P. 490–498.