

ПОДХОД ЗА РЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА ЗА МАРШРУТИЗАЦИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРАНЕТО НА БИТОВИ ОТПАДЪЦИ

Теодор Беров, Теодор Кирчев
tberov@vtu.bg, tkirchev@vtu.bg

*ВТУ "Тодор Каблешков",
ул. "Гео Милев" № 158, София,
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** товарен транспорт, градски, събиране на отпадъци, маршрутизация на превозното средство, обратна логистика, оптимизация*

***Резюме:** Настоящият документ се занимава с проблема за събирането и транспортирането на битови отпадъци в градска зона. Съвременният начин на живот в големите градове се характеризира с генерирането на големи количества отпадъци. Събирането и обработката на отпадъците е една от общинските дейности с големи разходи и има много практически трудности (високите експлоатационни разходи - гориво, поддръжка, рециклиране, работна ръка и т.н.). Транспортирането е междинна операция, с която събраните отпадъци се доставят на място за обработката им. Видът и броят на специализираните автомобили за транспортиране на отпадъци зависи от типа на преобладаващия отпадък, вида и броя на съдовете за събиране, периодичността на транспортиране на отпадъците, режима на работа на специализираните автомобили, технологичния процес за събиране и транспортиране на отпадъците, отдалечеността от мястото за обработка, състоянието на транспортната инфраструктура и т.н. Обособен е проблем за Оптимизиране на маршрутизацията на сметовозните превозните средства с времеви прозорци при събирането и транспортирането на битови отпадъци в градска зона. Предложена е математическа формулировка, базирана на проблема за маршрутизацията на превозните средства с времеви прозорци (VRPTW). Предложен е метод за решение чрез мета-евристичен подход.*

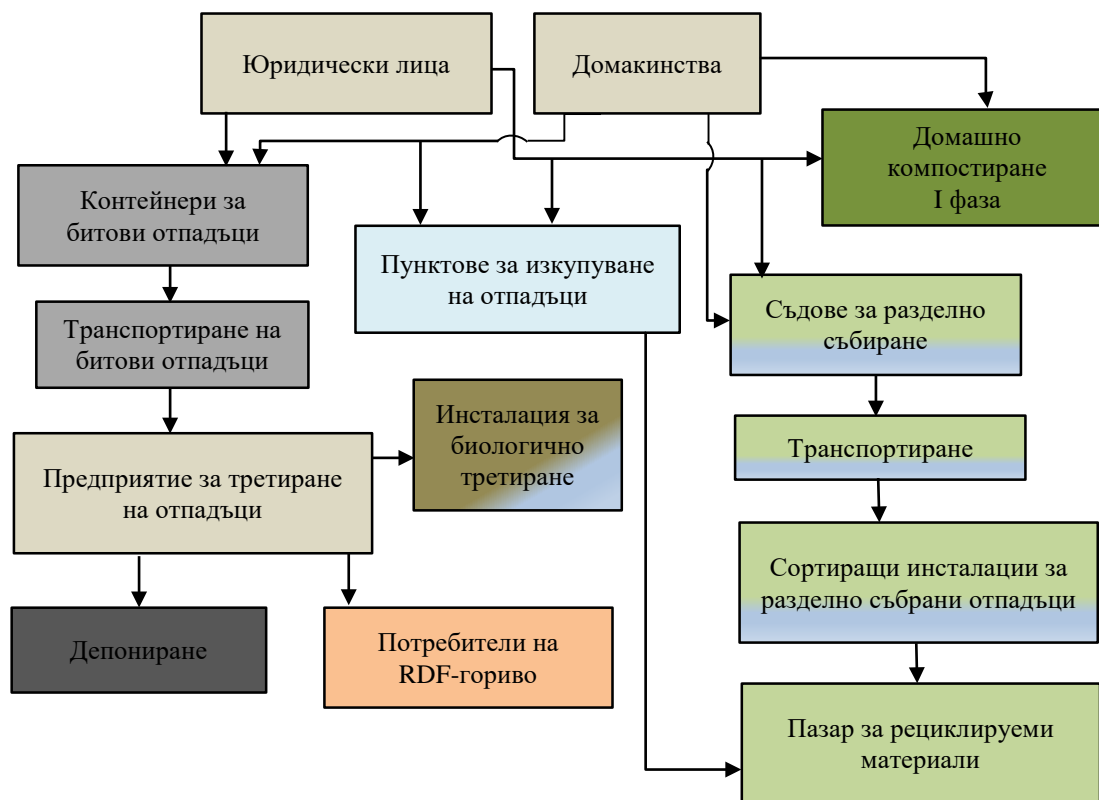
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Третирането на образуваните отпадъци е проблем, който предизвика широк обществен интерес в съвременното общество не само по отношение количеството им, но и за нарастващата сложност на събирането, извозването и обработката им.

Събирането на отпадъци е изключително важна дейност в системата за обратна логистика и повишаването на ефективността на процеса е от съществено икономическо и екологическо значение.

Отпадъкът е вещество, предмет или част от предмет, което няма предварително непосредствено приложение или от което притежателят желае или е длъжен да се освободи [1]. В зависимост от произхода и тяхното въздействие основните видове отпадъци са: битови, производствени, опасни и строителни.

"Битови отпадъци" са отпадъците, които се получават в резултат на жизнената дейност на хората по домовете, в административни, социални и обществени сгради [2]. Към тях се приравняват и отпадъци от търговски обекти и съпътстващи производството занаятчийски дейности, обекти за отдих и забавления, когато нямат характер на опасни отпадъци и в същото време тяхното количество или състав няма да попречи на третирането им съвместно с битовите отпадъци.



Фиг.1 Принципна схема за третиране на битови отпадъци, изходящи от градска среда

Третирането на отпадъци (Фиг.1) представлява събиране, съхранение и обезвреждане на отпадъците и всички междинни операции, както и повторното им използване, рециклиране и възстановяване или производството на материали и енергия от отпадъците, т.е. всяко действие, което се извършва с отпадъка [3].

Транспортирането е междинна операция, с която събраните отпадъци се доставят на място за обезвреждането им. Определянето на транспортните разходи е от съществено значение за планиране на необходимите средства за управление на отпадъците.

Предмет на предложението е метод за планиране на маршрутите на сметовозните автомобили при събирането и транспортирането на битови отпадъци в градска зона чрез прилагането на проблема с маршрутизацията на превозните средства.

2. СЪБИРАНЕ И ТРАНСПОРТИРАНЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ

За определяне на броя и вида на необходимите съдове и техника за събиране и транспортиране на отпадъците е необходима информация за тяхното генерирано количество към момента както и прогноза за следващите години.

Периодичността на транспортиране на отпадъците зависи от характера на населеното място, гъстотата на застрояване, количеството генерирани отпадъци, от степента на обезпеченост с необходимите съдове и техника и др. Обичайно варира от

ежедневно - за центрoвете на населените места и териториите за обществено ползване, до 1 път седмично. По-голяма периодичност е недопустима, поради вероятността от разлагане на органичните съставки на отпадъците и опасността за здравето на населението и обслужващия съдове персонал.

БРОЙ И ВИД НА НЕОБХОДИМИТЕ СЪДОВЕ ЗА СЪБИРАНЕ НА ОТПАДЪЦИ

Видът и броят на необходимите съдове за събиране на отпадъците е в зависимост от населеното място, броя жители, характера на територията (релеф, климат, транспортна инфраструктура и др.), характер и гъстота на застрояване (разположение на жилищните и обществени сгради, предприятията и търговските обекти), начин на събиране (смесено, разделно) и периодичността на транспортиране. Приоритетно се използват: - *поцинковани съдове с обем 110 л* – тип “Мева” (EN 840-1:1997); - подвижни контейнери тип “Бобър”, които са с различни типоразмери, но обикновено са с обем 500-1100 л. (за по-големи сгради).

Необходимият брой съдове за всяка сграда се определя в зависимост от броя жители (Nж), които могат да бъдат обслужени от един съд при определена периодичност на транспортиране.

При направени изчисления за р-н Искър (Таблица 1), по методика от [4] с входни данни (Генериран отпадък В 53333 м³; K1=1.1 - коефициент, отчитащ съдовете, намиращи се в ремонт, измиване и т.н.; K2=0,8 – коефициент на напълване на съдовете).

Таблица 1

Периодичност на извозване (t - дни)	Обем на съдовете (Vс-м ³)	Видове съдове за БО	Необходим брой съдове (Nс)
1	0.11	Кофа тип "Мева"	1826
3	1.1	Контейнер тип „Бобър“	548

БРОЙ И ВИД НА СПЕЦИАЛИЗИРАНИТЕ АВТОМОБИЛИ ЗА ТРАНСПОРТИРАНЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ

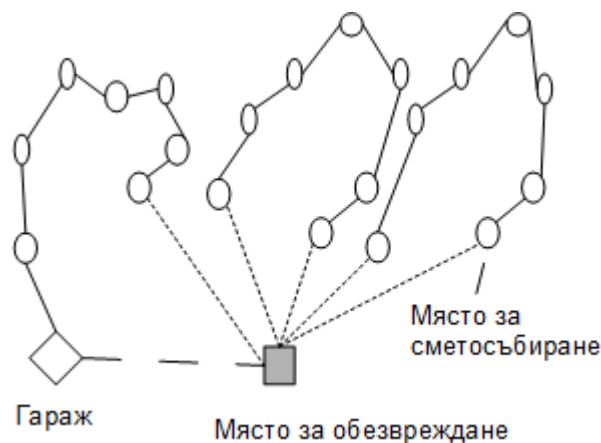
Видът и броят на специализираните автомобили за транспортиране на отпадъци зависи от типа на преобладаващия отпадък, вида и броя на съдовете за събиране, периодичността на транспортиране на отпадъците, режима на работа на специализираните автомобили, технологичния процес за събиране и транспортиране на отпадъците, отдалечеността от мястото за обезвреждане, състоянието на транспортната инфраструктура и т.н.

Специализираните автомобили приемат отпадъците от несменяеми съдове с обем от 0,11 м³ до 1,1 м³. В зависимост от конструкцията им са - автомобили със закрити каросерии и контейнеровози.

Автомобилите със закрити каросерии са с бункер за приемане на отпадъците и специално оборудване за размесване и уплътняване на отпадъците вътре в каросерията. Към специалното оборудване спадат и приспособленията за механизирани товарене на съдовете (вдигане, обръщане и пускане на земята). Разтоварването на сметовозните коли се извършва обикновено чрез повдигане на предния край на каросерията при открита задна стена.

При конструирането на сметовозните коли тенденцията е към увеличаване на полезната товароподемност чрез увеличаване на степента на уплътняване. В каросерийните коли уплътняването е от 1:1,5 до 1:5, в зависимост от отпадъците, при средно уплътнение 1:3.

3. МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ МАРШРУТИЗАЦИЯТА НА СМЕТОВОЗНИТЕ ПРЕВОЗНИТЕ СРЕДСТВА



Фиг.4 Принципна схема на последователност на обхождане на обектите за едно превозно средство и едно място за обезвреждане

Проблема за оптимизиране маршрутите на сметовозните превозни спада към проблема за Маршрутизация на превозните средства с времеви прозорец [5]. При формулировката на проблема се поставят основни цели - *Минимизиране броя на превозните средства; Минимизиране времето за пътуване, Балансирайте натоварването между превозните средства.* Основните ограничения могат да бъдат описани - *Времеви прозорци на пунктовете и депото за отпадъци; Капацитет на превозното средство (обем, тегло); Характеристика на маршрута (максимален брой пунктове /жилищни, търговски/, превозени обем/тегло за превозно средство на дневна база), Ограничение на времето за превоз на превозно средство, пътувания за разтоварвания (когато превозното средство е пълно, то трябва да отиде за разтоварване), Обедна почивка на водача.*

Представяйки градската пътна мрежа във вида на ориентиран свързан граф $G=(V,E)$, съответстващ на *WCVRPTW (Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows)*, където $V=\{1,2,..n_0\}$ – множеството върхове в гафа с мощност d_0 , E – множеството на дъгите, съединяващи върховете. Връх 0 съответства на гараж и върхове i,j съответстващи на: място за сметосъбиране $V^c \in V$, $V^c = \{1, .., n^c\}$, места за обезвреждане $V^b \in V$, $V^b = \{1, .., n^b\}$.

Всеки обект $i \in V^c$ е асоцииран с известно количество товар q_i^b , времеви прозорец $[a_i, b_i]$, време за обслужване t_i^{obc} , w_i – началото на времето за обслужване на обект. Натрупаното количество товар в превозното средство k до връх i е Q_{ik}^{tot} .

Асоцииран е парк от определен брой превозни средства, съставен от m типа превозни средства (обем, товароносимост), $M = \{1,..,m\}$. За всеки тип $m \in M$, m_g превозни средства са налични и имат: товароносимост Q^g ; постоянни разходи F_g . Освен това, за всяка дъга $(i,j) \in E$ и всеки тип превозно средство $g \in M$, имаме променливи разходи c_{ij}^g , зависещи от пробег.

За да се моделира проблема, гаража е асоцииран като начален и краен връх $\{0,0\}$.

Маршрута (R,k) е изпълним, ако сумата от натоварения отпадък на местата за сметосъбиране, посетени по маршрута не надвишава капацитета на превозното средство Q_g по маршрута $(\sum_{i=1}^n q_{k_i} \leq Q_g)$. Разходите за даден маршрут, кореспондират със сумата от разходите по дъгите на маршрута плюс постоянните разходи за превозното средство, асоциирано с маршрута $(F_g + \sum_{i=1}^n c_{ij}^g)$. Едно решение S е колекция от маршрути, $R_1, R_2 ..$

R_i , по такъв начин, че всяко място за сметосъбиране ще бъде покрито от точно един маршрут R_i .

$$(1) \quad C(S) = \sum_{k \in M} F_k + \sum_{i,j \in E} c_{ij} \sum_{k \in M} x_{ijk} \rightarrow \min$$

Ограничителни условия могат да бъдат формулирани както следва:

Всички превозни средства трябва да излязат ($\sum_{j \in E} x_{0'jk} = 1, \forall k \in M$) и пристигнат ($\sum_{i \in E} x_{i0'k} = 1, \forall k \in M$) в гаража; всички клиенти се обслужват само веднъж ($\sum_{k \in M} \sum_{i \in E} x_{ijk} = 1, \forall j \in V^c$); ако превозното средство пристигне в обект, той трябва да напусне обекта ($\sum_{i \in E} x_{ijk} = \sum_{i \in E} x_{jik}, \forall j \in V^c \cup V^b, k \in M$); времевите прозорци ($a_i \leq w_{ik} \leq b_i, \forall i \in V, k \in M$) и времето за обслужване ($w_{ik} + t_i^{\text{обс}} + t_{ij} \leq w_{jk} + (1 - x_{ijk})n^b, \forall i, j \in V, k \in M$); превозното средство е празно в гаража ($\sum_{i \in (0,0')} q_{ik}^{\text{обс}} = 0, \forall k \in M$); натрупване на търсене за всички възли, с изключение на местата за изхвърляне ($Q_{ik}^{\text{tot}} + q_i^{\text{обс}} \leq Q_{jk}^{\text{tot}} + (1 - x_{ijk})n^b, \forall i, j \in V, k \in M$); капацитет на превозното средство ($0 \leq Q_{ik}^{\text{tot}} \leq Q_k^g, \forall i, j \in V, k \in M$); двоични ($x_{ijk} \in \{0,1\}$).

Допълнително ограничение ще осигури, че превозно средство няма да работи повече от позволеното време за работа L , т.е. маршрута е изпълним (t_i – калкулирано време за пристигане в пункт i).

$$(2) \quad t_i + t_i^{\text{прес.}} + t_{i,j}^{\text{дв}} + t_j^{\text{прес.}} + t_{j,0'}^{\text{дв}} \leq L, \forall i \in V^c, j \in V^b$$

Разглеждайки даден работен ден за превозно средство k с маршрут $R_k = \{(i_1, i_2, \dots, i_m, p_{m+1}, i_{m+2}, \dots, p_n)\}$, съдържащ последователност от посещения на местата за сметосъбиране (i) и обезвреждане (p). Общото време за обслужване на транспортиране на отпадъци за превозно средство може да бъде определена като:

$$(3) \quad t^{\text{об.}}(R_k) = t_{0,i_1}^{\text{дв}} + \sum_{j=2}^n t_{i_{j-1},j}^{\text{дв}} + \sum_{j=1}^n t_{i_j}^{\text{прес.}} + t_{i_k,0}^{\text{дв}}$$

Метод за решение

Предложеният и формулиран модел за *Оптимизиране на маршрутизацията на сметовозните превозните средства с времеви прозорци* спада към групата проблеми VRPTW и се отнася за Градска зона. Решението му може да бъде чрез мета-евристичен подход [6] и интегрирана технология за използване на Google Maps (или друга), алгоритми и модели, за получаване база данни (в зависимост от часовия диапазон) за пътищата между зададените обекти.

При решаването на проблема трябва да бъде включена и съответната почивка на водача, според съответните нормативни документи. Това може да стане чрез въвеждане в програмния алгоритъм на допълнително описание за превозно средство и всеки връх, отчиташо общото времепътуване от началото на работния ден.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За съвременният начин на живот, събирането и транспортирането на отпадъци е изключително важна дейност от икономическа и екологична гледна точка в системата за обратна логистика.

Настоящият документ се занимава с проблема за Оптимизиране на маршрутизацията на сметосъбиращите превозните средства с времеви прозорци при събирането и транспортирането на битови отпадъци в градска зона. Предложена е

математическа формулировка, базирана на проблема за маршрутизацията на превозните средства с времеви прозорци. Предложения метод за решение, отчита сложните, променящи се в течение на времето, характеристики на Градската пътна мрежа.

Предложения модел е за ежедневни задачи и разглежда основно проблема за наличие на един гараж и възможност за изграждане на маршрути за повече места за обезвреждане.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Наредба № 2 от 23 ЮЛИ 2014 г. за класификация на отпадъците (изм. и доп. ДВ. бр.32 от 21 Април 2017г., изм. ДВ. бр.46 от 1 Юни 2018г.).
- [2] Национален доклад за състоянието и опазването на околната среда в РБългария, <http://eea.government.bg/bg/soer>
- [3] Закон за управление на отпадъците, <https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/filebase/Waste/Legislation/Zakoni/ZUO.pdf>
- [4] Ръководство за определяне броя и вида на необходимите съдове и техника за събиране и транспортиране на отпадъци на МОСВ, http://ope.moew.government.bg/files/useruploads/files/documentation/Waste/guidance_separate_collection.pdf.
- [5] Surya Sahoo, Seongbae Kim, Byung-In Kim, Routing Optimization for Waste Management, Interfaces, Vol. 35, No. 1, January–February 2005, pp. 24–36
- [6] Беров Т., „Метод за планиране маршрутите на превозните средства при дистрибуцията на стоки в градска зона“, II международна научно техническа конференция "техника. технологии. образование. сигурност", 2014, стр.88-91

AN APPROACH TO SOLVING THE ROUTING PROBLEM OF DOMESTIC WASTE TRANSPORTATION

Teodor Berov, Teodor Kirchev
tberov@vtu.bg, tkirchev@vtu.bg

TODOR KABLESHKOV UNIVERSITY OF TRANSPORT
Bulgaria, Sofia, 158 Geo Milev Str.

Keywords: freight transport, urban, waste collection, vehicle routing, reverse logistics, optimization

Abstract: The present paper addresses the problem of collection and transportation of domestic waste in urban areas. In the big cities, the modern lifestyle is characterized by the generation of huge amount of waste. Waste collection and processing is one of the municipal activities demanding big expenditure and facing practical difficulties (high exploitation costs – fuel, maintenance, recycling, labor etc.) The transportation is an intermediate operation that delivers the collected waste to the processing center. The type and number of the specialized waste transport vehicles depends on the nature of the predominant waste, type and number of collection containers, the periodicity of waste transportation, the work schedule of the specialized vehicles, the technological process of waste collection and transportation, the remoteness to the processing center, the condition of transport infrastructure etc. There is a particular problem in routing optimization of waste transporting vehicles with time windows when collecting and transporting domestic waste in urban areas. A mathematical formula, based on the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) is proposed as well as a solving method through a meta-heuristic approach.