

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАБОТЫ ДОСТАВКИ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ ПО ВСЕМУ МИРУ

Тарасов Вячеслав Дмитриевич

магистрант,

МИРЭА – Российский технологический университет.

Россия, г. Москва

Научный руководитель:

Леонтьев Александр Савельевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент.

МИРЭА – Российский технологический университет

Россия, г. Москва

АННОТАЦИЯ

Программный комплекс (ПК) «Система поддержки принятия решений при управлении транспортировкой готовой продукции предприятия» (далее по тексту ПК СППР) представляет собой систему поддержки принятия решений при управлении транспортировкой корреспонденции. Он обладает возможностью выбирать оптимальный транспортный режим, графически представлять сформированную маршрутную карту, выбирать логистического перевозчика. Введение в эксплуатацию ПК СППР позволит сократить затраты на доставку корреспонденцию клиентам и время обслуживания клиентов.

Задача повышения эффективности транспортировки позволяет снизить общие затраты предприятия, занимающегося доставкой продукции. Для решения этих задач используются системы управления транспортом, которые позволяют компаниям сократить простои транспортных средств, снизить количество необходимого для перевозки транспорта и снизить затраты, необходимые для транспортировки.

Несмотря на значительные успехи в решении задач планирования транспортного процесса, по-прежнему актуальны исследования, направленные на комплексное планирование ТП, формирование рациональных маршрутов доставки грузов и организацию поддержки управленческих решений в данной области с использованием СППР.

ANNOTATION

The software package (PC) "Decision support system for managing the transportation of finished products of the enterprise" (hereinafter referred to as PC DSS) is a decision support system for managing the transportation of correspondence. It has the ability to choose the optimal transport mode, graphically represent the generated route map, choose a logistics carrier. The commissioning of the PC DSS will reduce the cost of delivering correspondence to customers and customer service time.

The task of increasing the efficiency of transportation allows you to reduce the total costs of the enterprise engaged in the delivery of products. To solve these problems, transport management systems are used, which allow companies to reduce vehicle downtime, reduce the amount of transport required for transportation and reduce the costs required for transportation.

Despite significant progress in solving the problems of planning the transport process, research is still relevant aimed at integrated planning of TP, the formation of rational routes for cargo delivery and the organization of support for management decisions in this area using DSS.

Ключевые слова: Информационная система; информационно-вычислительная система; формирование рациональных маршрутов.

Keywords: Information system; information and computing system; formation of rational routes.

В ходе статьи будет рассмотрено математическое обеспечение для выбора логистических перевозчиков (ЛП) для доставки готовой продукции (ГП), построен алгоритм, который лег в основу информационно-вычислительной системы «Система поддержки принятия решений при управлении транспортировкой готовой продукции предприятия».

Приведем математическую модель рассматриваемой задачи выбора ЛП.

Введем следующие обозначения:

- ρ – количество логистических перевозок ГП;
- K – количество критериев оценки перевозчиков,
- Z_p^k – количественные или качественные значения по каждому критерию.

Для критериев, входящих в потребительскую оценку i -ого ЛП $CE_i(Z_p^1, \dots, Z_p^{10})$, где $i = 1, \dots, P$, введем обозначения для следующих множества:

- $Z_p^1 = \{Z_1^1, \dots, Z_p^1\}$ – стоимость услуги – перевозки;
- $Z_p^2 = \{Z_1^2, \dots, Z_p^2\}$ – надежность соблюдения графика доставки груза;
- $Z_p^3 = \{Z_1^3, \dots, Z_p^3\}$ – время оформления перевозки;
- $Z_p^4 = \{Z_1^4, \dots, Z_p^4\}$ – скорость доставки;
- $Z_p^5 = \{Z_1^5, \dots, Z_p^5\}$ – степень ответственности за груз;
- $Z_p^6 = \{Z_1^6, \dots, Z_p^6\}$ – отслеживание отправок;
- $Z_p^7 = \{Z_1^7, \dots, Z_p^7\}$ – частота отправок;
- $Z_p^8 = \{Z_1^8, \dots, Z_p^8\}$ – «рейтинг» предприятия;
- $Z_p^9 = \{Z_1^9, \dots, Z_p^9\}$ – готовность схем маршрутизации перевозок;
- $Z_p^{10} = \{Z_1^{10}, \dots, Z_p^{10}\}$ – «коммуникабельность» предприятия.

Требуется выбрать перевозчика с наибольшей потребительской оценкой (1):

$$CE_i(Z_p^1, \dots, Z_p^{10} \rightarrow \max). \quad (1)$$

Для получения сформированного решения в задаче планирования ТП необходимо решить три подзадачи, применяя следующие алгоритмы: *Ch_transport*, *OPT_Route*, *Ch_carrier*.

Алгоритм *Ch transport* используется для подзадачи *Выбора ТР*, а именно выбор способа транспортировки и вида транспорта в системе планирования ТП при перевозках реагентов.

Входными данными для алгоритма *Chtransport* являются $N_s = \{N_1, \dots, N_s\}$ - способы транспортировки; $V_s^f = \{V_{N_1}^1, \dots, V_{N_T}^L\}$ – значение показателей для сравнения видов транспорта, где $t = 1, \dots, T$, $l = 1, \dots, L$.

Выходными данными является вид ТР, удовлетворяющий требуемым критериям: количество видов транспорта; единый оператор перевозки; оплата перевозки; схема взаимодействия участников ТП; количество договоров; ответственность за груз (обеспечение безопасности груза); количество ответственных лиц; время доставки; стоимость перевозки; надежность соблюдения графика доставки груза; частота отправок; способность доставить груз в любую точку; возможность выбора логистического партнера; время оформления заявки на транспортировку.

Алгоритм *OPT_Route* используется для подзадачи формирования рациональных маршрутов, который базируется на процедурах локального поиска с чередующимися окрестностями [1].

Входные данные: интерактивная карта автомобильных дорог (<http://maps.yandex.ru>); БД: внутренние данные (списочный парк ТС $V = \{1, \dots, k\}$ с различной грузоподъемностью $Q_v = \{Q_1, \dots, Q_k\}$ в каждом депо; матрица фиксируемой стоимости использования ТС cf^v ; набор (пунктов) клиентов $E = \{e_1, \dots, e_{N_{cust}}\}$ (спрос на ГП клиента q_{il} , предпочтительное время обслуживания $[a_i, b_i]$, сервисное время обслуживания клиентов s_i^p);

информация о депо $D = \{d_1, \dots, d_{N_{prod}}\}$ (емкость депо R_d , предпочтительное время возвращения в депо $\max TV^v$, время отправления T_d^{v} ТС v из депо); допустимый уровень риска ДТП на маршрутах R^{\max} , возможный уровень качества дорог W_{ij} («возможный класс дорог на участках маршрута»); допустимая оплата за платные дороги на маршруте C_r^{\max} ; штрафная стоимость при нарушении времени обслуживания клиентов ρ_i ; штрафная стоимость при нарушении времени обслуживания клиентов ρ_i ; штрафная стоимость ρ^v для нарушения возвращения времени в депо); C^{dist} - стоимость пройденной единицы расстояния для любого ТС $_v$; стоимость C_t^V пройденной единицы расстояния для любого ТС $_v$; стоимость C_t^v пройденной единицы времени для ТС v ; внешние данные (координаты клиентов на карте; координаты депо на карте; матрицы расстояний между пунктами; время в пути между пунктами t_{ij}^v ; матрица платы на участках дорог c_{ij} , матрица типов дорог на участках w_{ij} , матрица КА ДТП на участках дорог p_{ij} , ущерб d^v от ДТП на участках дорог).

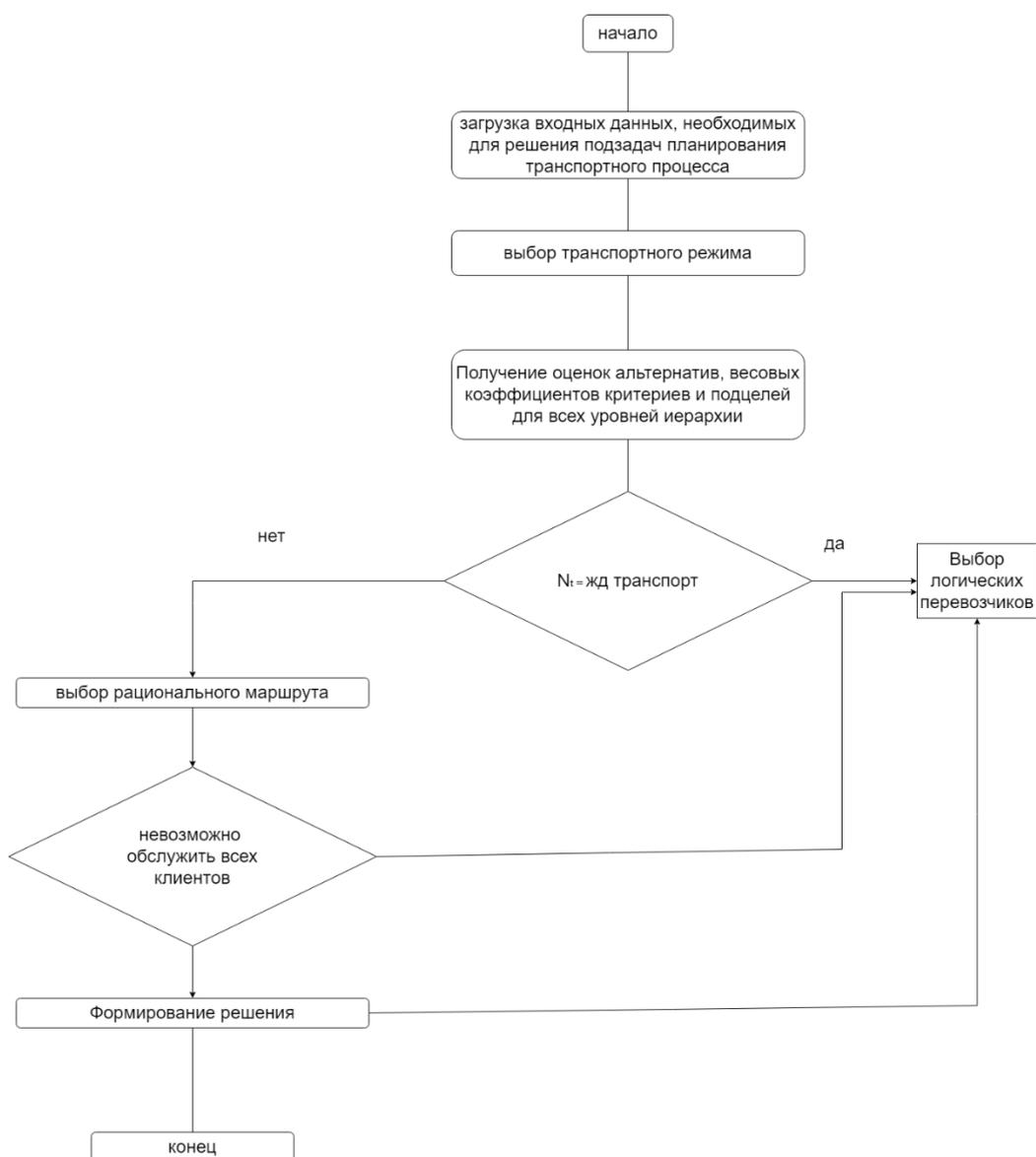


Рисунок 1 – Общая схема планирования транспортного процесса перевозки ГП

Выходными данными является набор $r^{\text{cost}} = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_l\}$ рациональных маршрутов транспортировки готовой продукции автомобильным транспортом

Метод Chcarrier используется для подзадачи Выбора ЛП, который базируется на методе замещений и предпочтений Кини - Райфа [30,43].

Входные данные: P - количество перевозчиков; K — количество критериев оценки перевозчиков; Zp - значения по каждому критерию k для каждого ЛП p, где $k = 1, \dots, K$, $p = 1, \dots, P$.

Выходные данные: ЛП, удовлетворяющий требуемым критериям. В основу метода выбора транспортного режима (Ch_transport) положен

метод Саати (рисунок 2). Метод обеспечивает выбор способа транспортировки и вида транспорта. При этом выбор должен удовлетворять критерию наилучшей интегральной оценки.

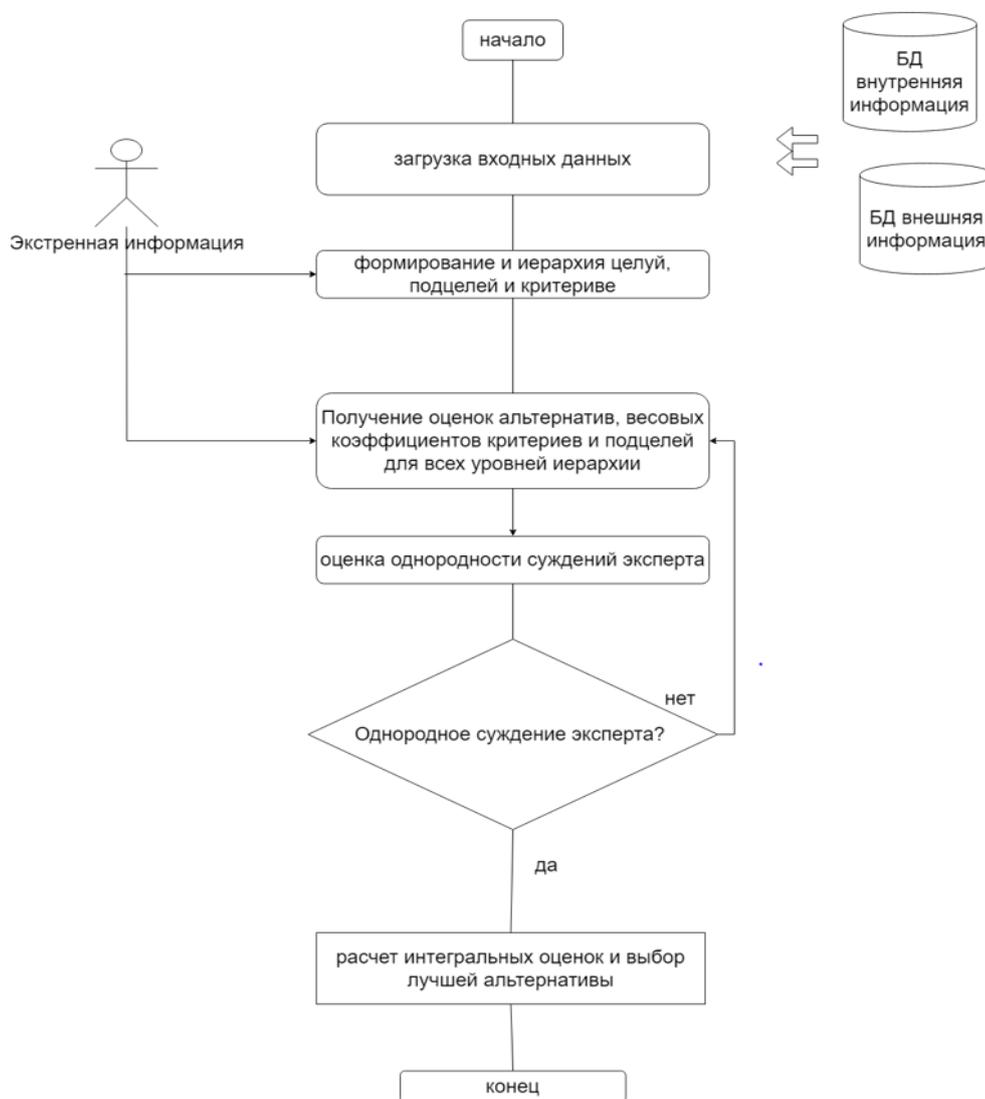


Рисунок 2 – Общая схема метода иерархии Саати

Вход : $N_s = \{N_1, \dots, N_s\}$; $V_s^f = [V^1, \dots, V^F]$, где $s = 1, \dots, 5$, $f = 1, \dots, F$;

$N_t = [N_x, \dots, N_T]$; $V_{tj} = [V_{t1}, \dots, V_{tT}]$, где $t = 1, \dots, T$, $j = 1, \dots, T$

Выход: вид транспортного режима.

Шаг 1. Формирование иерархии целей, подцелей и критериев.

Построим иерархию выбора ТР (рисунок 3).

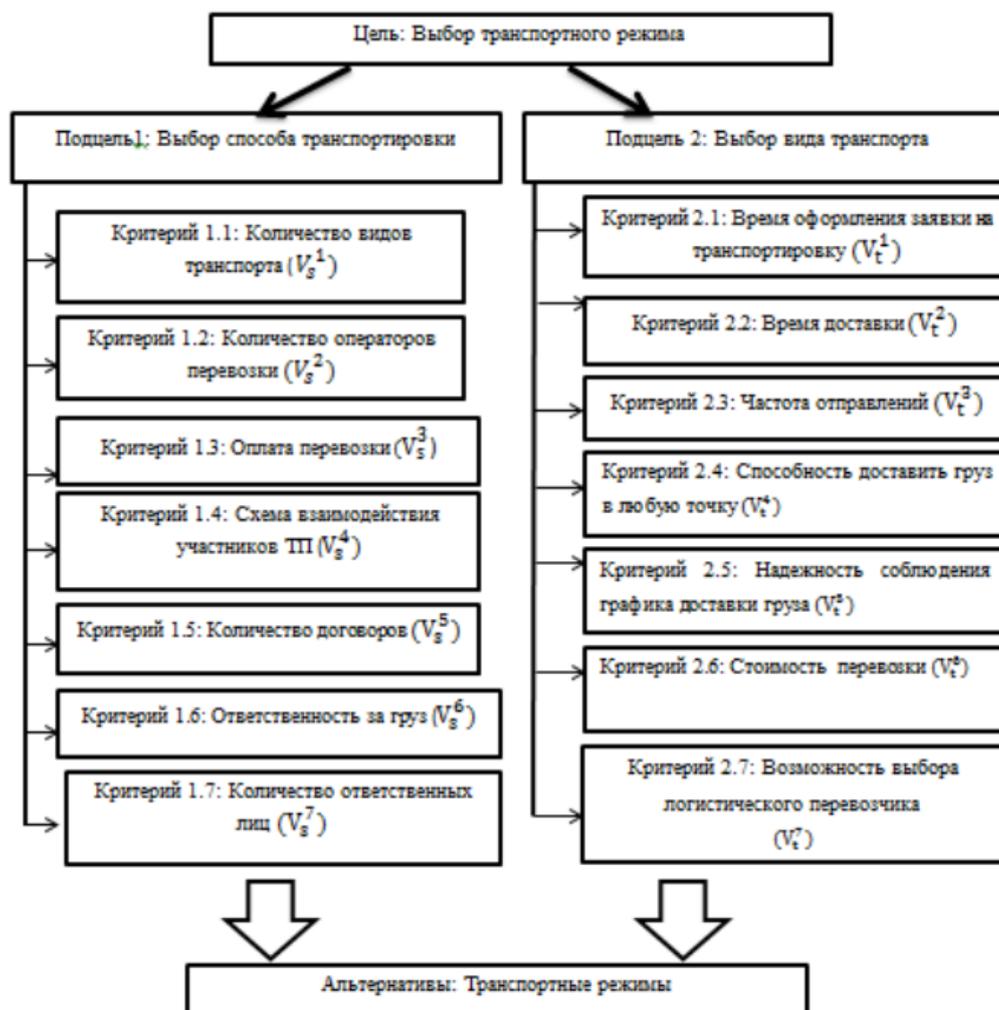


Рисунок 3 – Иерархия выбора транспортного режима

Шаг 2. Получение оценок альтернатив (ТР), весовых коэффициентов критериев и подцелей для всех уровней иерархии.

Для формализации знаний эксперта по поводу сравнительной важности расположенных на одном уровне элементов иерархии относительно вышележащего элемента иерархии используется 5 - балльная шкала (таблица 1), в отличие от 9-балльной шкалы Саати [2] в предложенной шкале нет промежуточных оценочных значений [2, 3].

Таблица 1 – Шкала для парного сравнения подцелей, критериев и альтернатив ГР

Степень значимости	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Две подцели, два критерия или две альтернативы вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другим (слабая значимость)	Существуют соображения в пользу предпочтения одной из подцели, одного критерия, одной альтернативы однако эти соображения недостаточно убедительны
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные данные или логические суждения для того, чтобы показать предпочтительность одной из подцели, одного критерия, одной альтернативы
7	Очевидная или очень сильная значимость	Убедительное свидетельство в пользу одной из подцели, одного критерия, одной альтернативы перед другой подцелью, критерием, альтернативы
9	Абсолютная значимость	Свидетельства в пользу предпочтения одной подцели, критерия, альтернативы другой подцели, другому критерию, другой альтернативы в высшей степени убедительны

На основе этой шкалы ЛПР попарно сравнивают альтернативы по критериям. Результат заносится в матрицу парных сравнений [2, 3]. Рассмотрим подробнее процедуру попарного сравнения альтернатив на примере критерия Количество видов транспорта (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение экспертом альтернатив по критерию 1.1

№ альтернативы	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	k_1/k_2	k_1/k_3	k_1/k_4	k_1/k_5	k_1/k_6
A2	k_2/k_1	1	k_2/k_3	k_2/k_4	k_2/k_5	k_2/k_6
A3	k_3/k_1	k_3/k_2	1	k_3/k_4	k_3/k_5	k_3/k_6
A4	k_4/k_1	k_4/k_2	k_4/k_3	1	k_4/k_5	k_4/k_6
A5	k_5/k_1	k_5/k_2	k_5/k_3	k_5/k_4	1	k_5/k_6
A6	k_6/k_1	k_6/k_2	k_6/k_3	k_6/k_4	k_6/k_5	1

Где отношение k_i/k_j - выражает мнение эксперта о том, во сколько раз альтернатива i лучше (хуже) альтернативы j .

Аналогичным способом необходимо сравнить альтернативы по всем критериям (критерии 1.2-1.7 и критерии 2.1-2.7). После получения всех сравнительных таблиц, необходимо рассчитать конкретные оценки альтернатив по каждому критерию, применяя для этого подсчет строчных сумм матрицы парных сравнений и нормирование полученных значений (таблица 3). Сумма весовых коэффициентов одного уровня иерархии равна 1.

Таблица 3 – Вычисления весовых коэффициентов для каждой альтернативы по критерию 1.1

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Строчная сумма	Нормированное значение критерия
A1	1	k_1/k_2	k_1/k_3	k_1/k_4	k_1/k_5	k_1/k_6	$B_1^1 \sum_{j=1}^6 \frac{k_1}{k_j}$	B_1/B_{sum}
A _t	...						$B_j^q \sum_{j=1}^6 \frac{k_1}{k_j}$	B_t/B_{sum}
A6	k_6/k_1	k_6/k_2	k_6/k_3	k_6/k_4	k_6/k_5	1	$B_6^1 \sum_{j=1}^6 \frac{k_6}{k_j}$	B_6/B_{sum}
Сумма1							$B_{sum} = \sum_{N=1}^6 B_N$	

Для получения весовых коэффициентов альтернатив по критерию 1.1 при оценивании несколькими экспертами в качестве весового коэффициента для элемента иерархии рассматривается среднее геометрическое весовых коэффициентов B_i , полученных по матрицам парных сравнений каждого из экспертов $B_i = \sqrt[Q]{B_i^1 \dots B_i^q \dots B_i^Q}$, где Q - количество экспертов.

Получение сравнительных оценок, весовых коэффициентов критериев и подцелей происходит аналогично получению оценок альтернатив ТР (таблицы 3.2, 3.3).

Шаг 3. Оценка однородности суждений эксперта.

Для оценки однородности суждений эксперта необходимо использовать отклонение величины максимального собственного значения λ_{max} от порядка матрицы n .

Однородность суждений оценивается индексом однородности ИО [или отношением однородности ОО: $ИО = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$, $ОО = ИО/M(ИО)$, где $M(ИО)$ - среднее значение (математическое ожидание) индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений, которое основано на экспериментальных данных.

В качестве допустимого значения используется значение ОО не более 0,1. Если для матрицы парных сравнений отношение однородности ОО больше 0,1, то это свидетельствует о существенном нарушении логичности суждений эксперта. Поэтому эксперту предлагается пересмотреть данные, использованные для построения матрицы. Оценка однородности производится для всех матриц парных сравнений.

Шаг 4. Расчет интегральных оценок для альтернатив.

Основная идея данного метода заключается в следующем: вначале в процессе кластеризации все клиенты с учетом дистанции между депо и клиентами относятся к определенному кластеру; в каждом кластере с использованием процедур локального поиска с чередующимися окрестностями находится набор рациональных маршрутов, учитывающий условия и ограничения; последним этапом методики является нахождение показателей (расход бензина, пробег ТС) для найденных маршрутов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Схема решения задачи формирования рациональных маршрутов в системе планирования транспортного режима при перевозках готовой продукции

Формирование рациональных маршрутов базируется на классических алгоритмах: алгоритм Кларка и Райта (Clarke and Wright Algorithm) и алгоритм локального поиска с чередующимися окрестностями (Variable Neighborhood Search). Классические схемы алгоритма Кларка и Райта и алгоритма локального поиска с чередующимися окрестностями для решения задач маршрутизации транспорта представлены в приложении Е и Ж соответственно. В связи с особенностями содержательной поставки задачи формирования рациональных маршрутов в работе данные алгоритмы были модифицированы.

Рассмотрим алгоритм *OPT Route* для выбора рациональных маршрутов в системе управления транспортным процессом при перевозке ГП.

Схема алгоритма *OPT Route*

Входные данные: $E = \{e_1, \dots, e_{N_{cust}}\}$, $D = \{d_1, \dots, d_{N_{prod}}\}$, $A = \{A_t, \dots, A_{N_{as}}\}$,

$V = \{1, \dots, k\}$, $Q_v = \{Q_1, \dots, Q_k\}$, q_{il} , $[a_i, b_i]$, S_i^v , R_d , $\max TV^v$, R^{\max} , W_{ij} ,
 Sp^{\max} , p_i , p^v , c_{ij}^v , t_{ij}^v , cp_{ij} , w_{ijt} , P_{ij} , d^v , cf^v , c^{dist} , c_{ij}^v , T_d^v ,

Выходные данные: $r^{\text{cost}} = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_l\}$.

Процедуры Кластеризации выглядят следующим образом:

Шаг 1. Формирование списка всех клиентов CL и списка всех депо Dep.

Шаг 2. Разделение списка Dep на N_{prod} кластеров, где N_{prod} - количество депо.

Шаг 3. Формирование кластера K_i выбираем клиента i из списка всех клиентов CL.

Шаг 4. Ранжирование списка депо d по расстоянию от выбранного клиента i .

Шаг 5. Выбор депо d , минимально отдаленного от клиента i .

Шаг 6. Добавление клиента i в кластер K_i .

Шаг 7. Переход к следующему клиенту.

Шаг 8. Выполнение шагов 3-7, пока список клиентов CL не будет равен «0».

Пошаговое описание Процедуры Rat Route представлено ниже.

Шаг 1. Формирование ограничений для проверки допустимых найденных маршрутов из возможных ограничений, указанных в разделе 3.1, главы 3.

Шаг 2. Формирование первоначального допустимого набора маршрутов для каждого кластера, с использованием модифицированного алгоритма Кларка и Райта.

Шаг 2.1. Построение матрицы выигрышей для всех клиентов, аналогично шагу 1 стандартного алгоритма Кларка и Райта.

Шаг 2.2. Нахождение максимального выигрыша в матрице выигрышей.

На матрице выигрышей находим ячейку (i^*, j^*) с максимальным выигрышем S_{\max} (2):

$$S_{max} = \max_{i,j} s(i,j) = s(i^*, j^*), \quad (2)$$

При этом должны соблюдаться следующие три условия:

- пункты i^* j^* не входят в состав одного и того же маршрута;
- пункты i^* и j^* являются начальным и/или конечным пунктом тех маршрутов, в состав которых они входят;
- δ_{ij} - логическая переменная - статус ячейки (i^*, j^*) , которая может принимать следующие значения: $\delta_{ij} = 1$, если ячейка (i^*, j^*) посещена на предыдущих шагах, и $\delta_{ij} = 0$, если ячейка не была посещена ни разу. При этом считается, что ячейка (i^*, j^*) не заблокирована. Ячейка (i^*, j^*) является заблокированной, если спрос клиента i полностью удовлетворен $q_{ij}' = 0$, который вычисляется следующим образом $q_{il}' = q_{il} - i_{il}^v$,

Где q_{il} - спрос на ГП l клиента i ;

i_{il}^v – спрос i – ого клиента, удовлетворенного ТС v ;

q_{il}' -обновленный спрос на ГП l клиента i .

Если удалось найти такую ячейку, которая удовлетворяет указанным условиям, то переход к **шагу 2.3**, иначе переход к **шагу 2.16**.

Шаг 2.3. Проверка грузоподъемности ТС (3.19)

$$\sum_{e \in E} q_{el} Y_e^v - R_d \sum_{d \in D} X_d^v \leq 0, \text{ где } l = 1, \dots, L. \quad (3.19)$$

Шаг 2.4. Сумма спроса q_{el} клиентов на ГП l не может превышать вместимость R_d обслуживающего депо d для ГП l (3.20):

$$\sum_{v=1}^K \sum_{e \in E} q_{el} Y_e^v - R_d \sum_{d \in D} X_d^v \leq 0, \text{ где } l = 1, \dots, L. \quad (3.20)$$

Шаг 2.5. Вычисление времени прибытия в пункты потребления и отбытия из пунктов потребления.

Шаг 2.6. Назначение штрафной величины p_e , если временное окно $[a_e, b_e]$ обслуживания клиента e было нарушено (3 – 4):

$$\Delta a_e^v \geq (a_e - T_e^v) \times Y_e^v, \quad (3)$$

$$\Delta b_e^v \geq (T_e^v - b_e) \times Y_e^v. \quad (4)$$

Шаг 2.7. Назначение штрафной величины p^v , если время возвращения ТС^v в депо d было нарушено (5)

$$\Delta TV^v - \max TV^v) \times X_d^v \geq TV^v - \max TV^v) \times X_d^v. \quad (5)$$

Шаг 2.8. Выбранные маршруты могут включать в себя дороги типов А, Р, М: $w_{ij} * x_{ij}^v \leq w_{ij}$ для всех $v = 1, \dots, k$; $i, j \in V$, $w_{ij} \in \{N, K, A, P, M\} \rightarrow w_{ij} \in (1, 2, 3, 4, 5)$, $w_{ij} = 3$.

Шаг 2.9. Плата за используемые дороги на выбранном маршруте не должна быть выше, чем максимально допустимая оплата за платные дороги (6)

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c p_{ij} x_{ij}^v \leq C p^{max}, \text{ где } v = 1, \dots, k. \quad (6)$$

Шаг 2.10. Риск ДТП маршруте должен быть не больше допустимого уровня риска (7)

$$R_v = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} p_{ij} * x_{ij}^v, v = 1, \dots, k; \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} p_{ij} * x_{ij}^v \leq R^{max}. \quad (7)$$

Шаг 2.11. Объединение маршрутов.

Производим объединение маршрутов 1 и 2 в один общий маршрут. Будем считать, что пункт i^* является конечным пунктом маршрута 1, а пункт j^* - начальным пунктом маршрута 2. При объединении маршрутов 1 и 2 соблюдаем следующие условия:

- последовательность расположения пунктов на маршруте 1 от начала и до пункта i^* не меняется;
- пункт i^* связывается с пунктом j^* ;
- последовательность расположения пунктов на маршруте 2 от пункта j^* и до конца не меняется;
- общий маршрут удовлетворяет ограничению на вместимость.

Если вышеуказанные условия выполняются, то переход к **шагу 2.12**, если нет-к **шагу 2.13**.

Шаг 2.12. Повторение шагов 2.1-2.11.

Повторяем шаги 2.1 - 2.11 до тех пор, пока при очередном повторении не удастся найти S_{max} который удовлетворяет условиям из **шага 2.2**.

Шаг 2.13. Вычисление ущерба компании от ДТП на выбранном маршруте определяется следующим образом $D^v = d^v R^v$.

Шаг 2.14. Вычисление пройденного расстояния вычисляется согласно формулам (2.6) - (2.9)

Шаг 2.17. Расчёт целевой функции.

Шаг 3. Поиск рационального маршрута с помощью процедур локального поиска с чередующимися окрестностями.

Введем дополнительные параметры: количество итераций k в кластере, время итерации t^{max} , окрестности $N_k, k = k_1, \dots, k_{max}$ различных структур $\sigma: = i, i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Выходным параметром будет набор маршрутов $r^{cost} = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_1\}$ со значением целевой функции L .

Шаг 3.1. Использование полученного решения на предыдущем шаге - набора маршрутов $r^{cost} = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_1\}$ со значением целевой функции L .

Шаг 3.2. Выбор случайным образом тип структуры окрестностей $\sigma: = i, i = 1, 2, 3, 4, 5$ для построения окрестности решений:

$\sigma: = 1$ (Demand move);

$\sigma: = 2$ (Swap Move);

$\sigma: = 3$ (Shift Move);

$\sigma: = 4$ (Swap);

$\sigma: = 5$ (opt2).

Стратегии построения представленных типов окрестностей решения для нахождения маршрута минимальной стоимости отражены в приложении И.

Шаг 3.3. Применение процедур локального поиска для поиска допустимых маршрутов $r^{cost} = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_1\}$.

3.2.1 положить $k := 1$;

3.3.2 повторять до момента, пока $k < k_{max}$.

Выбрать случайным образом из окрестности N_k решение $r' \in N_k(r)$. Применить методы локального поиска от начального решения r' , найти решение r'' , полученный локальный оптимум обозначить r'' . Если $L(r'') < L(r')$, то полагается $r := r''$, при $k := 1$, иначе $k := k + 1$.

Шаг 3.4. Проверка «новых», улучшающих первоначальное решение, маршрутов $r^{cost} = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_1\}$ из окрестностей, на нарушение выбранный ограничений в 3.1.

Шаг 3.5. Выбор лучшего решения, используя критерий – *Best Improvement*.

После нахождения набора маршрутов необходимо рассчитать следующие показатели с помощью *Процедуры Activities Route*:

- расходная стоимость потраченного топлива;
- амортизационные затраты;
- расходы на резину;
- расходы на материалы, запасные части и техобслуживание;
- дополнительная плата за маршрут водителей;
- накладные расходы;
- пробег ТС;
- время отправления и время прибытия.

Пошаговое описание *Процедуры Activities Route* представлено ниже.

Шаг 1. Вычисление расходной стоимости потраченного топлива (8):

$$\text{Cost}_{\text{Fuel}_i} = \text{Fuel}_{r_i} \times \text{Cost}_{\text{Fuel}}, \quad (8)$$

где $\text{Cost}_{\text{Fuel}}$ - цена 1 литра дизельного топлива

Fuel_{r_i} - расход топлива в литрах

Шаг 2. Вычисление фиксированной стоимости использования ТС cf^v , которая включает в себя амортизационные затраты, расходы на резину, расходы на материалы, запасные части и техобслуживание.

Шаг 3. Дополнительная плата водителей Cost_{add} вычисляется по формуле 9:

$$C_t^v \times TV^v + \rho^v \times \Delta TV^v \quad (9)$$

где C_t^v - стоимость пройденной единицы времени для ТС v ; TV_{sum}^v - общее время маршрута; ΔTV^v - нарушенное время возвращения ТС v ; ρ^v - штрафная стоимость для нарушения максимального времени работы для ТС v .

Процедура DM_Carrier выглядит следующим образом:

Шаг 1. Формирование с помощью экспертов критериев $K = \{k_1, \dots, k_L\}$ для принятия решения о необходимости сотрудничества.

Шаг 2. Определение эталонных значений критериев $K^* = \{k_1^*, \dots, k_L^*\}$, k_i^* - эталонное значение каждого критерия.

Шаг 3. Определение критических величин разницы между значениями и эталонными значениями.

Шаг 4. Определение правил принятия решения о логистическом перевозчике.

Шаг 5. Сравнение критериев с эталонными значениями.

Процедура Final_Route отвечает за формирование конечного решения, которое включает маршрутную карту и вывод об использовании логистических перевозчиков для доставки ГП.

Приведем общую схему алгоритма *Ch_carrier* выбора ЛП для перевозки ГП, основанного на методе предпочтений и замещений Кини и Райфа [30]. При этом выбирается перевозчик, удовлетворяющий наилучшей оценки CE_r .

Схема алгоритма *Chcarrier*

Вход: P - количество перевозчиков; K - количество критериев оценки перевозчиков; Z_p^k - значения по каждому критерию k для каждого ЛП p , где $k = 1, \dots, K$, $p = 1, \dots, P$.

Выход: перевозчик, удовлетворяющий требуемым критериям.

Шаг 1. Назначаются оценки эффективности по каждому из критериев по всем перевозчикам.

Шаг 2. По каждому критерию строятся функции ценности

$$v_{z_p^k}(Z_1^k, \dots, Z_p^k) = \sum_{j=1}^p v_{z_p^k}(Z_j^k), \text{ где } k = 1, \dots, K, p = 1, \dots, P.$$

Шаг 3. Критерии $Z_1^k, \dots, Z_p^k (k = 1, \dots, K)$ ранжируется по предпочтительности экспорта путем.

Шаг 4. Находятся значения шкалирующих коэффициентов λ_k для каждого оценочного критерия $Z_p^k, 0 < \lambda_k < 1, \sum_{k=1}^K \lambda_k$.

Шаг 5. Находятся оценки предпочтительности перевозчика по обобщенной функции ценности (потребительской оценки) по всем критериям Z_1^k, \dots, Z_p^k :

В результате, вычислив обобщенную функцию ценности (потребительскую оценку) для каждого ЛП, можно сделать вывод о выборе логистического перевозчика для транспортировки ГП.

В рамках данной статьи был разработан алгоритм выбора логистических перевозчиков при транспортировке готовой продукции, который лег за основу программного обеспечения «Система поддержки принятия решений при управлении транспортировкой готовой продукции предприятия».

Список литературы:

1. Кочетов, Ю. Локальный поиск с чередующимися окрестностями/ Ю. Кочетов, Н. Младенович, П. Хансен// Дискретный анализ и исследование операций. Серия 2. — 2003. — Т. 10, № 1. — С.11 – 43.
2. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий/Т.Л. Саати. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
3. Николаева, М. А. Методы и алгоритмы принятия решений в примерах и задачах: учебное пособие/ М.А. Николаева, О.Ф. Зотова. — Уфа.2010. — 110 с.