

І. І. Хазівалієва; В. І. Месюра, к. т. н., проф.

УРАХУВАННЯ НЕЧІТКИХ ФАКТОРІВ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТУ ЗБОРУ ВІДХОДІВ У ТЕРИТОРІАЛЬНІЙ ГРОМАДІ

У статті розглядається процес створення модуля інформаційної технології оптимізації процесу збору відходів у територіальних громадах. Він відповідає за визначення доцільності включення сміттєвого контейнеру до маршруту вантажівки, в залежності від ступеня завантаженості контейнеру, та впливу зовнішніх факторів на його доступність, що визначається інтенсивністю руху на шляху до контейнеру та станом дороги, пов'язаним з погодними умовами.

***Мета дослідження** полягає в автоматичному визначенні тих сміттєвих контейнерів, які не потребують термінового забору відходів, що є важливою складовою задачі оптимізації формування оптимальних маршрутів сміттєвозів.*

***Наукова задача** включає: визначення факторів впливу на актуальність забору відходів; обґрунтуванні доцільності використання для цього нечіткої логіки; формування нечітких лінгвістичних змінних та побудову нечіткої бази знань; дослідження ефективності процесу нечіткого логічного виведення щодо визначення актуальності забору контейнерів на основі запропонованих факторів впливу; висновок щодо раціональності запропонованого підходу.*

Описується процес розрахунку актуальності включення сміттєвих контейнерів до маршруту збору відходів із врахуванням ступеня їх наповненості та доступності засобами нечіткої логіки. Здійснено аналіз зовнішніх факторів, що впливають на актуальність забору відходів з конкретного контейнеру. Запропонована нечітка графову модель, яка подає можливі маршрути вантажівок, наведено лінгвістичні змінні, сформовано функції належності їх термів, показано фрагмент бази знань поданих продукційними правилами, графічно проілюстровано процеси фазифікації та дефазицікації з використанням алгоритму нечіткого логічного виведення Мамдані. На конкретному прикладі наведено розрахунок показника актуальності забору відходів. Здійснено тестування на основі даних контейнерних майданчиків м. Рівне. В результаті вилучення з маршрутів неактуальних контейнерів, вдалося скоротити їх довжину в середньому на 10,43 %. Подальше вдосконалення формування маршрутів можливе на основі врахування ступеня важливості збору відходів, наприклад, таких як, лікарні, школи, зони відпочинку та інші громадські об'єкти.

***Ключові слова:** сміття, відходи, контейнер, нечітка логіка, лінгвістична змінна, маршрут, нечітке виведення Мамдані.*

Вступ

Багаторічне накопичення відходів поступово перетворюється на глобальну проблему та все більш небезпечну загрозу навколишньому середовищу та здоров'ю громадян більшості країн світу. Щороку, за офіційними даними, українці продукують 11 млн тон сміття, це десь 300 кг на людину, з яких переробляють лише 3 %. За даними з Мінекології, Мінрегіонбуду і екологів, площа всіх сміттєзвалищ України становить понад 10 тис. га, а об'єм сміття - близько 1,2 км [1].

Проблема утилізації відходів має багато складових, однією з яких є оптимізація маршрутів руху комунальних смітєвозів з метою економії палива та зменшення створюваних ними екологічних забруднень [2]. Зазвичай оптимізація маршрутів смітєвозів зводиться до класичної задачі комівояжера, при чому пунктами об'їзду вважаються всі смітєві контейнери, незалежно від рівня їх наповненості та доступності. У цій статті пропонується враховувати фактори наповненості та доступності контейнерів для визначення актуальності забору смітєвозом відходів, що містяться в них на сьогодні.

Термін «доступність» в цьому випадку означає завантаженість доріг, їх поточний стан та прохідність в різних погодних умовах. Врахування впливу цих факторів ускладнюється неповнотою інформації щодо наповненості та доступності баків, а також стану дороги та її завантаженості в реальному часі, що обумовлює доцільність використання для їх оцінювання інструментарію нечіткої логіки.

Об'єктом роботи є процеси визначення актуальності забору відходів з контейнеру.

Предметом роботи є нечіткі моделі та методи визначення актуальності забору відходів зі смітєвого контейнеру при формуванні поточного маршруту смітєвозу.

Метою є визначення множини смітєвих контейнерів, що будуть включені до наступного маршруту вантажівки.

Аналіз літературних джерел

Актуальність питання організації вивезення сміття підтверджується широким спектром досліджень, що виконуються в цієї області. Д. Росіт та С. Несмачов [3] досліджуючи проблему розташування смітєвих контейнерів пропонують критерії оптимізації та застосування інтегрованих підходів до одночасного визначення адрес розташування контейнерів та побудови маршруту їх об'їзду. П. Літзінгер [4] показує залежність стану дорожнього покриття від погодних умов: температури, швидкості вітру, видимості, наводячи пояснення впливу цих факторів на кількість автомобільних аварій. В. Баланов [5] аналізує фактори, що впливають на рух вантажних потягів згідно розкладу та причини їх затримок за допомогою математичної статистики маршруту потягів. Р. Капустинський [6] використовує алгоритм нечіткого логічного виведення Мамдані для нечіткого управління системою доступу до бази даних підприємства. Н. Карадімас, В. Лоумус та А. Орсоні [7] пропонують модель оцінки збору відходів на основі нечіткої логіки, що враховують такі параметри, як: щільність населення, площа та тип магазинів, інформація про дороги тощо.

Результати дослідження

Подано мапу розташування смітєвих контейнерів територіальної громади як нечіткий граф $\tilde{G} = (X, \tilde{F})$, множина $X = \{x_i\}$; $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ вершин якого подає множину контейнерів, а нечітка множина $\tilde{F} = \{\mu_{\tilde{F}}(x_i, x_j)/(x_i, x_j)\}$, $(x_i, x_j) \in X^2$, ребер графа –фрагменти доріг, які зв'язують контейнери між собою.

На множині вершин X визначимо нечітку підмножину заповнених контейнерів $\tilde{V} = \{\mu_{\tilde{V}}(x)/x\}$, значення функції належності $\mu_{\tilde{V}}(x_i)$ якої визначатиме ступень наповненості контейнера x_i . Значення функції належності $\mu_{\tilde{F}}(x_i, x_j)/(x_i, x_j)$ визначатиме ступень «доступності» фрагмента дороги між контейнерами x_i та x_j .

Визначимо вхідні, X_1 - X_3 , та вихідну Y лінгвістичні змінні:

X_1 = Наповненість контейнера (пустий, напівповний, майже повний, повний);

X_2 = Погода (погана, нестійка, гарна);

X_3 = Завантаженість дороги (ніч, ранній пік, день, вечірній пік, вечір);

Y = Актуальність забору (низька, середня, висока).

Для подання термів лінгвістичних змінних використаємо квазідзвіноподібну функцію належності $\mu_{\tilde{T}}(x)$, яка характеризує ступень належності x нечіткому терму \tilde{T} в діапазоні $[0, 1]$ [8], як наведено на рис. 1.

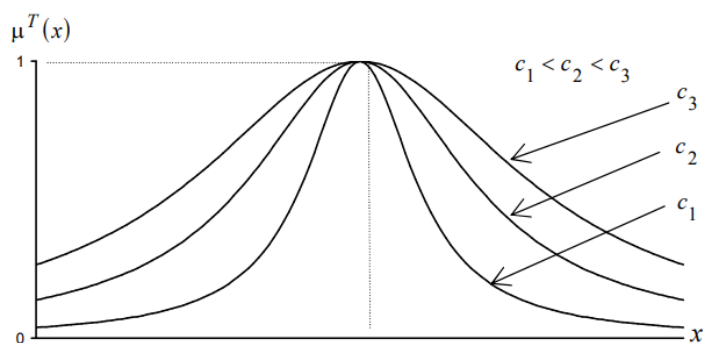


Рис. 1. Графічне подання квазідзвіноподібної функції

Така функція належності описується формулою:

$$\mu_T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}.$$

Визначимо терми лінгвістичних змінних та побудуємо їх функції належності.

Сьогодні багато населених пунктів впроваджують контейнерні майданчики з датчиками наповненості відходів [9]. Проте у більшості випадків поки ще використовуються звичайні контейнери, інформація про наповнення яких розраховується на основі статистичних даних або може бути повідомлена через месенджер чи телефонний дзвінок (наприклад, у святкові або «особливі» дні, коли відбуваються певні масові події).

Параметр x_1 – «Наповненість контейнеру». $T(x_1) = \langle \text{пустий, напівповний, майже повний, повний} \rangle$. Цей фактор визначено на універсальній множині $U(y_1) = [0; 100]$, яка подає вимір відсотку завантаженості контейнера. Терми подаються нечіткими множинами:

Порожній = $\{ \langle 1/0 \rangle; \langle 1/10 \rangle; \langle 0.7/20 \rangle; \langle 0.35/25 \rangle; \langle 0.1/30 \rangle \}$;

Напівпорожній = $\{ \langle 0/0 \rangle; \langle 0.15/10 \rangle; \langle 0.7/20 \rangle; \langle 0.93/25 \rangle; \langle 1/30 \rangle \}$;

Напівповний = $\{ \langle 0/15 \rangle; \langle 0.1/25 \rangle; \langle 0.19/30 \rangle; \langle 0.84/40 \rangle; \langle 1/50 \rangle \}$;

Повний = $\{ \langle 0/60 \rangle; \langle 0.19/65 \rangle; \langle 0.91/70 \rangle; \langle 0.98/75 \rangle; \langle 1/95 \rangle \}$

Графічне подання терм множини $T(x_1)$ наведено на рис. 2.

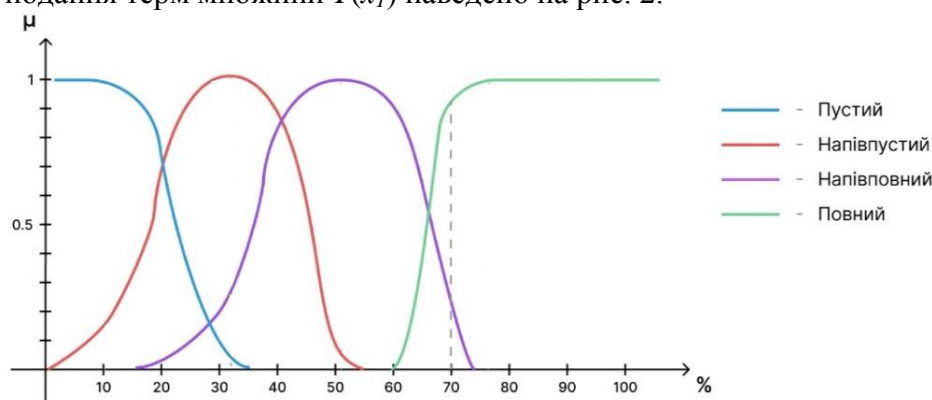


Рис. 2. Графічне подання параметра «Наповненість контейнеру»

Одним з вагомих факторів доступності контейнера є погода, яка змінює видимість, стан і прохідність (ожеледиця, снігові заноси) дороги, що призводить до зміни поведінки водія. Негода веде до зниження швидкості руху, збільшення відстані між транспортними засобами та кількості аварій[4]. Вплив погодних умов на рух автомобілю відображено в Таблиці 1. Водії потрапляють у затори, в той час як транспортні оператори спостерігають зниження пропускної здатності дороги.

Таблиця 1

Вплив погодних умов на водіїв [4]

Погодні умови	Значення	Одиниці виміру	Зниження потужності двигуна (%)	Зниження швидкості (%)
Температура	1 – 10	°С	1	1 – 1,5
	0 – (-20)	°С	1,5	1 – 2
	<-20	°С	6 – 10	0,3 – 6
Швидкість вітру	16 – 32	км/год	1 – 1,5	1
	>32	км/год	1 – 2	1 – 1,5
Видимість	1,6 – 0,82	Км	9	6
	0,8 – 0,4	Км	11	7
	<0,4	Км	10,5	11

Параметр x_2 – «Погода». $T(x_2) = \langle \text{погана, погіршена, гарна} \rangle$. Цей фактор визначено на універсальній множині $U(y_3) = [0; 100]$, яка вимірює умовне відсоткове зниження якості дороги внаслідок зміни погоди. Терми подаються нечіткими множинами:

Гарна = $\{ \langle 1/10 \rangle; \langle 0.96/20 \rangle; \langle 0.92/25 \rangle; \langle 0.3/30 \rangle; \langle 0.18/33 \rangle \}$;

Нестійка = $\{ \langle 0/10 \rangle; \langle 0.12/20 \rangle; \langle 0.47/25 \rangle; \langle 0.9/30 \rangle; \langle 1/40 \rangle \}$

Погана = $\{ \langle 0/40 \rangle; \langle 0.05/50 \rangle; \langle 0.39/55 \rangle; \langle 0.92/60 \rangle; \langle 1/80 \rangle \}$

Графічне подання терм множини $T(x_2)$ наведено на рис. 3.

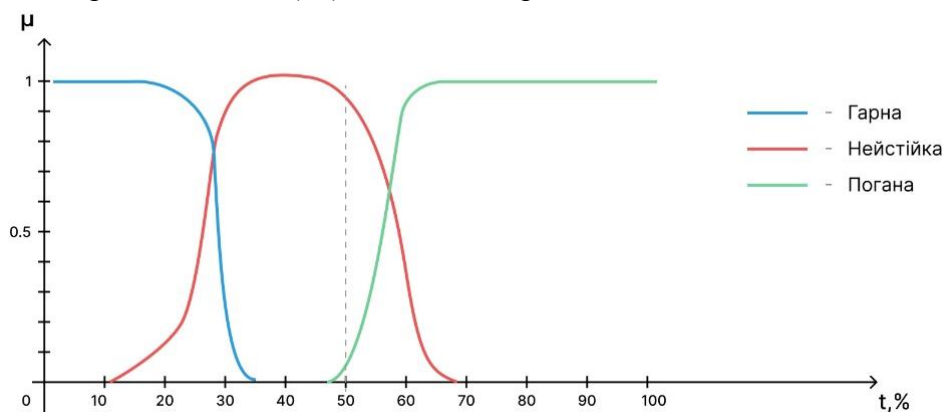


Рис. 3. Графічне представлення параметра «Погодні умови»

Суттєвий вплив на тривалість поїздки сміттєвозу має завантаженість трафіку. Ступінь завантаженості значною мірою залежить від часу доби. Обчислимо його на основі наявних статистичних даних або отримуватимемо з встановлених вздовж дороги камер відеоспостереження за трафіком [10]. Окремо виділимо два пікових періоди: ранковий, рух транспорту в напрямку до роботи/школи, та вечірній, коли усі повертаються додому.

Параметр x_3 – «Завантаженість дороги». $T(x_3) = \langle \text{ніч, ранній пік, день, вечірній пік, вечір} \rangle$. Цей фактор визначено на універсальній множині $U(x_3) = [0; 24]$, яка вказує години доби. Терми подаються нечіткими множинами:

Ніч = $\{ \langle 0/1 \rangle; \langle 1/3 \rangle; \langle 0.6/4 \rangle; \langle 0.96/4 \rangle; \langle 0.27/6 \rangle \}$;

Ранній пік = $\{ \langle 0/1 \rangle; \langle 0.1/3 \rangle; \langle 0.73/6 \rangle; \langle 1/8 \rangle; \langle 0.19/12 \rangle \}$;

День = {<0/5>; <0,18/9>; <0,31/10>; <1/12>; <0.5/15> };

Вечірній пік = {<0/10>; <0,22/13>; <0,58/15>; <1/17>; <0.19/20>}

Вечір = {<0/16>; <0.35/19>; <0/8/20>; <0.93/21>; <1/23>}

Графічне подання терм множини $T(x_3)$ наведено на рис. 4.

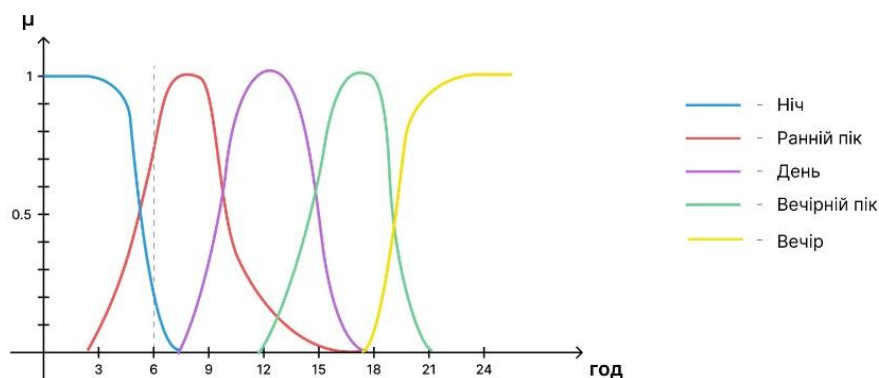


Рис. 4. Графічне представлення параметра завантаженість дороги

Вихідна лінгвістична змінна Y – «Актуальність забору», визначає доцільність включення контейнера до маршруту сміттєвоза: $T(y) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$. Цей фактор визначено на універсальній множині $U(x_3) = [0; 100]$, яка вказує відсотковий вимір актуальності забору сміття. При цьому низька актуальність знаходиться в межах 0 – 40 %, середня – 40 – 70 %, висока – 70 – 100 %.

Для використання алгоритму нечіткого логічного виведення Мамдані [11] сформовано нечітку базу знань, що містить 60 правил побудованих на основі нечіткої продукційної моделі висловлювань «ЯКЩО – ТО», які пов'язують вхідні змінні $x_1 - x_w$ з одним із можливих вихідних рішень (рис. 5):

$$\begin{aligned} & \text{ЯКЩО}(X_1 = a_1^{11}) \text{І} (X_2 = a_2^{11}) \text{І} \dots \text{І} (X_w = a_w^{11}), \\ & \text{АБО}(X_1 = a_1^{12}) \text{І} (X_2 = a_2^{12}) \text{І} \dots \text{І} (X_w = a_w^{12}), \\ & \text{АБО} \dots (X_1 = a_1^{1\delta_1}) \text{І} (X_2 = a_2^{1\delta_1}) \text{І} \dots \text{І} (X_w = a_w^{1\delta_1}), \\ & \text{ТО } Y = d_1 \text{ і т. д.} \end{aligned}$$

де x – вхідна змінна, а z коефіцієнтами – терм відповідної вхідної лінгвістичної змінної, δ_q – кількість правил, що визначають значення вихідної змінної y .

Приклади нечітких продукційних правил бази знань наведено на рис. 5.

Правило 1: ЯКЩО «Наповненість контейнера» = «напівповний» І «Погода» = «погана» І «Завантаженість дороги» = «ранній пік», ТО «Актуальність забору» = «низька».

Правило 2: ЯКЩО «Наповненість контейнера» = «напівпорожній» І «Погода» = гарна» І «Завантаженість дороги» = «ранок», ТО «Актуальність забору» = «середня».

Правило 3: ЯКЩО «Наповненість контейнера» = «повний» І «Погода» = «нестійка» І «Завантаженість дороги» = «вечірній пік», ТО «Актуальність забору» = «середня».

Правило 4: ЯКЩО «Наповненість контейнера» = «повний» І «Погода» = «гарна» І «Завантаженість дороги» = «день», ТО «Актуальність забору» = «висока»

Рис. 5. Приклади нечітких продукційних правил бази знань

У таблиці 2 наведено подання правил матричною базою знань.

Таблиця 2

Приклад фрагменту матричної нечіткої бази знань

№ правила	Наповненість контейнера	Погода	Завантаженість дороги	Актуальність забору
1	Напівповний	Погана	Ранній пік	Низька
2	Напівпорожній	Гарна	Ранок	Середня
3	Повний	Нестійка	Вечірній пік	Середня
4	Повний	Гарна	День	Висока

Розрахуємо з використанням алгоритму нечіткого виведення Мамдані ступеня актуальності включення до маршруту контейнера враховуючи значення вхідних змінних, вказаних в таблиці 3.

Таблиця 3

Набір тестових вхідних даних

Наповненість контейнера	Погода	Завантаженість Дороги
70	50	6

На рис. 2 – 4 вертикальними пунктирними лініями проілюстровано процес фазифікації, а в таблиці 4 наведене відображення її результатів у матричній нечіткій базі знань.

Таблиця 4

Приклад перевірки бази знань

№ правила	Наповненість контейнера ($\mu_{НК}$)	Погода ($\mu_{П}$)	Завантаженість дороги ($\mu_{ЗД}$)
1	0,25	0	0
2	0	0,95	0,15
3	0,9	0,8	0,6
4	0,9	0,95	0,85

Результати застосування правил з обробки результатів фазифікації становлять:

$$\text{Правило 1: } \mu_{НК}^{\text{напівповний}} \& \mu_{П}^{\text{погана}} \& \mu_{ЗД}^{\text{ранній пік}} = 0,2 \& 0 \& 0 = \mu_{ТЗ}^{\text{низька}} = 0$$

$$\text{Правило 2: } \mu_{НК}^{\text{напівпорожній}} \& \mu_{П}^{\text{гарна}} \& \mu_{ЗД}^{\text{ранок}} = 0 \& 0,95 \& 0,15 = \mu_{ТЗ}^{\text{низька}} = 0$$

$$\text{Правило 3: } \mu_{НК}^{\text{повний}} \& \mu_{П}^{\text{нестійка}} \& \mu_{ЗД}^{\text{вечірній пік}} = 0,9 \& 0,8 \& 0,6 = \mu_{ТЗ}^{\text{середня}} = 0,6$$

$$\text{Правило 4: } \mu_{НК}^{\text{пустий}} \& \mu_{П}^{\text{гарна}} \& \mu_{ЗД}^{\text{день}} = 0,9 \& 0,8 \& 0,6 = \mu_{ТЗ}^{\text{висока}} = 0,85$$

Графічне подання дефазифікації методом центру тяжіння наведено на рис. 6.

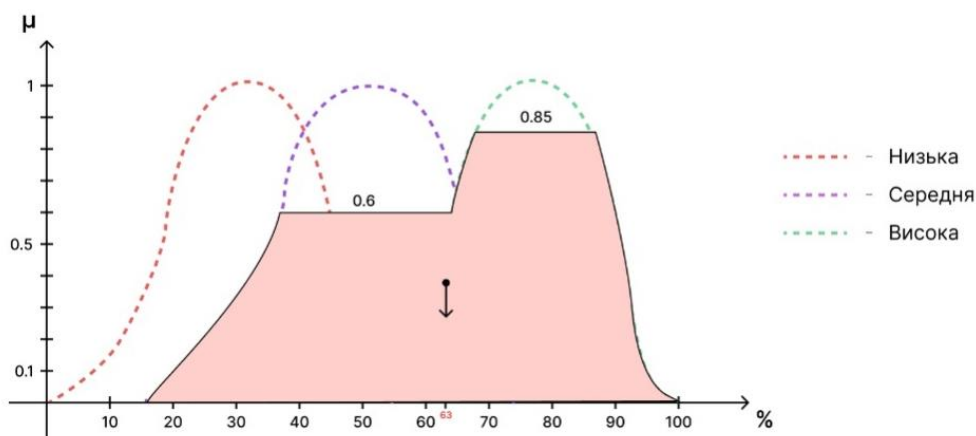


Рис. 6. Дефазифікації методом центру тяжіння
Актуальність забору сміття з контейнеру обчислюється за формулою:

$$EA = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(EA_i) \times EA_i}{\sum_{i=1}^n \mu(EA_i)}$$

В результаті обрахунків отримаємо:

$$\frac{20 * 0.1 + 25 * 0.2 + 30 * 0.33 + 35 * 0.52 + 40 * 0.6 + 45 * 0.6 + 50 * 0.6 + 55 * 0.6 + 60 * 0.6 + 65 * 0.6 + 70 * 0.85 + 75 * 0.85 + 80 * 0.85 + 85 * 0.85 + 90 * 0.6 + 95 * 0.15 + 100 * 0}{0.1 + 0.2 + 0.33 + 0.52 + 0.6 * 7 + 0.85 * 4 + 0.15} = 63.208$$

Отриманий результат $x = 63.208$ свідчить про актуальність включення цього контейнеру до маршруту 9 сміттевоза.

Тестування запропонованого підходу здійснено з використанням даних про розташування сміттєвих контейнерів у м. Рівне [12] та алгоритму формування маршруту сміттевозу на основі генетичного алгоритму [9]. Також використовувалась інформація про погодні умови в період з [4] та завантаженість дороги, яка взята з інтерактивної мапи м. Рівне [13].

Виключення з маршруту сміттєвозів частково заповнених контейнерів з урахуванням ступеня їх доступності, забезпечило можливість зменшення протяжності маршруту до 10.43 %. Результати тестування наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Тестування досліджень на основі даних про контейнери м. Рівне

Маршрут	Кількість контейнерів з джерела	Довжина маршруту	Кількість контейнерів, виключених з маршруту	Довжина маршруту	Відсоток покращення
Маршрут 1	53	40,84	6	37,21	8,88%
Маршрут 4	42	32,57	8	29,17	10,43%
Маршрут 7	68	54,43	7	49,53	9,01%
Маршрут 9	61	48,801	8	45,49	6,78%
Маршрут 11	34	28,657	8	25,91	9,56%

Висновки

1. Проблема поводження зі сміттям ускладнюється через постійне збільшення його кількості та зростання витрат на його вивезення.
2. Ефективність збору відходів можна вирішити оптимізацією маршруту сміттевозів комунальних господарств шляхом урахуванням ступеня наповненості контейнерів, що зменшить завантаження трафіку та марне використання палива автомобілів.
3. Відсутність точної інформації про ступінь наповненості контейнерів обумовлює нечіткість задачі визначення маршруту сміттевозів і доцільність використання для її вирішення нечіткої логіки.
4. Запропоноване рішення оптимізації маршрутів сміттевозів на основі нечіткої логіки дозволяє враховувати ступінь наповненості контейнерів, а також погодні умови та завантаженість трафіку на дорогах.
5. Проведені дослідження запропонованого підходу довели його ефективність, забезпечивши виключення порожніх контейнерів з маршруту та зменшивши його на 10,43 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 500 пірамід Хеопса: скільки сміття є в Україні (2018) [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://www.bbc.com/ukrainian/features-43396650>.
2. Інформаційна технологія управління процесом збору відходів в територіальних громадах на основі нечіткої логіки [Електронний ресурс] / І. І. Хазівалієва, В. І. Месюра // Науково-технічна конференція факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації. – 2022. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14891>.
3. A review of recent advances in the storage stage of the Municipal Solid Waste reverse logistic chain. Waste bins location problem [Електронний ресурс] / D. G. Rossit, S. Nismachnowc // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Volume 342. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130793>.
4. The route change of travel time based routing influenced by weather Sweden (2011) [Електронний ресурс] / P. Litzinger / Режим доступу : <https://www.semanticscholar.org/paper/The-route-change-of-travel-time-based-routing-by-Litzinger/30146d8ae6b20872df6090972a833c6ccf5db975>.
5. Аналіз факторів, які впливають на забезпечення руху вантажних потягів за розкладом [Електронний ресурс] / В. Баланов // Транспортні системи та технології перевезень. – 2015. – № 10 (2015). – Режим доступу : <http://tsst.dit.edu.ua/article/view/57057>.
6. Алгоритми нечіткого управління системою доступу до бази даних підприємства. Algorithms for fuzzy control of the enterprise database accesssystem (2020) [Електронний ресурс] / І. Р. Капустинський // Режим доступу : <http://surl.li/dknbi>.
7. Моделирование утворення твердих побутових відходів на основі нечіткої логіки» (2006) [Електронний ресурс] / Н. Карадімас, А. Орсоні, В. Лоумус // Режим доступу : <https://www.researchgate.net/publication/228783328>.
8. Митюшкин Ю. И. Soft computing: индентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротшейн. – УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2002. – 146 с. – ISBN 966-641-051-6.
9. Інтелектуальна система збору міських відходів [Електронний ресурс] / І. І. Хазівалієва, В. І. Месюра // Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії. – 2021. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/paper/view/11450>.
10. Ситуаційний центр міста Вінниця (2022) [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://cutt.ly/cB2Rpgd>.
11. Штовба С. Д. Навчання нечіткої бази знань за вибіркою нечітких даних / С. Д. Штовба // Штучний інтелект. – 2006. – № 4. – С. 560 – 570.
12. Графік вивезення сміття від багатоквартирних будинків, м. Рівне (2021) [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.katp1728.rv.ua/images/BMarshrut.pdf>.
13. Інтерактивна мапа м. Рівне (2022) Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://infoportal.ua/mapa-rivne-google/>.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2022.

Стаття пройшла рецензування 27.09.2022.

Хазівалієва Ірина Ігорівна – магістр групи 2КН-21м.

Месюра Володимир Іванович – к. т. н., професор кафедри комп'ютерних наук.

Вінницький національний технічний університет.