

УДК 656.013

# МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРИ ДОСТАВКЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

*Розроблено методика визначення раціональної вантажопідйомності автомобілів-сміттєвозів з доступного ряду транспортних засобів, яка дозволяє підібрати марку автомобіля, що відповідає можливим обсягам перевезення. Визначено цільову функцію, для кожної схеми організації вивозу ТБО, що враховує витрати: на однократний вивіз відходів, за здачу, на розробку природоохоронних документів, на облаштування місця розміщення даного виду відходів*

*Ключові слова: твердо- побутові відходи, контейнер, схема, регресія, технологія*

*Разработана методика определения рациональной грузоподъемности автомобилей-мусоровозов из доступного ряда транспортных средств, которая позволяет подобрать марку автомобиля, отвечающую возможным объемам перевозки. Определена целевая функция для каждой схемы организации вывоза ТБО, которая учитывает затраты: на однократный вывоз отходов, за сдачу отходов, на разработку природоохранных документов, на обустройство места размещения данного вида отходов*

*Ключевые слова: твердо- бытовые отходы, контейнеры, автомобиль-мусоровоз, схема, технология, регрессия, затраты*

**А. В. Павленко**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (057) 707-37-20

E-mail: ttpov@mail.ru

**В. Н. Нефёдов**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (057) 707-37-20

E-mail: ha\_moro3e@mail.ru

**Д. А. Музылёв**

Кандидат технических наук, ассистент\*

Контактный тел.: (057) 707-37-20

E-mail: murza\_1@ukr.net

**Р. Н. Гришаточкин\***

\*Кафедра транспортных технологий

Контактный тел.: (057) 707-37-20

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61001

## 1. Введение

Сбор твердо-бытовых отходов (ТБО) является ключевым элементом в системе управления бытовыми отходами. Во-первых, он несет в себе функцию предотвращения загрязнения окружающей среды и снижения рисков возникновения опасных для жизни и здоровья людей явлений. Во-вторых, схема сбора твердо-бытовых отходов оказывает значительное влияние на глубину их переработки и качество получаемого вторсырья [1].

## 2. Анализ публикаций

К особенностям организации вывоза ТБО относят: выбор наиболее эффективных в санитарном и техническом отношении мероприятий при минимальных строительных и эксплуатационных расходах, применение наиболее прогрессивных и экономически выгодных в условиях городского округа схем и способа сбора, вывоза ТБО с учетом комплексной механизации трудоемких процессов, использование наиболее совершенных методов уборки городских территорий, рациональное размещение объектов санитарной очистки и уборки в плане городского округа [2,3].

Для повышения уровня обслуживания населения при вывозе твердо-бытовых отходов необходимо учитывать такие важные показатели, как спрос и цена для населения качественного сбора и своевременный вывоз ТБО из мест накопления. Учет этих показателей играет важную роль в построении технологии процесса предоставления услуги по сбору и вывозу ТБО.

В настоящее время возникла и имеет значительную важность проблема экологической опасности в сфере обращения с ТБО, причем, сложности начинаются на стадии сбора и транспортировки и продолжаются на этапах переработки или захоронения неиспользуемых фракций, поэтому необходимо рассмотреть более детально схему сбора ТБО автомобилями – мусоровозами.

Современное состояние организации сбора и вывоза ТБО автомобильным транспортом основано на опыте работы многих ЖЭКом и ДЭЗов во взаимодействии с автомобильными компаниями. При этом выявлено, что существует определенное количество различных схем сбора отходов. Однако, доминируют два основных метода, т.н. „принеси и положи” (стационарные системы контейнеров) и „оставь на краю тротуара” (сбор запакованных отходов по графику в определенное время). Эти системы отличаются плотностью места сбора, их расположением по отношению к пользователю и степени использования транспорта.

Технологическую схему сбора и вывоза ТБО разрабатывают на основе проектных материалов генеральной схемы санитарной очистки и уборки городского образования, вывоза бытового мусора и отходов из каждого жилого района с учетом инфраструктуры улично-дорожной сети, площадей и характера застройки.

Недостаточная разработка методов эффективного управления процессами перевозок ТБО с согласованием интересов всех участников в сфере обращения ТБО, а так же теоретическая и практическая значимость данной проблемы, ее актуальность предопределили актуальность работы и позволили сформулировать основные научные идеи и направления исследования.

### 3. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка рациональной схемы ТБО для городского округа Пионерский.

Задачи исследования:

- повысить эффективности доставки твердо-бытовых отходов за счет выбора оптимальных схем вывоза;
- определение схем по сбору и вывозу ТБО;
- разработка критерия для выбора рациональной схемы сбора и вывоза ТБО;
- анализ влияния технологических факторов на рациональную схему сбора и вывоза ТБО;
- разработка практических рекомендаций для увеличения конкурентоспособности ООО УК «Согласие» на рынке сбора и вывоза ТБО.

### 4. Результаты исследований

В основе минимизации затрат на управление отходами и установления оптимальных лимитов на размещение (хранение) отходов лежат, в частности, два общеизвестных обстоятельства. При прочих равных условиях, чем меньшее количество отходов хранится на территории городского округа, тем меньше плата за их хранение, но тем чаще приходится вывозить отходы для передачи специализированным предприятиям-лицензиатам и тем выше транспортные затраты. И наоборот, чем большее количество отходов хранится на территории городского округа, тем больше плата за их хранение, но тем меньше удельные транспортные затраты на их удаление. Используя данную закономерность, целевую функцию для определения общих затрат по вывозу ТБО из Пионерска можно представить в зависимости от четырех основных условий:

- при  $t \leq T$  и  $t \leq \frac{m_t}{V_t}$  целевая функция будет иметь следующий вид

$$P_{y1} = \left( \frac{C_{л}}{T} + \frac{C_{к}}{\tau_{к}} \right) \cdot V_t \cdot t + C_{дл} \cdot V_t + \frac{C_{э}}{\tau_{э}} + \frac{C_{трп}}{t} \rightarrow \min ; \quad (1)$$

- при  $T \leq t \leq \frac{m_t}{V_t}$

$$P_{y2} = \left( \frac{C_{л}}{2T} + \frac{C_{к}}{\tau_{к}} \right) \cdot V_t \cdot t + C_{л} \cdot \frac{V_t}{2} + C_{дл} \cdot V_t + \frac{C_{э}}{\tau_{э}} + \frac{C_{трп}}{t} \rightarrow \min; \quad (2)$$

- при  $\frac{m_t}{V_t} \leq t \leq T$

$$P_{y3} = \left( \frac{C_{л}}{T} + \frac{C_{к}}{\tau_{к}} \right) \cdot V_t \cdot t + C_{дл} \cdot V_t + \frac{C_{э}}{\tau_{э}} + C_{трп} \frac{V_t}{m_t} \rightarrow \min; \quad (3)$$

- при  $t \geq T$  и  $t \geq \frac{m_t}{V_t}$

$$P_{y4} = \left( \frac{C_{л}}{2T} + \frac{C_{к}}{\tau_{к}} \right) \cdot V_t \cdot t + C_{л} \cdot \frac{V_t}{2} + C_{дл} \cdot V_t + \frac{C_{э}}{\tau_{э}} + C_{трп} \frac{V_t}{m_t} \rightarrow \min , \quad (4)$$

где  $t$  – время размещения (хранения) отходов данного вида (далее – отходов) на территории городского округа в годах;

$T$  – отчетный период времени, принимаемый равным одному году;

$m_t$  – грузоподъемность вывозящего отходы транспортного средства, т;

$V_m$  – скорость образования отходов, т/год;

$C_{л}$  – ставка платы за размещение отходов в пределах установленного лимита в руб./т;

$C_{трп}$  – затраты на однократный вывоз отходов транспортным средством грузоподъемностью  $m_t$  (т) в рублях;

$C_{сдл}$  – плата за сдачу отходов в рублях за тонну;

$C_{э}$  – затраты на разработку природоохранных документов в расчете на один вид отходов в рублях;

$C_{к}$  – затраты на обустройство места (контейнера) размещения (хранения) данного вида отходов в рублях за тонну;

$\tau_{э}$  – время действия разрешительных природоохранных документов, лет;

$\tau_{к}$  – срок службы контейнера, лет.

Системой сбора ТБО, используемой в настоящее время в городском образовании, является контейнерная схема (схема «несменяемых» сборников). Так же можно использовать систему сбора в виде «оставь на краю тротуара», с некоторыми изменениями.

Ниже представлены схемы сбора и удаления ТБО [4, 5, 6].

Накопительная схема представлена на рис. 1.

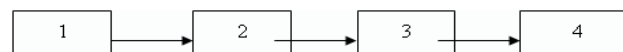


Рис. 1. Накопительная схема: 1) мусоросборник; 2) компрессорная станция; 3) трубопровод; 4) место сбора и утилизации отходов

Схема «сменяемых сборников» представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема «сменяемых сборников»: 1) контейнерная площадка, со сменяемыми контейнерами; 2) специализированный подвижной состав; 3) средства механизации для сбора отходов; места для утилизации (захоронения) собранных отходов

Контейнерная схема (схема «сменяемых» сборников) имеет ряд негативных моментов. Должно иметься в наличии постоянное количество контейнеров для

сбора ТБО. Места расположения контейнерных площадок должны постоянно содержаться в надлежащем виде, согласно санитарным нормам. Расположения контейнерных площадок должно быть не менее 50 м по отношению к жилому фонду, что не всегда возможно.

Схема «несменяемых сборников» представлена на рис. 3.

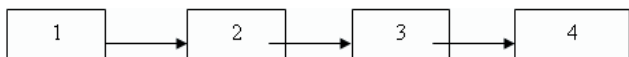


Рис. 3. Схема «несменяемых сборников специализированный подвижной состав»: 1) контейнерная площадка, с постоянно установленными контейнерами; 2) специализированный подвижной состав; 3) механизмы для санитарной очистки контейнеров и контейнерной площадки (уборки территории контейнерной площадки, мойки контейнеров); 4) места для утилизации (захоронения) собранных отходов.

Схема «оставь на краю» или «по звонку» представлена на рис.4.

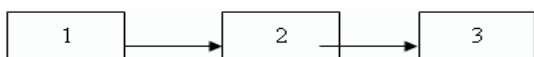


Рис. 4. Схема «оставь на краю» или «по звонку»: 1) специализированный подвижной состав; 2) места фиксированной по времени стоянки специализированного подвижного состава; 3) места для утилизации (захоронения) собранных отходов

Для определения затрат  $C_{тp1}$  удобно пользоваться полуэмпирическими зависимостями типа  $C_{тp1} = F(m_1, r)$  в рублях, где:  $m_1$  - грузоподъемность в тоннах,  $r$  - пробег в оба конца в километрах,  $t$  - время работы транспортного средства на маршруте в часах,  $N_c$  - количество контейнеров для сбора ТБО на маршруте, ед.

Для оценки степени влияния входящих факторов на затраты по сбору и вывозу ТБО составляем регрессионную модель. Регрессионную модель можно представить в виде аппроксимирующего полинома первого порядка

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4, \tag{5}$$

где  $Y$  – функция отклика (затраты);  $a_i$  – коэффициенты регрессии.

По результатам проведенного регрессионного анализа была получена следующая аналитическая зависимость функции отклика от входящих переменных

$$C_{тp1} = 127,42 + 0,246 \cdot t + 10,776 \cdot r + 73,5 \cdot m_t. \tag{6}$$

Поскольку  $G_p = 0,15102 < G_{табл} = 0,1525$ , то наблюдения в эксперименте нужно считать такими, которые воспроизводятся.

Выбираем табличное значение критерия Фишера по  $q_1=38$  и  $q_2=344$ , которое составляет  $F_{табл}=625$ . Поскольку выполняется условие  $F_p = 605,66 < F_{табл} = 625$ , то делаем вывод о том, что полученная регрессионная модель является адекватной, т.е. полученная модель с

доверительной вероятностью 95% описывает изучаемый процесс.

На первом этапе для выбора рациональной схемы вывоза ТБО произведем декомпозицию критерия по следующей зависимости:

$$S = S_{пн} + S_{топ} + S_{см} + S_{рз} + S_{ам} + S_{тр} + S_{кт} + S_{ц} \rightarrow \min, \tag{7}$$

где  $S_{пн}$  - затраты на оплату труда производственно-го персонала, руб./год;

$S_{топ}$  - затраты на приобретение топлива, руб./год;

$S_{см}$  - затраты на смазочные материалы, руб./год;

$S_{рз}$  - затраты на приобретение резины, руб./год;

$S_{ам}$  - затраты на амортизационные отчисления, руб./год;

$S_{тр}$  - затраты на текущий ремонт, руб./год;

$S_{кт}$  - затраты на замену контейнеров, руб./год;

$S_{ц}$  - цеховые и общепарковые затраты, руб./год.

Результаты расчетов для всех рассматриваемых схем проводим аналогично и сводим в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета общегодовых затрат по различным схемам перевозки ТБО

Схема доставки ТБО	Общегодовые затраты руб/год.
1	578007
2	432124
3	388679
4	355517

Для проверки рабочей гипотезы необходимо сравнить результаты, которые были получены в ходе выполнения работы с данными ООО УК «Согласие».

Сравнение будет производиться путем определения разницы затрат между двумя схемами доставки, существующей и предложенной.

$$E = Z_{сущ} - Z_{пред}, \tag{8}$$

где  $Z_{сущ}$  - суммарные затраты функционирования системы доставки ТБО на предприятии, тыс. руб.;

$Z_{пред}$  - суммарные затраты функционирования предложенной системы доставки ТБО, тыс.руб

$$E = 360830 - 355517 = 5313 \text{ руб.}$$

Для уменьшения значения целевой функции при доставке ТБО необходимо:

- уменьшение времени простоя машины в пунктах загрузки ТБО за счет выбора рационального парка подвижного состава, что позволит достигнуть того, чтобы в контейнере количество ТБО не превышало 90%;

- уменьшение расстояния между конечной точкой загрузки ТБО на маршруте и пунктом временного накопления ТБО за счет более рационального размещения этих пунктов и составления маршрутов движения автомобилей-мусоровозов с минимальным расстоянием между точками загрузки;

- при разработке маршрута движения автомобиля-мусоровоза необходимо поддерживать значение коэф-

фициента использования грузоподъемности подвижного состава более 0,90.

## 5. Выводы

Представлены схемы сбора и удаления ТБО, которые могут обеспечивать вывоз мусора по накопительной системе, по системе «сменяемых сборников» или «несменяемых сборников», а так же по системе «оставь на краю» или «по звонку», причем каждая схема может применяться на рассматриваемом предприятии. Для основного критерия - минимум транспортных затрат построена регрессионная модель.

По результатам проведенного регрессионного анализа была получена аналитическая зависимость функции отклика.

С помощью программы Statistica\_5.5 было выявлено, что затраты на транспортировку распределяется по нормальному закону распределения.

Была оценена адекватность регрессионной модели с помощью критерия Фишера (F- критерий), который представляет собой отношение дисперсии адекватности к средней дисперсии всего эксперимента.

Полученная модель с доверительной вероятностью 95% описывает процесс сбора и вывоза ТБО по предложенной схеме.

## Литература

1. Макаров, О. А. Твердые бытовые отходы: проблемы и решения [Текст]/ О. А. Макаров, И. В. Тюменцев, А. С. Горленко – М.: Экология и промышленность России, 2000. – № 9. - С. 41-45.
2. Соломин, И. А. Альтернативные пути организации менеджмента твёрдых бытовых отходов в г. Воронеже [Текст]/ И. А. Соломин. - В.: Ресурсосберегающие технологии: экспресс-информ. / ВИНТИ, 2003. - № 22. - С. 18-24.
3. Соломина, О. И. Методы утилизации и переработки отходов зеленого хозяйства города в компост [Текст]/ О. И. Соломина. – В.: Ресурсосберегающие технологии: экспресс-информ. / ВИНТИ, 2003. - № 22. - С. 13-18.
4. Соломин, И. А. Выбор оптимальных технологий переработки твердых бытовых отходов [Текст]/ О. И. Соломина. - В.: Ресурсосберегающие технологии: экспресс-информ. / ВИНТИ, 2003. - № 15. - С. 3-14.
5. Булгаков, С. Н. Новые технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов - дублирующая сырьевая экономика [Текст]/ С.Н. Булгаков. – М.: Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2007. - № 6(101). - С. 62-64.
6. Джангиров, Д.А. Концепция программы по индустриальной переработке ТБО [Текст]/ Д.А. Джангиров. – В.: Проблемы окружающей среды и природных ресурсов : обзор. информ. / ВИНТИ, 2007. - № 4 - С. 104-111.

## Abstract

*The technique for determination of garbage trucks rational capacity from the available number of vehicles that allows selecting the make of the car with the most appropriate capacity corresponding to the possible volume of traffic is developed. The schemes of solid waste collection and disposal, which can provide garbage collection according to the storage system, "removable collections" or "non-removable collections" and according to the "leave on the edge" or "on call" systems are offered, in addition each scheme can be used at the enterprise in question. The objective function for each of the four proposed schemes of solid waste disposal arrangement (SW), which takes into account the cost: for a single waste disposal, waste delivery, development of environmental documents, resettlement of the location for a particular type of waste is determined. To assess the degree of influence of external factors on the cost of collection and transportation of solid waste there was composed a regression model. The adequacy of the regression model was assessed using the Fisher's criterion (F-criterion), which is the ratio of variance adequacy to the average variance of the whole experiment. The obtained model with 95% confidence describes the process of collection and disposal of solid waste according to the proposed scheme*

**Keywords:** *solid waste, containers, garbage truck, scheme, technology, regression, cost*