

Повышение эффективности системы двухэтапной транспортировки: на примере управления твердыми муниципальными отходами

А.А. Дроздов, В. П. Миронюк, В. Ю. Цыплаков
РГСУ, г. Ростов-на-Дону

Основной функцией мусороперегрузочной станции (далее МПС) является обеспечение смешанного автомобильного сообщения. МПС, как элемент транспортно-логистической системы перемещения ТМО, является промежуточным пунктом в логистическом канале продвижения потоков ТМО от пунктов зарождения/сбора (мусоросборные площадки) до пунктов поглощения/ликвидации (мусороперерабатывающие предприятия, пункты приема вторсырья, полигоны захоронения ТБО, свалки) потоков [1]. Поэтому вышеуказанные пункты, как элементы транспортно-логистической системы перемещения ТМО, должны быть включены в общую процедуру формирования этой системы исходя из принципов «интеграции отдельных звеньев логистической цепи в единую систему, обеспечения эффективного взаимодействия и согласованности построения и функционирования всех элементов логистической системы» [2].

Согласно материалам проекта Европейского Сообщества *INTERREG IIIA (International Regeneration)* самую существенную долю в общей структуре затрат на удаление отходов составляют транспортные затраты и составляют от 20 до 35% от общих расходов на обращение [3].

Повышение экономической эффективности системы двухэтапного транспортирования ТМО (далее ДЭТ) предлагается осуществлять путем пошагового добавления или вычитания перегрузочных станций до нахождения варианта с минимальным значением целевой функции. Добавление МПС осуществляется методом простого перебора поиска экстремума целевой функции [4], вычитание – методом полного перебора всех возможных сочетаний при поиске экстремума целевой функции.

В связи со сложностью задачи алгоритм повышения эффективности системы предлагается описать словесно-формульным способом [5].

Описание алгоритма:

А) Добавление МПС

При добавлении МПС систему с одной новой МПС будем называть «после добавления МПС», а систему, сформированную на предыдущем шаге – «до добавления МПС».

1. Выполняется расчет затрат в системе «до добавления МПС».

Целевая функция задачи:

$$C'_m \left(\left\{ Q_{ij}^a \right\}_{\substack{i=1,n \\ j=1,m}}, \left\{ Q_{jk}^b \right\}_{\substack{j=1,m \\ k=1,K}} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{T_a L_{ij}^a}{q_a} + P_j \right) Q_{ij}^a + \\ + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K \left(\frac{T_b L_{jk}^b}{q_b} + U_k \right) Q_{jk}^b + m \cdot S \rightarrow \min \quad (1)$$

ограничения:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{ij}^a \geq 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m; \\ Q_{jk}^b \geq 0, j = 1, \dots, m, k = 1, \dots, K; \\ \sum_{j=1}^m Q_{ij}^a = Q_i, i = 1, \dots, n; \\ \sum_{j=1}^m Q_{jk}^b \leq W_k^{\max}, k = 1, \dots, K; \\ \sum_{k=1}^K Q_{jk}^b = \gamma_j \cdot \sum_{i=1}^n Q_{ij}^a, j = 1, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^n Q_{ij} \leq W_j^{\max}. \end{array} \right. \quad (2)$$

2. Добавляется одна МПС. Эта МПС будет иметь номер d . Параметры объемов перевозок ТМО между соответствующими пунктами – Q_{id}^a, Q_{dk}^b ($\text{м}^3/\text{мес.}$). Аналогично:

$$L_{id}^a = \sqrt{|X_i^a - X_d|^2 + |Y_i^a - Y_d|^2}; \quad (3)$$

$$L_{dk}^b = \sqrt{|X_d - X_k^b|^2 + |Y_d - Y_k^b|^2}; \quad (4)$$

где X_d, Y_d – координаты МПС;

Необходимо определить координаты d -й МПС при условии минимума суммарных затрат на продвижение потоков ТМО.

Целевая функция такой задачи записывается в виде [6]:

$$\begin{aligned} C_{m+1} \left(X_d, Y_d, \{Q_{ij}^a\}_{i=1, \dots, n, j=1, \dots, m}, \{Q_{jk}^b\}_{j=1, \dots, m, k=1, \dots, K} \right) = \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{T_a L_{ij}^a}{q_a} + P \right) Q_{ij}^a + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K \left(\frac{T_b L_{jk}^b}{q_b} + U_k \right) Q_{jk}^b + \\ + \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_a \sqrt{|X_i^a - X_d|^2 + |Y_i^a - Y_d|^2}}{q_a} + P \right) Q_{id}^a + \\ + \sum_{k=1}^K \left(\frac{T_b \sqrt{|X_d - X_k^b|^2 + |Y_d - Y_k^b|^2}}{q_b} + U_k \right) Q_{dk}^b + (m+1)S \rightarrow \min_{X_d, Y_d} \end{aligned} \quad (5)$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{ij} \geq 0, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m; \\ Q_{jk} \geq 0, \quad j=1, \dots, m, \quad k=1, \dots, K; \\ Q_{id} \geq 0, \quad i=1, \dots, n; \\ Q_{dk} \geq 0, \quad k=1, \dots, K; \\ \sum_{j=1}^m Q_{ij} + Q_{id} = Q_i, \quad i=1, \dots, n; \\ \sum_{j=1}^m Q_{jk} + Q_{dk} = W_k, \quad k=1, \dots, K; \\ \sum_{i=1}^n Q_{ij} = W_j, \quad j=1, \dots, m; \\ W_k \leq W_k^{\max}, \quad k=1, \dots, K; \\ W_j \leq W_j^{\max}, \quad j=1, \dots, m; \\ \sum_{k=1}^K Q_{jk} = \gamma_j \sum_{i=1}^n Q_{ij}, \quad j=1, \dots, m; \\ \sum_{k=1}^K Q_{jd} = \gamma \sum_{i=1}^n Q_{id} \end{array} \right. \quad (6)$$

Задача (5)–(6) может быть решена численно для каждого значения m .

3. Сравняются затраты в системах «до добавления МПС» (C'_m) и «после добавления МПС» (C_{m+1}). Если C'_m не больше чем C_{m+1} , то осуществляется переход к вычитанию МПС из системы (шаги 8–12).

4. Иначе производится корректировка местоположения d -й МПС по методике блока № 2.

5. В (1), (2) вычисляются затраты C'_{m+1} в системе «после добавления МПС».

6. Сравняются затраты в системах «до добавления МПС» (C'_m) и «после добавления МПС» (C'_{m+1}). Если затраты C'_m не больше затрат C'_{m+1} , то значению затрат C'_m

присваивается значение затрат C'_{m+1} . В систему вновь добавляется одна станция и процедура проходит новый цикл (1)–(6).

7. Иначе вариант системы «до добавления МПС» объявляется оптимальным, $C^* = C'_m$, $m^* = m$

Примечание: если принято решение о добавлении станции, то пропускная способность станций в уже сформированной системе (после реализации второго блока) должна быть уменьшена на величину разности пропускных способностей «до добавления МПС» и «после добавления МПС» ΔW_j^d :

$$\Delta W_j^d = W_j - W_j^{(1)}, \quad (7)$$

где W_j – пропускная способность j -й МПС «до добавления МПС», $j = 1, \dots, m$; $W_j^{(1)}$ – пропускная способность j -й МПС «после добавления МПС», $j = 1, \dots, m$.

Вычитание МПС.

При вычитании МПС систему без одной МПС будем называть «после вычитания МПС», а систему на предыдущем шаге – «до вычитания МПС».

8. Из системы вычитается одна МПС и вычисляются затраты C_m^e (e – номер МПС, которая вычитается из системы, $e = 1, \dots, m$) всех возможных сочетаний МПС в наборе из $m - 1$, выбранного из m МПС.

Целевая функция задачи записывается в виде:

$$C_m^e \left(\left\{ Q_{ij}^a \right\}_{\substack{i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, m \\ j \neq e}}, \left\{ Q_{jk}^b \right\}_{\substack{j=1, \dots, m \\ k=1, \dots, K \\ j \neq e}} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq e}}^m \left(\frac{T_a L_{ij}^a}{q_a} + P_j \right) Q_{ij}^a + \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq e}}^{m-1} \sum_{k=1}^K \left(\frac{T_b L_{jk}^b}{q_b} + U_k \right) Q_{jk}^b + m \cdot S \rightarrow \min \quad (8)$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq e; \\ Q_{jk} \geq 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq e, \quad k = 1, \dots, K; \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq e}}^m Q_{ij} = Q_i, \quad i = 1, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{ij} = W_j; \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq e; \\ W_j \leq W_j^{\max}, \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq e; \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq e}}^m Q_{jk} \leq W_k^{\max}, \quad k = 1, \dots, K; \\ \sum_{k=1}^K Q_{jk} = \sum_{i=1}^n \gamma_j \cdot Q_{ij}, \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq e \end{array} \right. \quad (9)$$

Примечания:

а) задача (8), (9) может быть решена численно для каждого значения m ;

б) значения расстояний $\left\{ L_{ij}^a \right\}_{\substack{i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, m \\ j \neq e}}, \left\{ L_{jk}^b \right\}_{\substack{j=1, \dots, m \\ k=1, \dots, K \\ j \neq e}}$ определяются по фактической дорожной сети;

в) из всех значений модели (8), (9), рассчитанной по всем возможным сочетаниям «после вычитания МПС», выбирается самое минимальное. Это значение будет опорным для последующих шагов вычисления алгоритма

9. Сравниваются затраты в системах «до вычитания МПС» (C'_m) и «после вычитания МПС» (C_m^e). Если C'_m не больше C_m^e , то система «до вычитания МПС» объявляется оптимальной. $C^* = C'_m$, $m^* = m$.

10. Иначе вычисляются разности пропускных способностей каждой перегрузочной станции сети ΔW_j^0 , $j = 1, \dots, m$, $j \neq e$. От пропускной способности j -й станции «после вычитания МПС» вычитается пропускная способность j -й станции «до вычитания МПС»:

$$\Delta W_j^0 = W_j^{(2)} - W_j; \quad (10)$$

где $W_j^{(2)}$ – пропускная способность j -й МПС «после вычитания МПС», $j = 1, \dots, m$, $j \neq e$; W_j – пропускная способность j -й МПС «до вычитания МПС», $j = 1, \dots, m$.

11. Если есть возможность увеличить производительность каждой перегрузочной станции на величину ΔW_j^0 соответственно, то значению затрат в системе «до вычитания МПС» (C'_m) присваивается значение затрат «после вычитания МПС» (C_m^e), из сети отнимается одна МПС и процедура проходит новый цикл (8)–(11).

12. Иначе сеть «до вычитания МПС» объявляется оптимальной. $C^* = C'_m$, $m^* = m$.

Система двухэтапного транспортирования является одним из звеньев процесса повышения эффективности ликвидации твердых муниципальных отходов, управление которыми остается злободневной проблемой муниципальных хозяйств. Элементами данной системы являются: пункты сбора, пункты ликвидации, специализированные транспортные средства и потоки отходов, а самыми основными элементами, без которых невозможно организовать двухэтапный процесс транспортирования отходов – пункты перегрузки твердых муниципальных отходов с одного подвижного состава на другой (МПС).

Разработана модель повышения эффективности сформированной системы. Необходимость в проведении моделирования и мероприятий, связанных с перестройкой системы, связана с возможным увеличением суммарных расходов при смещении позиций перегрузочных станций относительно оптимальных точек в силу местных условий территории муниципального образования.

Литература

1. Кочерга В. Г., Поздняков М. Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации//СПб. - №1, 2011. – с. 28-33.
2. Транспортная логистика / Под общей редакцией Л.Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 512 с.
3. Управление твердыми бытовыми отходами. Проект Европейского Сообщества INTERREG IIIA «Кооперация в совместном создании системы управления отходами в Псковской области», 2008.
4. Гайдаев В. С., Семчугова Е.Ю. Логистическая оценка доступности объектов для маломобильных групп населения / Вестник Тихоокеанского государственного университета. – № 1 (24). – 2012. – С 83-90.
5. Семчугова Е. Ю., Солонская И.Г., Гайдаев В.С Логистическое обеспечение транспортной подвижности пассажиров с ограниченными возможностями здоровья // Известия Ростовского государственного строительного университета. – №14. – Ростов н/Д: Рост. гос. стоит. ун-т, 2010. – С 75-83.
6. Кочерга В. Г., Семчугова Е. Ю., Гайдаев В. С. Логистическая система управления транспортным обеспечением маломобильных групп населения / Безопасность движения в олимпийском Сочи: Материалы Российско-Германской научно-практической конференции в рамках программы «Российско-Германский Год Науки» // Сочинский филиал МАДИ. – Сочи, 2011. – С 54-56.