

*В роботі розглянуто один з ефективних підходів до розв'язання проблеми оперативного планування та контролю виконання маршрутів руху сміттєзбиральних машин у населених пунктах на основі геоінформаційної аналітичної системи. Наведена математична постановка задачі оперативного планування маршрутів руху сміттєзбиральних машин і ефективний алгоритм її розв'язання*

*Ключові слова: сміттєзбиральна машина, оптимізація, маршрут, енергозбереження, GPS-контроль, тверді побутові відходи*

*В работе рассмотрен один из эффективных подходов к решению проблемы оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин в населённых пунктах на основе геоинформационной аналитической системы. Приведена математическая постановка задачи оперативного планирования маршрутов движения мусороуборочных машин и эффективный алгоритм её решения*

*Ключевые слова: мусороуборочная машина, оптимизация, маршрут, энергозбережение, GPS-контроль, твёрдые бытовые отходы*

УДК 656.1, 519.1, 519.85

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40064

# ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ МУСОРОУБОРОЧНЫХ МАШИН

**А. Д. Тевяшев**

Доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой\*

E-mail: tad45@mail.ru

**О. И. Матвиенко**

Аспирант\*

E-mail: olga\_mat@ukr.net

**О. В. Шиян\***

E-mail: blaziken.1st@gmail.com

\*Кафедра прикладной математики

Харьковский национальный

университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166

## 1. Введение

Проблема оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин является одной из приоритетнейших, занимая в системе городского хозяйства второе место по затратам и инвестициям после сектора водоснабжения и канализации.

К муниципальным твёрдым бытовым отходам (ТБО) относятся отходы, образующиеся в жилом секторе, в предприятиях торговли, административных зданиях, учреждениях, конторах, дошкольных и учебных заведениях, культурно-спортивных учреждениях, на железнодорожных и автовокзалах, аэропортах, речных портах.

В настоящее время на территории Украины каждый городской житель ежегодно выбрасывает от 100 до 400 кг ТБО, представляющих серьёзную санитарно-эпидемиологическую угрозу. За последние годы объём ТБО резко увеличился. Сбор ТБО, как правило, осуществляется с использованием стандартных контейнеров, устанавливаемых на контейнерных площадках. Местоположение контейнерных площадок в различных районах города и количество установленных на них контейнеров зависит от плотности населения на обслуживаемом участке и интенсивности заполнения контейнеров ТБО на данной площадке.

Удаление ТБО из заполненных контейнеров осуществляется с помощью специально оборудованных мусороуборочных машин (МУМ), осуществляющих погрузку ТБО в кузов (бункер) МУМ и их прессование. После заполнения кузова МУМ используется в качестве специализированного грузового автомобиля, доставляющего собранные ТБО к месту утилизации.

В большинстве случаев населённый пункт имеет сложный рельеф и на маршруты движения МУМ накладываются дополнительные ограничения, связанные с их реализацией: крутой (не реализуемый) подъём/спуск, одностороннее движение, дорожные знаки, ограничивающие движение транспортных средств, узкая дорога, неудовлетворительное дорожное покрытие и т. д.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Проблема оптимизации транспортных потоков актуальна для многих областей хозяйственной деятельности [1–4]. Для решения задач транспортной логистики применяются алгоритмы теории графов, статистический анализ данных [5, 6]. В работах [7, 8] рассматриваются детерминированные оптимизационные задачи транспортной логистики, они находят оптимальные маршруты, по которым воз-

можно в кратчайшие сроки и с минимальными затратами переместить груз из одной точки в другую, и не учитывают случайный характер исходных данных. Проанализировав вышеперечисленные исследования, предлагается комплексный подход к решению проблемы оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин в населённых пунктах на основе геоинформационной аналитической системы [9]. При построении математической модели задачи оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин предполагаем, что все статистические данные являются реализациями соответствующих случайных величин, имеющих нормальное распределение [10]. Таким образом, стохастическая задача оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин является более адекватной.

На вербальном уровне суть проблемы оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин заключается:

- в синхронизации по времени процессов заполнения контейнеров ТБО на каждой контейнерной площадке и процессов удаления ТБО;
- в минимизации материальных и энергетических затрат на сбор и вывоз ТБО.

---

### 3. Цель и задачи исследования

---

Процесс заполнения контейнеров ТБО в общем случае является нестационарным случайным процессом, зависящим от ряда хронологических (дни недели, праздничные дни, время года), метеорологических (температура, осадки) и организационных факторов (уборка территорий). Смысл синхронизации заключается в том, что время задержки между моментом окончания процесса заполнения контейнеров ТБО и моментом их вывоза не должно превышать несколько (1–5) часов. Увеличение времени задержки недопустимо, так как это может способствовать серьезному загрязнению городов из-за переполнения контейнеров, возрастанию рисков экологических катастроф и возрастанию дополнительных трудовых и временных затрат по подбору и погрузке просыпавшихся из контейнеров ТБО. Вывоз ТБО из не полностью заполненных контейнеров также нежелателен, т. к. это приводит к недогрузке МУМ и, следовательно, дополнительным непроизводительным затратам топлива МУМ.

Целью данной работы является изложение одного эффективного подхода к решению проблемы оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин в населённых пунктах на основе геоинформационной аналитической системы [9].

Для достижения поставленной цели была поставлена задача обеспечения минимизации материальных и энергетических затрат на сбор и утилизацию ТБО, которая осуществляется путём:

- оперативного планирования оптимального количества и минимальной протяжённости ежедневных маршрутов движения каждой МУМ с её максимальной загрузкой;

- оперативного контроля средствами GPS-навигации строгого выполнения каждой МУМ каждого из запланированных для неё маршрутов.

В работе рассмотрена структура и функциональность геоинформационно аналитической системы оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин (ГИАСОПМ).

---

## 4. Геоинформационно аналитическая система оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин

---

ГИАСОПМ включает в себя три взаимосвязанные подсистемы – геоинформационную, аналитическую и подсистему мониторинга МУМ.

### 4. 1. Геоинформационная подсистема

Пространственная распределённость города или населённого пункта и необходимость получения полной и достоверной информации о пространственном местоположении каждой контейнерной площадки и каждого контейнера, структуре и параметрах застройки города, подъездных путей, маршрутов движения городского транспорта привели к тому, что инвариантным ядром всех информационных баз данных стали многоуровневые электронные карты. Каждая электронная карта включает топооснову и множество связанных с ней слоев. В каждом слое находится определенное подмножество пространственно распределённых объектов районов города или обслуживаемых участков. Каждый объект обслуживаемого участка, включая контейнерные площадки, представляет собой графический образ, с которым связаны текстовые базы данных, содержащие всю необходимую статическую информацию о данном объекте: адрес, этажность, владелец и т.п. для жилых домов, зданий и сооружений; количество, тип, объём каждого контейнера и геодезическую отметку для каждой контейнерной площадки. Для каждой контейнерной площадки дополнительно вводится динамическая информация в виде временного ряда о фактической интенсивности заполнения контейнеров, расположенных на этой площадке. Кроме того, динамическая информация вводится и для состояния участков дорог (открыт/закрит для проезда) и подъездных путей к каждой контейнерной площадке. Каждый слой может быть совмещен с топоосновой или с любым другим слоем, а также с их произвольной комбинацией.

Такая структурная организация баз данных является необходимым информационным базисом, на котором основано решение всех аналитических задач.

### 4. 2. Аналитическая подсистема

Аналитическая подсистема реализует ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии сбора и утилизации ТБО. Основным элементом аналитической подсистемы является подсистема оперативного планирования маршрутов движения МУМ.

**Задача оперативного планирования маршрутов движения МУМ.**

*Математическая модель человека-машинного парка МУМ.* Жилищно-коммунальное предприятие

(ЖКП), занимающееся вывозом твёрдых бытовых отходов, располагает парком МУМ  $M = \{1, 2, \dots, p, \dots, m\}$ , водителями этих машин и рабочими. Наиболее адекватной моделью человеко-машинного парка МУМ является статистическая модель, позволяющая учесть не только технические характеристики каждой МУМ, но и особенности её использования водителем и рабочими. Для построения такой модели в базу банных ГИАСОПМ ежедневно заносятся статистические данные о фактической работе, выполненной каждой МУМ и обслуживающим её персоналом, а также все виды затрат для выполнения этих работ. При построении модели человеко-машинного парка МУМ предполагается, что все статистические данные являются реализациями соответствующих случайных величин  $X(\omega)$ , имеющих нормальное распределение  $X(\omega) \sim N(\bar{x}, \sigma^2)$ , которые полностью характеризуются двумя параметрами: математическим ожиданием  $\bar{x}$  и дисперсией  $\sigma^2$ .  $\omega \in \Omega$ :  $(\Omega, V, P)$  – вероятностное пространство, где  $\Omega$  – пространство элементарных событий,  $V$  –  $\sigma$ -алгебра событий из  $\Omega$ ,  $P$  – вероятностная мера на  $V$ . В результате статистической обработки данных получаем модель человеко-машинного парка МУМ в виде набора оценок математического ожидания следующих технических характеристик для каждой  $p$ -ой МУМ:

$S^p(\omega)$  – грузоподъёмности МУМ, т. е. максимального количества контейнеров, содержимое которых может быть загружено в МУМ;

$V^p(\omega)$  – затрат топлива (зима –  $V_z^p$ , лето –  $V_l^p$ ), расходуемого МУМ на один км пути;

$m^p(\omega)$  – затрат машинного масла (зима –  $m_z^p(\omega)$ , лето –  $m_l^p(\omega)$ ), расходуемого МУМ на один км пути;

$b^p(\omega)$  – затрат топлива (зима –  $b_z^p(\omega)$ , лето –  $b_l^p(\omega)$ ), расходуемого спецоборудованием МУМ на выполнение погрузки и разгрузки ТБО;

$t_z^p(\omega)$  – времени, затрачиваемого на разгрузку (погрузку в кузов) МУМ одного контейнера;  $t_l^p(\omega)$  – времени, затрачиваемого на разгрузку МУМ;

$V^p(\omega)$  – скорости движения МУМ на маршруте;

$k^p$  – максимального количества рейсов, которое может совершить МУМ в течение суток.

Так как оценки математических ожиданий получены по выборкам конечной длины, то они сами являются случайными величинами, имеющими нормальное распределение, математическое ожидание которых совпадает с полученными оценками и дисперсией равной  $\sigma^2/n$ , где  $n$  – объём выборки.

**Математическая модель транспортной сети.**

Базовой моделью транспортной сети в задаче оперативного планирования маршрутов движения МУМ по вывозу ТБО в городе является неориентированный взвешенный граф  $H=(V,U)$  с множеством вершин  $V$  из  $n$  элементов, занумерованных числами  $1, 2, \dots, n$  и множеством ребер  $U$ . Каждой вершине  $i \in V$ ,  $|V|=n$  ставится в соответствие:

– адрес, позволяющий позиционировать контейнерную площадку, находящуюся в этой вершине на карте города;

– случайный параметр  $d_i(\omega)$ , соответствующий весу ТБО во всех заполненных контейнерах, установленных в этой вершине;

К множеству вершин  $V$  графа  $H=(V,U)$  добавляем две дополнительные вершины:  $\{n+1\}$ , соответ-

ствующую гаражу, в котором находятся все МУМ и  $\{n+2\}$  – соответствующую месту утилизации (разгрузки) ТБО. В качестве места утилизации ТБО выступает: полигон (свалка), мусороперерабатывающий завод, мусоросортировочная или мусороперегрузочная станция. Введем множество  $N = V \cup \{n+1\} \cup \{n+2\}$ , т. е.  $|N|=n+2$ . Вершины  $i$  и  $j$  образуют в графе  $H=(N,U)$  ребра  $\{i, j\}$ . Граф  $H=(N,U)$  не содержит петель, т. е. ребер  $\{i, i\}$ .

Каждому ребру  $\{i, j\}$ , соединяющему вершины  $i$  и  $j$ , поставим в соответствие длину  $d_{ij} \in R_0^+$  пути из  $i$  в  $j$ , т. е. расстояние, которое должно преодолеть МУМ при движении из вершины  $i$  в вершину  $j$ . В общем случае  $d_{ij} \neq d_{ji}$ ,  $i, j = 1, n+2$  и  $d_{ij} = d_{ji}(\omega)$ , т. е. расстояние, которое должно преодолеть МУМ при движении из вершины  $i$  в вершину  $j$ , рассматривается как случайная величина.

**Математическая модель процесса заполнения контейнеров ТБО.** Как уже отмечалось ранее, интенсивность выбросов населением ТБО представляет собой нестационарный случайный процесс, зависящий от множества хронологических, метеорологических и организационных факторов. Так как количество контейнеров, установленных на каждой контейнерной площадке, и их объём априорно известны, то вместо интенсивности выбросов ТБО в ГИАСОПМ используется линейный связанный с ним, но более операционный показатель – время полного заполнения всех контейнеров ТБО на контейнерной площадке. Для прогнозирования времени заполнения всех контейнеров ТБО на каждой контейнерной площадке в ГИАСОПМ используется обобщённая мультифакторная модель АРПСС, введенная в [10] для прогнозирования процессов потребления целевых продуктов в инженерных сетях. Прогноз времени полного заполнения всех контейнеров ТБО вычисляется в виде условного математического ожидания для каждой контейнерной площадки и аппроксимируется для ближайшего целого значения: сутки, двое суток, ...,  $L$  суток. В результате решения задачи прогнозирования каждой вершине  $V$  графа  $H=(V,U)$  ставится индекс  $I_i = \{1, 2, 3, 4, \dots, L\}$ , соответствующий прогнозируемому времени (в сутках) полного заполнения всех контейнеров, установленных в этой вершине. Интервал оперативного планирования маршрутов движения МУМ принимаем равным длине максимального интервала  $I_i = L$ , т. е. интервал планирования  $T = [1, L]$ .

**Математическая постановка задачи оперативного планирования маршрутов движения МУМ.** Определим оценку математического ожидания  $\bar{d}$  количества контейнеров, которые должны вывозиться ежедневно на интервале планирования  $T = [1, L]$ :

$$\bar{d} \leq \sum_{\omega} \sum_{i=1}^n d_i(\omega) / I_i. \tag{1}$$

В реальных условиях значение  $\bar{d}$  значительно больше грузоподъёмности  $S^p$  любой  $p$ -ой МУМ, т. е.  $\bar{d} \gg S^p$ . Практически это означает, что для ежедневного вывоза всех заполненных контейнеров необходимо некоторое множество МУМ, каждая из которых может совершать не более  $k^p$  рейсов в сутки.

При постановке и решении задачи оперативно-го планирования оптимальных маршрутов движения МУМ возникает задача условной 3D-кластеризации множества контейнерных площадок. На содержательном уровне эта задача заключается в необходимости осуществить оптимальную декомпозицию множества контейнерных площадок  $N$  на непересекающиеся подмножества:

$$N = \bigcup_p N_p^k(l); \quad \bigcap N_p^k(l) = n + 2, \\ (k = 1, 2, \dots, k^p), \quad (p = 1, 2, \dots, m), \quad (l = 1, 2, \dots, L). \quad (2)$$

Каждое из подмножеств  $N_p^k(l)$  представляет собой множество контейнерных площадок, входящих в  $k$ -й маршрут, выполняемый  $p$ -ой МУМ в  $l$ -е сутки планового периода  $T = [1, L]$ .

Каждое из подмножеств, должно удовлетворять следующим трём условиям:

1. должно быть связным, т. е. для любых  $i, j \in$ : существует разрешённый путь минимальной длины  $d_{ij}$  из вершины  $i$  в вершину  $j$ ;
2. суммарное расстояние между контейнерными площадками множества должно быть минимальным;
3. суммарный вес ТБО для каждого подмножества не должен превышать грузоподъёмности  $p$ -ой МУМ; разность геодезических отметок между контейнерными площадками, входящими в подмножество, не должна превышать некоторого заданного значения.

При сделанных обозначениях математическую постановку задачи оперативно-го планирования маршрутов движения МУМ можно представить в виде:

$$M \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{k^p} \sum_{p=1}^m \sum_{i \in N_p^k(l)} \tau_i(N_p^k(l, \omega)) d_{ij}(\omega) \rightarrow \min_{\langle k^p, m, \tau^* \rangle \in \Omega}, \quad (3)$$

$$\Omega: P \left( \sum_{i \in N_p^k(l)} d_i(\omega) \leq S^p(\omega) \right) \geq \alpha, k = 1, 2, \dots, k^p; \\ p = \{1, 2, \dots, m\}; l = \{1, 2, \dots, L\}; j = \tau_i(i), \quad (4)$$

где  $\tau_i(N_p^k(l, \omega))$  – циклическая перестановка, определяющая порядок прохождения  $N_p^k(l, \omega)$  вершин  $k$ -ого маршрута, выполняемого  $p$ -ой МУМ в  $l$ -ые сутки планового периода  $T = [1, L]$ ,  $\alpha$ -константа, определяющая вероятность выполнения условия перегрузки  $p$ -ой МУМ. Задача (3), (4) относится к классу задач дискретного стохастического программирования  $M$  типа с построчными вероятностными ограничениями. Для решения задачи (3), (4) строится её детерминированный эквивалент путём замены всех случайных величин, входящих в целевую функцию, их математическими ожиданиями и пересчётом вероятностных неравенств (4) в детерминированные неравенства на основании известных статистических свойств случайных величин  $d_i(\omega)$  и  $S^p(\omega)$ .

Детерминированный эквивалент задачи (3), (4) относится к классу  $NP$ -полных задач, точных алгоритмов решения которых в настоящее время не существует [10]. Поэтому для решения детерминированного эквивалента задачи (3), (4) используется приближённый алгоритм.

**Алгоритм решения задачи оперативно-го планирования маршрутов движения МУМ** включает выполнение следующих этапов:

1. Вычисляем оценку  $m$  необходимого количества МУМ для ежедневного вывоза  $\bar{d}$  контейнеров из условия:

$$\sum_{k=1}^{k^p} \sum_{p=1}^m \bar{S}_k^p \geq \bar{d}. \quad (5)$$

2. Разбиваем множество  $N$  на ряд подмножеств таких, что

$$N = \bigcup_p N_p^k(l); \quad \bigcap N_p^k(l) = n + 2, \\ k = 1, 2, \dots, k^p, \quad p = \{1, 2, \dots, m\}, \quad l = \{1, 2, \dots, L\},$$

$$\sum_{i \in N_p^k(l)} \bar{d}_i \leq \bar{S}^p. \quad (6)$$

Каждое из подмножеств  $N_p^k(l)$  представляет собой множество узлов, входящих в  $k$ -й маршрут, выполняемый  $p$ -ым транспортным средством (ТС) в  $l$ -е сутки планового периода  $T = [1, L]$ .

Разбиение множества  $N$  на подмножества  $N_p^k(l, \tilde{\omega})$  осуществляется иерархическим методом 3D-кластеризации [11, 12].

3. По карте города определяется длина  $d_{ij} \in R_0^+$  кратчайшего пути между всеми вершинами  $i, j \in N_p^k(l, \tilde{\omega})$  с учётом всех правил дорожного движения при выполнении условий возможности прохождения конкретной ТС этого пути.

4. Построение каждого детализированного маршрута минимальной длины, проходящего через множество вершин  $N_p^k(l, \tilde{\omega})$ , осуществляем методом Литтла [13]. Каждый полученный маршрут представляется в виде циклической перестановки  $\tau_i(N_p^k(l, \tilde{\omega}))$ , при этом минимальная длина каждого маршрута равна

$$L_p^k(l) = \sum_{i \in N_p^k(l, \tilde{\omega})} \tau_i^*(N_p^k(l, \tilde{\omega})) \bar{d}_{ij}, \quad j = \tau^*(i). \quad (7)$$

Таким образом решением задачи (3), (4) являются: – минимально необходимое значение количества рейсов, выполняемых каждой МУМ в каждый  $l$ -й день планового периода;

– минимальное значение  $p_l^*$  – количество МУМ, необходимое для вывоза ТБО в каждый  $l$ -й день планового периода;

–  $\tau_i^*(N_p^k(l, \tilde{\omega}))$  –  $k$ -й оптимальный маршрут минимальной длины, выполняемый  $p$ -ой МУМ в  $l$ -й день планового периода.

5. Расчет дополнительных параметров каждого детализированного маршрута:

средние затраты топлива на выполнение всех  $k_l^{p*}$  рейсов  $p$ -ой МУМ в  $l$ -й день планового периода:

$$\bar{B}^p(l) = \sum_{k=1}^{k^p} \bar{B}^p \sum_{i \in N_p^k(l, \tilde{\omega})} \tau_i^*(N_p^k(l, \tilde{\omega})) \bar{d}_{ij} + \bar{b}^p, \quad (8)$$

– среднее время, затрачиваемое  $p$ -ой МУМ на выполнение  $k_l^{p*}$  рейса в  $l$ -й день планового периода:



$$\bar{T}_p^k(l) = L_p^k(l) / \bar{V}^p + \bar{t}_r^p + \bar{t}_p^p \sum_{i \in N_p^k(l, \bar{\omega})} \bar{d}_i. \quad (9)$$

#### 4. 3. Подсистема мониторинга МУМ

Подсистема мониторинга МУМ – это интегрированная в ГИАСОПМ система сбора, регистрации и предоставления информации о местоположении МУМ на территории города.

Главной целью подсистемы мониторинга МУМ является обеспечение диспетчерской службы и руководства ЖКП актуальной и оперативной информацией о местонахождении подконтрольных им МУМ, реализация эффективных механизмов сбора, обработки и выдачи информации, процедур и технических средств обмена данными [9]. Основными функциональными задачами подсистемы мониторинга МУМ являются:

- контроль за местоположением и состоянием МУМ;
- координация деятельности подразделений, обслуживающих МУМ предприятия;
- недопущение нецелевого использования МУМ предприятия;
- обеспечение соблюдения технических условий эксплуатации МУМ.

Основу подсистемы составляет геоинформационная система, позволяющая решить задачи сбора, хранения и обработки различных по типам и происхождению данных.

Координаты и местоположение МУМ на карте города определяются с помощью технологии GPS с использованием спутниковой системы NAVSTAR. В настоящее время это единственная полностью развернутая и работоспособная система спутниковой навигации. Данные о местоположении МУМ поступают на бортовой радиотерминал, который параллельно собирает и обрабатывает информацию о состоянии различных систем и агрегатов автомобиля. Передача данных от МУМ на сервер осуществляется через сеть мобильной связи стандарта GSM 900, используя протокол передачи данных GPRS.

Подсистема мониторинга МУМ – это интегрированный комплекс функциональных модулей, информационных ресурсов и унифицированных технологических процессов обработки информации, телекоммуникационной и вычислительной среды.

Подсистема разработана с учетом возможности ее последующей модернизации с минимизацией временных и финансовых затрат, без изменения системной платформы и протоколов обмена информацией.

Подсистема имеет широкий спектр возможностей графического отображения векторных моделей местности и большой набор отчетных форм.

Подсистема мониторинга МУМ предоставляет возможность отслеживать любые изменения состояния МУМ и его характеристик. Структура базы данных позволяет выполнять расширение состава информации о МУМ.

Основой подсистемы является централизованное хранилище данных с распределенной обработкой.

Подсистема построена по модульному принципу, что позволяет, при необходимости, заменять определенные модули подсистемы, сохраняя ее работоспособность в целом.

В подсистеме используется терминал ND GPS terminal 031 производства ООО «Навидев».

В базовой комплектации подсистема позволяет оценивать следующие параметры каждой контролируемой МУМ: текущее местоположение, пройденный маршрут, отклонение от заданного маршрута, скорость движения, время движения, время и места стоянок, выход из зоны, вход в зону.

При наличии соответствующих датчиков возможен контроль за следующими дополнительными параметрами: количеством топлива в баках, путевым расходом топлива, заправками и сливами топлива, оборотами двигателя, временем работы двигателя, состоянием «тревожной кнопки», загруженностью, положением механизмов (для спецтехники), открытостью дверей и т. д.

В системе используется датчик топлива ДУ-01М производства ООО «Оргтехавтоматика».

Подсистема также позволяет, при наличии соответствующей аппаратной части, управлять различными устройствами: блокировать двери, отключать двигатель и т. д.

Эффекты от внедрения системы:

- экономия ГСМ и других ресурсов, связанных с эксплуатацией МУМ;
- оптимизация оперативных функций диспетчера;
- уменьшение непроизводительного и холостого пробега;
- отслеживание и пресечение нецелевого использования МУМ;
- принятие управленческих решений на основе достоверных статистических отчетных данных;
- повышение уровня дисциплины водителей и диспетчеров;
- снижение аварийности.

#### 5. Расчёт оптимальных маршрутов движения мусороуборочных машин

Рассмотренный в работе подход к решению проблемы оперативного планирования и контроля выполнения маршрутов движения мусороуборочных машин был применён для одного из городов Украины с населением порядка 40 тыс. чел. и количеством контейнеров 431. В качестве исходных данных были заданы адреса контейнерных площадок (103), количество контейнеров на них (1–13), интенсивность их наполнения (1, 2, 3, 7, 15, 30 дней), а также множество ограничений на маршруты движения МУМ.

На рис. 1 показано разбиение множества контейнерных площадок на кластеры (подмножества), на рис. 2 приведены результаты поиска одного из оптимальных маршрутов по алгоритму Литтла. На рис. 3 изображен фрагмент одного из оптимальных маршрутов.

В результате решения задачи оптимального планирования маршрутов вывоза всех контейнеров оказалось достаточно двух машин: МУМ КАМАЗ с параметрами  $S^1=40$  контейнеров,  $V_z^1=0,318$  л/км,  $V_1^1=0,334$  л/км,  $b_z^1=14,0$  л,  $b_1^1=13,3$  л и МУМ ГАЗ с параметрами  $S^2=16$  контейнеров,  $V_z^2=0,309$  л/км,  $V_1^2=0,294$  л/км,  $b_z^2=6,1$  л,  $b_1^2=5,8$  л. Для обеих машин

$V^P=37$  км/ч,  $t_p^P=3$  мин,  $t_r^P=10$  мин. Обе МУМ должны выполнить по 4 рейса в день.

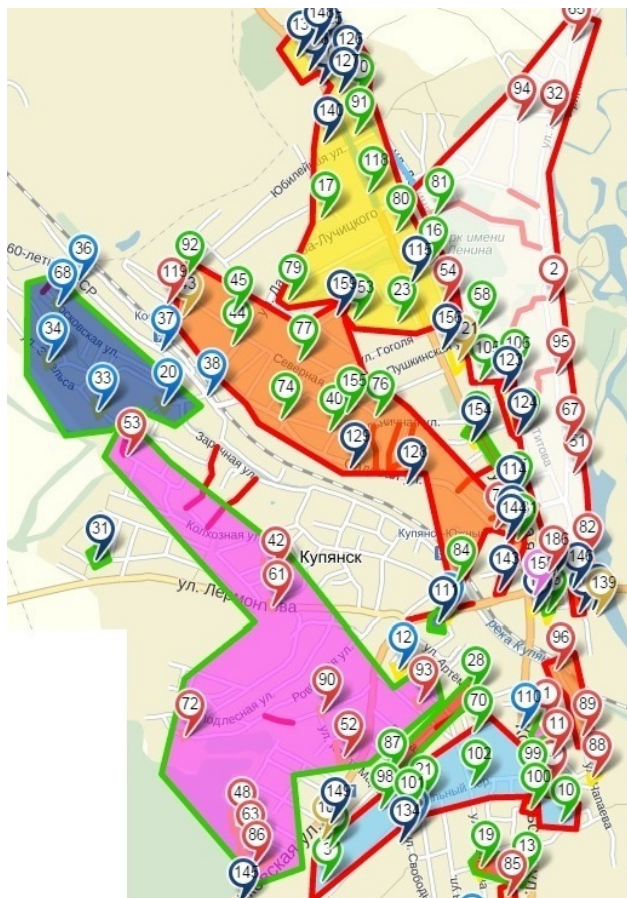


Рис. 1. Результаты решения задачи кластеризации

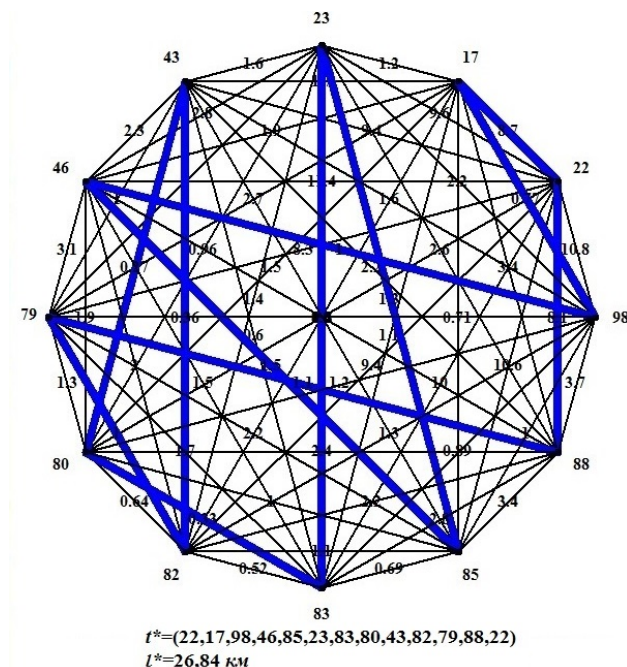


Рис. 2. Результаты поиска одного из оптимальных маршрутов движения МУМ по алгоритму Литтла,  $t^*$  – номера вершин графа для оптимального маршрута,  $l^*$  – длина оптимального маршрута

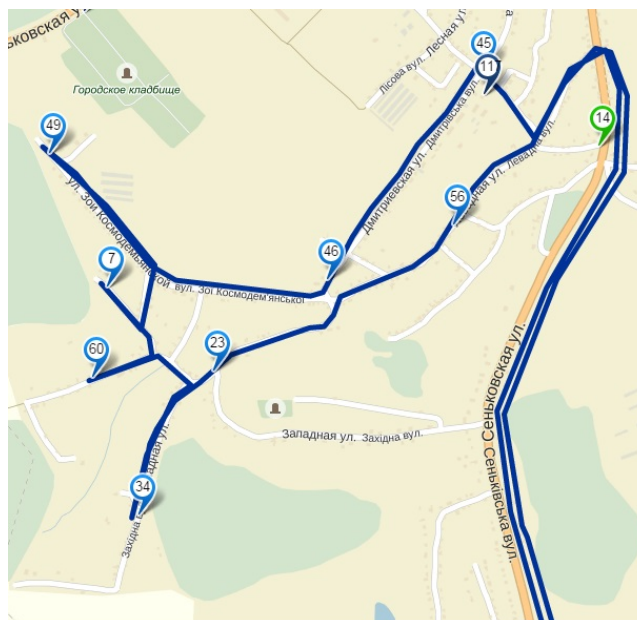


Рис. 3. Фрагмент одного из оптимальных маршрутов

## 6. Выводы

Проверка эффективности работы ГИАСОПМ была проведена для ЖКП, обслуживающего один из городов Украины с населением порядка 40 тыс. чел. Использование ГИАСОПМ для заданного количества контейнеров и прогнозируемой интенсивности их заполнения позволило: обосновать длительность интервала планирования и минимального необходимого количества МУМ; оперативно разработать детализированные маршруты движения МУМ, обеспечивающих сбор и вывоз всех заполненных контейнеров с ТБО для каждого дня планового периода, которые являются реализуемыми, т. е. могут быть выполнены соответствующими МУМ; минимальными по длине среди всех возможных маршрутов, проходящих через заданные адреса контейнерных площадок; оптимальными по количеству загружаемых контейнеров в каждую МУМ на каждом маршруте, т. е. максимально используется грузоподъемность каждой МУМ; оптимальными по затратам топлива для МУМ.

Разработанные детализированные маршруты движения МУМ, по всем показателям превосходили фактически используемые ЖКП маршруты движения МУМ, обеспечивающих сбор и вывоз всех контейнеров с ТБО. Практическая реализация разработанного плана выполнения детализированных маршрутов по вывозу ТБО позволила существенно сократить необходимый парк МУМ (с трёх до двух), значительно сократить суммарные длины маршрутов, выполняемых каждой МУМ и сократить фактические затраты топлива на плановом периоде в один месяц на 35 %.

Внедрение ГИАСОПМ является эффективным средством повышения экологической безопасности, энерго и ресурсосбережения ЖКП.

## Література

1. Abramov, M. Regional System of Utilization of Solid Waste in the Crimea [Text] / M. Abramov, Y. Shtonda. // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow. – 2012. – Vol. 14, Issue 1. – P. 126–131.
2. Артынов, А. Автоматизация управления транспортными системами [Текст] / А. Артынов, В. Ембулаев, А. Пуньшев, В. Скалецкий. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
3. Stroh, M. B. A Practical Guide to Transportation and Logistics [Text] / M. B. Stroh. – Logistics Network, 2006. – 291 p.
4. Панишев, А. В. Оптимизация замкнутых маршрутов на транспортной сети [Текст] / А. В. Панишев, А. Ю. Левченко, О. Б. Маций. // Штучний інтелект. – 2010. – № 1. – С. 43–49.
5. Бююль, А. Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей [Текст] / А. Бююль, П. Цёфель; пер. с нем. – СПб. : ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.
6. Демиденко, В. М. Релаксационный полигон симметричной задачи о коммивояжере, порождаемый конусом матриц Супника [Текст] / В. М. Демиденко // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізика-матэматычных навукі. – 2007. – № 2. – С. 109–115.
7. Авен, О. И. Оптимизация транспортных потоков. [Текст] / О. И. Авен, С. Е. Ловецкий, Г. Е. Моисеенко. – М.: Наука, 1985. – 164 с.
8. Бронштейн, Е. М. Детерминированные оптимизационные задачи транспортной логистики [Текст] / Е. М. Бронштейн, Т. А. Зайко // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 10. – С. 133–147.
9. Tevyashev, A. Geoinformatical Analytic Control System of the Collection of Municipal Solid Waste [Text] / A. Tevyashev, O. Matviienko, O. Shiyan. // Econtechmod. An International Quarterly Journal. – 2014. – Vol. 3, Issue 3. – P. 77–89.
10. Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1979. – 199 с.
11. Jain, A. K. Data Clustering [Electronic resource] / A. K. Jain, M. N. Murty, P. J. Flynn. – 1999. – Available at: <http://nd.edu/~flynn/papers/Jain-CSUR99.pdf>
12. Johnson, D. Modern Logistics [Text] / D. Johnson, D. Wood. – Williams, 2005. – 624 p.
13. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. Точные алгоритмы [Текст] / И. И. Меламед, С. И. Сергеев, И. Х. Сигал // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 10. – С. 3–29.

*Запропоновано спрощену математичну модель скловарної печі, побудову якої основана на способі розділення змінних (метод Фур'є). Розділення змінних – визначення базисних векторів та коефіцієнтів Фур'є – здійснюється за допомогою ортогональної декомпозиції (базисні вектора) та оригінального методу системної ідентифікації на основі математичної моделі у просторі станів (коефіцієнти Фур'є)*

*Ключові слова: скловарна піч, метод Фур'є, ортогональна декомпозиція, системна ідентифікація, простір станів*

*Предложена упрощенная математическая модель стекловаренной печи, построение которой основано на способе разделения переменных (метод Фурье). Разделение переменных – определение базисных векторов и коэффициентов Фурье – осуществляется с помощью ортогональной декомпозиции (базисные вектора) и оригинального метода системной идентификации на основе математической модели в пространстве состояний (коэффициенты Фурье)*

*Ключевые слова: стекловаренная печь, метод Фурье, ортогональная декомпозиция, системная идентификация, пространство состояний*

УДК 681.3.06

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40563

## РОЗРОБКА СПРОЩЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

А. І. Жученко

Доктор технічних наук,  
професор, завідувач кафедри\*

В. С. Цапар

Старший викладач\*

\*Кафедра автоматизації хімічних виробництв  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

## 1. Вступ

Сучасні комп'ютерні системи керування, як правило, будуються на основі математичних моделей ке-

рованих процесів. Тому при створенні системи керування скловарною піччю – основним технологічним апаратом у виробництві скляної продукції – потрібна математична модель даного об'єкту керування. Така