

EDN: [VFGTEZ](#)

УДК 628.4

А. С. ТРЯКИНА, М. Ю. ГУТАРОВА, Ю. В. ГОСТЕВАФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕМОВ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ МАКЕЕВКЕ

Аннотация. Проблема накопления и утилизации твёрдых коммунальных отходов в настоящее время является одной из самых острых проблем в России и мире. Отходы оказывают негативное влияние на экологическую обстановку и здоровье населения. С целью разработки схемы санитарной очистки города Макеевки выполнен расчет перспективных объёмов накопления ТКО с учетом рекомендаций Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. В результате анализа фактических объёмов ТКО, которые вывозятся на полигон города, выявлено, что фактические объёмы накопления отходов превышают перспективные значения, рассчитанные по методике АКХ им. К. Д. Памфилова. Соответственно, есть необходимость выбора методики, при помощи которой можно будет получить прогнозируемые объёмы накопления ТКО, близкие к фактическим. Для предварительного расчета решено использовать два вида функций, описывающих рост объёмов накопления: линейную и показательную. В результате проведенной работы выявлено, что показательная функция в данном случае будет наиболее точной аппроксимацией, описывающей заданный показатель. Получена зависимость для расчета перспективных значений объёмов накопления ТКО для города Макеевки.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, полигоны ТКО, объём накопления ТКО.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Деятельность человека связана с образованием и накоплением большого количества отходов, правовые основы обращения с которыми регламентируются Законами [1–2]. Ежедневное увеличение объёмов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) связано с повышением уровня жизни населения, увеличением количества упаковочного материала, образованием огромного количества одноразовых товаров и изделий [3]. Отходы оказывают негативное влияние на экологическую обстановку. Происходит загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, что в свою очередь пагубно сказывается на здоровье человека и состоянии окружающей природной среды.

Большая часть отходов вывозится на полигоны ТКО, а также на свалки, которые являются средой обитания многих паразитирующих грызунов и насекомых, являющихся переносчиками инфекционных заболеваний. Полигоны и свалки отходов занимают большие площади и оказывают значительное негативное влияние на земли, отведенные под складирование коммунальных отходов.

Анализ морфологического состава ТКО показывает, что в общей массе отходов содержится большое количество различных материалов, которые при помощи сортировки можно извлечь и применить для повторного использования, утилизации и переработки. Однако в настоящее время в связи с отсутствием отдельного сбора отходов либо сортировки, они бессмысленно вывозятся и складываются на полигонах захоронения.

Очевидно, что проблема твердых коммунальных отходов является актуальной для нашей республики, так как существует острая необходимость создания эффективной системы управления в сфере обращения с отходами. Данная система должна обеспечивать: снижение негативного влияния на экологию города, освобождение земель, отведенных под полигоны, уменьшение количества свалок отходов, эффективную организацию системы сбора и вывоза отходов, обоснование оптимальной технологии переработки твердых коммунальных отходов.



Целью данной работы является определение перспективных объемов накопления твердых коммунальных отходов в городе Макеевке.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

С целью разработки схемы санитарной очистки города Макеевки необходимо знать расчетные объёмы накопления твердых коммунальных отходов на перспективу. Для этих целей предлагается выполнить расчет перспективных объёмов накопления ТКО с учетом рекомендаций Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. Для жилого сектора формула определения норм накопления отходов на перспективу имеет вид [4–6]

$$N_{np} = N_{исх} \cdot (1 + 0,0265t), \quad (1)$$

где N_{np} – прогнозируемая норма накопления отходов, млн м³;
 $N_{исх}$ – применяемая (исходная) норма накопления отходов, млн м³;
 t – период прогнозирования, лет;
 0,0265 – коэффициент, учитывающий ежегодный прирост объемов накопления ТКО, т. е. 2,65 %.

Для ТКО от отдельностоящих объектов общественного назначения, торговых и культурно-бытовых учреждений формула определения норм накопления отходов на перспективу имеет вид [4]

$$M_{np} = M_{исх} \cdot (1 + 0,005t), \quad (2)$$

где M_{np} – прогнозируемая норма накопления отходов, млн м³;
 $M_{исх}$ – применяемая (исходная) норма накопления отходов, млн м³;
 t – период прогнозирования, лет;
 0,005 – коэффициент, учитывающий ежегодный прирост объемов накопления ТКО, т. е. 0,5 %.

Общая норма накопления отходов на перспективу имеет вид:

$$N = N_{np} + M_{np}. \quad (3)$$

В таблице 1 представлены данные, рассчитанные по методике АКХ им. К. Д. Памфилова и фактические данные накопления ТКО за определенный период лет.

Таблица 1 – Данные по образованию твердых коммунальных отходов

| Период, год | Фактический объём накоплений, млн м ³ | N_{np} , млн м ³ | M_{np} , млн м ³ | Норма, рассчитанная по методике АКХ им. К. Д. Памфилова, млн м ³ |
|-------------|--|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 2010 | 0,98 | 817 242,9 | 167 387,1 | 0,98 |
| 2011 | 1,02 | 838 899,8 | 168 224,0 | 1,01 |
| 2012 | 1,06 | 860 556,8 | 169 061,0 | 1,03 |
| 2013 | 1,09 | 882 213,7 | 169 897,9 | 1,05 |
| 2014 | 1,12 | 903 870,6 | 170 734,8 | 1,07 |
| 2015 | 1,15 | 925 527,6 | 171 571,8 | 1,10 |
| 2016 | 1,19 | 947 184,5 | 172 408,7 | 1,12 |
| 2017 | 1,23 | 968 841,5 | 173 245,6 | 1,14 |
| 2018 | 1,25 | 990 498,4 | 174 082,6 | 1,16 |
| 2019 | 1,28 | 1 012 155,3 | 174 919,5 | 1,19 |

Анализ фактических объемов ТКО, которые вывозятся на полигон города, показывает, что фактические нормы накопления отходов превышают перспективные значения, рассчитанные по методике АКХ им. К.Д. Памфилова (рис. 1).

Из представленной выше информации можно сделать вывод, что есть необходимость выбора методики, при помощи которой можно будет получить прогнозируемые объёмы накопления ТКО, близкие фактическим значениям. Для предварительного расчета решено использовать два вида функций, описывающих рост норм накопления: линейную и показательную.

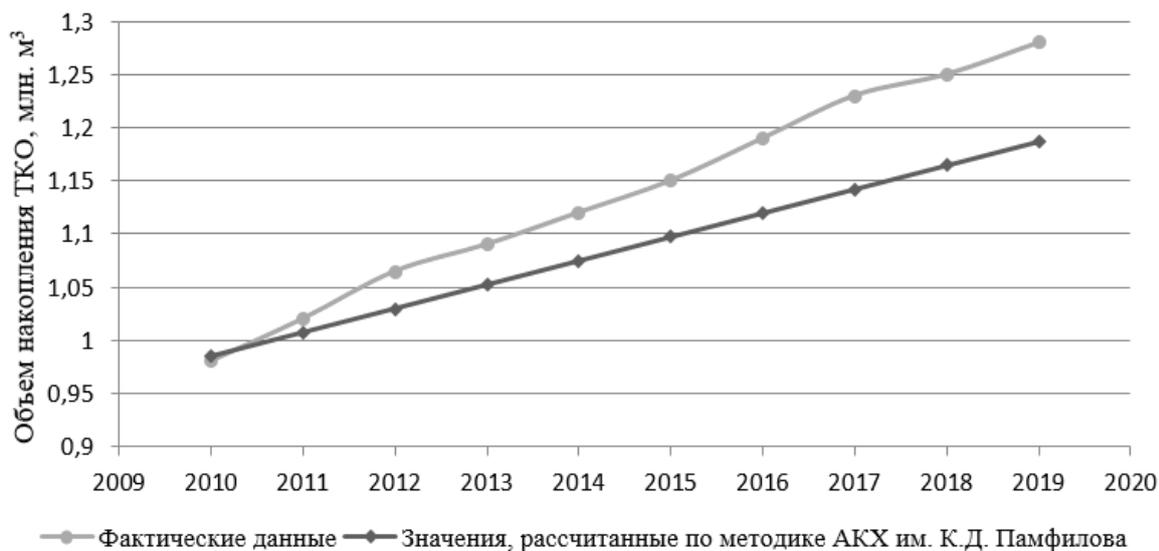


Рисунок 1 – Объемы накопления ТКО за период 2010–2019 гг.

Проведем замену: параметр x_i обозначим как t_i , который будет обозначать порядковый номер измерения отходов. Соответственно $t_i(1)$ соответствует 2010 году, а $t_i(10)$ соответствует 2019 году. Через y_i обозначим объемы ТКО, которые соответствуют i -му измерению, умноженные на 10^{-6} . Коэффициенты для каждой из функций подберем по методу наименьших квадратов. Тогда объемы накопления ТКО можно представить в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Фактические объемы накопления ТКО

| t_i | y_i , (млн m^3) | t_i^2 | $t_i \cdot y_i$, (млн m^3) |
|-------------|----------------------|--------------|--------------------------------|
| 1 | 0,98 | 1 | 0,98 |
| 2 | 1,02 | 4 | 2,04 |
| 3 | 1,06 | 9 | 3,19 |
| 4 | 1,09 | 16 | 4,36 |
| 5 | 1,12 | 25 | 5,6 |
| 6 | 1,15 | 36 | 6,9 |
| 7 | 1,19 | 49 | 8,33 |
| 8 | 1,23 | 64 | 9,84 |
| 9 | 1,25 | 81 | 11,25 |
| 10 | 1,28 | 100 | 12,8 |
| $\Sigma 55$ | $\Sigma 11,37$ | $\Sigma 385$ | $\Sigma 65$ |

1. Линейная функция

$$\bar{y} = a \cdot t + b. \quad (4)$$

Рассмотрим функцию $f_1(a, b)$, которая выражает сумму квадратов разностей значений $\bar{y} = a \cdot t + b$ и y_i :

$$f_1(a, b) = \sum_{i=1}^{10} (a \cdot t_i + b - y_i)^2. \quad (5)$$

Для получения системы линейных уравнений необходимо приравнять частные производные к нулю. Получаем систему уравнений

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i = \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot y_i, \\ a \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i + b \cdot 10 = \sum_{i=1}^{10} y_i. \end{cases} \quad (6)$$

Находим из решения этой системы параметры a и b . При данных параметрах график линейной функции минимальным образом отклоняется от точек (t_i, y_i) .

Из таблицы 2 подставим значения t_i, y_i в уравнения системы (7) и получим систему линейных уравнений

$$\begin{cases} 385a + 55b = 65,005, \\ 55a + 10b = 11,371. \end{cases} \quad (7)$$

После решения системы получаем значения параметров $a = 0,0299$ и $b = 0,9726$, при которых линейная функция приобретает вид

$$\bar{y} = 0,0299t + 0,9726. \quad (8)$$

Вычисляем сумму квадратов разностей, чтобы сравнить значения линейной функции с фактическими данными образования ТКО.

Вычислим сумму квадратов разностей по формуле

$$\delta = \sum_{i=1}^{10} (y_i - \bar{y}_i)^2. \quad (9)$$

Таблица 3 – Значения линейной функции

| t_i | \bar{y} , (млн м ³) | $y_i - \bar{y}$ | $(y_i - \bar{y})^2$, (млн м ³) |
|-------|-----------------------------------|-----------------|---|
| 1 | 1,0025 | -0,02 | 0,0005 |
| 2 | 1,0324 | -0,01 | 0,0002 |
| 3 | 1,0623 | 0,00 | 5E-06 |
| 4 | 1,0922 | 0,00 | 5E-06 |
| 5 | 1,1221 | 0,00 | 4E-06 |
| 6 | 1,152 | 0,00 | 4E-06 |
| 7 | 1,1819 | 0,01 | 7E-05 |
| 8 | 1,2118 | 0,02 | 0,0003 |
| 9 | 1,2417 | 0,01 | 7E-05 |
| 10 | 1,2716 | 0,01 | 7E-05 |
| | | | $\delta = 0,0012$ |

Итоги расчетов сводим в таблицу 3.

На рисунке 2 изображен график линейной зависимости и фактических значений накопления ТКО.

При преобразовании полученной линейной функции к виду зависимости, которая представлена АКХ им. К. Д. Памфилова (1), будет получена следующая зависимость:

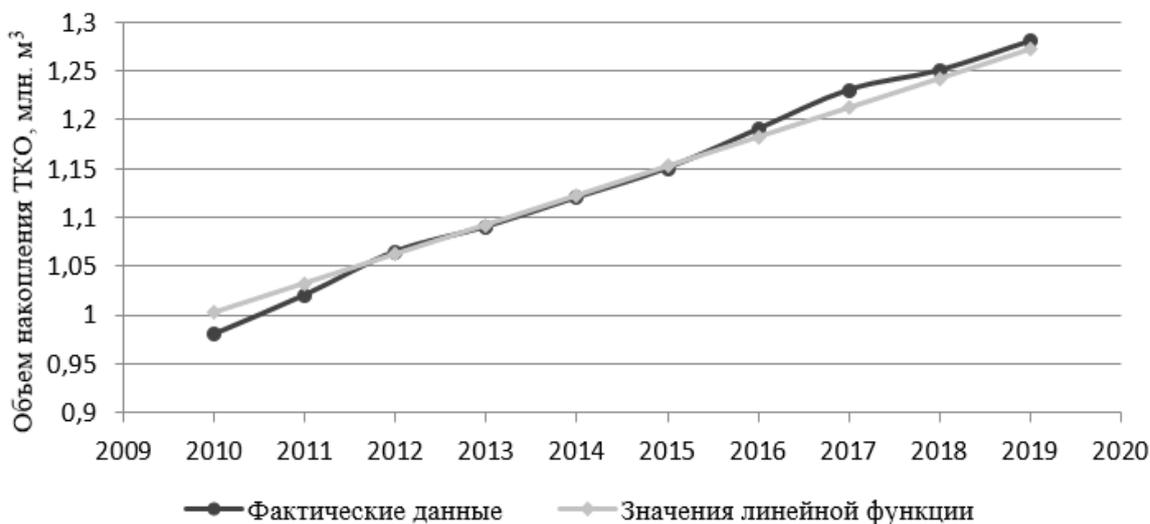


Рисунок 2 – График линейной зависимости относительно фактических данных.

$$\bar{N}_{np} = \bar{N}_{ucx} \cdot (0,0305t + 0,9924). \quad (10)$$

Заменили в формуле (10) параметр t на $(t+1)$, потому что минимальный период прогнозирования не может быть менее одного года. \bar{N}_{ucx} вынесли за скобки.

2. Показательная функция

$$\bar{y} = a \cdot e^{bt}. \quad (11)$$

Чтобы построить показательную функцию, необходимо в первую очередь прологарифмировать равенство (11). Преобразуем: $a_1 = \ln a$. После этого получим

$$\ln \bar{y} = \ln a + bt = a_1 + bt. \quad (12)$$

Рассмотрим функцию $f_2(a_1, b)$, выражающую сумму квадратов разностей значений $\ln \bar{y} = \ln a + bt$ и $\ln y_1$

$$f_2(a_1, b) = \sum_{i=1}^{10} (a_1 + b \cdot t_i - \ln y_i)^2. \quad (13)$$

После того, как приравняли частные производные этой функции по переменным a_1 и b к нулю, получили систему линейных уравнений

$$\begin{cases} 10a_1 + \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot b = \sum_{i=1}^{10} \ln y_i, \\ \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot a_1 + \sum_{i=1}^{10} t_i^2 \cdot b = \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot \ln y_i. \end{cases} \quad (14)$$

Решив эту систему уравнений, мы найдем параметры a и b , при которых функция $\bar{y} = a \cdot e^{bt}$ наименьшим образом отклоняется от точек (t_p, y_1) .

Подставим в систему (15) значения t_p, y_1 из таблицы 2 и получим систему уравнений

$$\begin{cases} 10a_1 + 55b = 1,252, \\ 55a_1 + 385b = 9,308. \end{cases} \quad (15)$$

В таблице 4 показаны прологарифмированные значения $(\ln y_1)$ и $(t_i \cdot \ln y_1)$.

Таблица 4 – Значения $(\ln y_1)$ и $(t_i \cdot \ln y_1)$

| t | $\ln y_i$, (млн м ³) | $t_i \cdot \ln y_i$, (млн м ³) |
|-------------|-----------------------------------|---|
| 1 | -0,0202 | -0,0202 |
| 2 | 0,0198 | 0,0396 |
| 3 | 0,0626 | 0,1879 |
| 4 | 0,0862 | 0,3447 |
| 5 | 0,1133 | 0,5666 |
| 6 | 0,1398 | 0,8386 |
| 7 | 0,1740 | 1,2177 |
| 8 | 0,2070 | 1,6561 |
| 9 | 0,2231 | 2,0083 |
| 10 | 0,2469 | 2,4686 |
| $\Sigma 55$ | $\Sigma 1,252$ | $\Sigma 9,308$ |

Решив данную систему уравнений, получим $a_1 = -0,0363$, $b = 0,0294$, откуда $a = e^{a_1} = 0,9644$.

В таблице 5 представлены значения показательной функции.

Показательная искомая функция имеет вид

$$\bar{y} = 0,9644e^{(0,0294t)}. \quad (16)$$

График показательной функции и фактических значений изображен на рисунке 3.

При преобразовании полученной показательной функции к виду зависимости, которая представлена АКХ им. К. Д. Памфилова (1), будет получена следующая зависимость

$$\bar{N}_{np} = \bar{N}_{ucx} \cdot (0,9841e^{(0,0294t)}). \quad (17)$$

Таблица 5 – Значения показательной функции

| t_i | \bar{y} , (млн м ³) | $y_i - \bar{y}$ | $(y_i - \bar{y})^2$, (млн м ³) |
|-------|-----------------------------------|-----------------|---|
| 1 | 0,9931 | -0,01 | 0,00017 |
| 2 | 1,0227 | 0,00 | 0,00001 |
| 3 | 1,0531 | 0,01 | 0,0001 |
| 4 | 1,0845 | 0,01 | 3E-05 |
| 5 | 1,1168 | 0,00 | 1E-05 |
| 6 | 1,15 | 0,00 | 2E-09 |
| 7 | 1,1843 | 0,01 | 3E-05 |
| 8 | 1,2196 | 0,01 | 0,0001 |
| 9 | 1,2559 | -0,01 | 3E-05 |
| 10 | 1,2933 | -0,01 | 0,0002 |
| | | | $\delta = 0,0007$ |

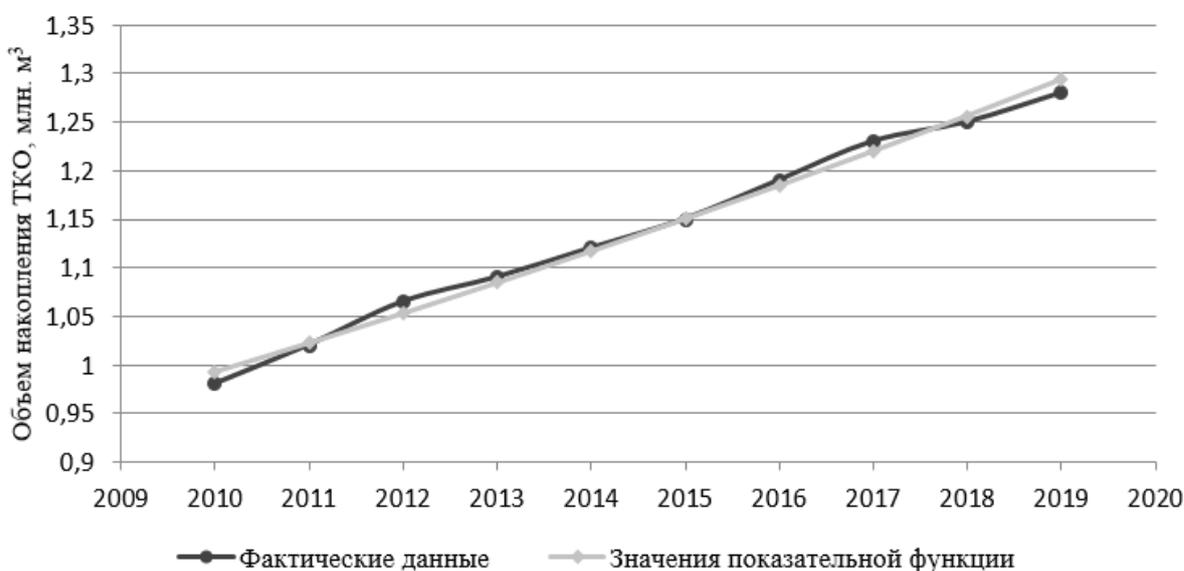


Рисунок 3 – График показательной функции относительно фактических данных.

Сравнивая δ_2 и δ_1 , можно сделать вывод, что показательная функция является наиболее подходящей, так как $\delta_2 < \delta_1$. С помощью этой функции можно сделать прогноз о предполагаемом количестве ТКО на различный период.

ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы, сравнив суммы квадратов разностей для линейной и показательной функций, выявлено, что показательная функция в данном случае будет наиболее точной аппроксимацией, описывающей заданный показатель. Для расчета перспективных значений объемов накопления ТКО для города Макеевки рекомендуется использовать зависимость (17).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон № 89-ФЗ : текст с изменениями и дополнениями на 4 августа 2023 года : [принят Государственной Думой 22 мая 1998 года : одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года]. – Текст : электронный // Официальный интернет-портал правовой информации : [сайт]. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102053807> (дата обращения: 01.09.2023).
2. Донецкая Народная Республика. Законы. Об отходах производства и потребления : закон № 82-ИНС : текст с изменениями и дополнениями на 16 марта 2020 года : [принят Постановлением Народного Совета 9 октября 2015 года]. – Текст : электронный // Народный Совет Донецкой Народной Республики 1 созыв : [сайт]. – 2020. – URL: <https://dnrsovetsu/zakon-ob-othodah-proizvodstva-i-potrebleniya-82/> (дата обращения: 01.09.2023).

3. Baker, K. Global municipal solid waste continues to grow: worldwatch Institute report discusses the rising rates of municipal solid waste generated worldwide / K. Baker. – Текст : электронный // Recycling Product News. – Vancouver : Baum Publications Ltd, 2012. – URL: <https://www.recyclingproductnews.com/article/2395/global-municipal-solid-waste-continues-to-grow> (дата обращения: 01.09.2023).
4. Твердые бытовые отходы (сбор, транспортировка и обезвреживание) : справочник / В. Г. Систер, Л. Н. Мирный, Л. С. Скворцов [и др.] – Москва : АКХ им. К. Д. Памфилова, 2001. – 54 с. – Текст : непосредственный.
5. Санитарная очистка и уборка населенных мест : справочник / А. Н. Мирный, Н. Ф. Абрамов, Д. Н. Беньямовский [и др.] ; под редакцией А. Н. Мирного. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1990. – 412 с. – Текст : непосредственный.
6. Геоэкологические факторы и нормы накопления твердых бытовых отходов / М. В. Манохин, В. Я. Манохин, С. А. Сазонова [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2015. – № 4 (34). – С. 370–376.

Получена 04.09.2023

Принята 27.10.2023

А. С. ТРЯКИНА, М. Ю. ГУТАРОВА, Ю. В. ГОСТЕВА
ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ОБ'ЄМІВ НАКОПИЧЕННЯ ТВЕРДИХ
КОМУНАЛЬНИХ ВІДХОДІВ У МІСТІ МАКІЇВЦІ
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

Анотація. Проблема накопичення та утилізації твердих комунальних відходів в даний час є однією з найгостріших проблем у Росії та світі. Відходи негативно впливають на екологічну обстановку та здоров'я населення. З метою розроблення схеми санітарного очищення міста Макіївки виконано розрахунок перспективних об'ємів накопичення ТКО з урахуванням рекомендацій Академії комунального господарства ім. К. Д. Памфілова. В результаті аналізу фактичних об'ємів ТКО, що вивозяться на полігон міста, виявлено, що фактичні об'єми накопичення відходів перевищують перспективні значення, розраховані за методикою АКХ ім. К. Д. Памфілова. Відповідно, є необхідність вибору методики, за допомогою якої можна буде отримати прогнозовані об'єми накопичення ТКО, близькі до фактичних. Для попереднього розрахунку вирішено використовувати два види функцій, що описують зростання об'ємів накопичення: лінійну та показову. В результаті проведеної роботи виявлено, що показова функція в даному випадку буде найточнішою апроксимацією, що описує заданий показник. Отримано залежність до розрахунку перспективних значень об'ємів накопичення ТКО для міста Макіївки.

Ключові слова: тверді комунальні відходи, полігони ТКО, об'єм накопичення ТКО.

ALYONA TRYAKINA, MARINA GUTAROVA, YULIYA GOSTEVA
DETERMINATION OF PROSPECTIVE VOLUME OF ACCUMULATION OF
SOLID MUNICIPAL WASTE IN THE CITY OF MAKEYEVKA
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian
Federation, Makeevka

Abstract. The problem of accumulation and disposal of municipal solid waste is currently one of the most pressing problems in Russia and the world. Waste has a negative impact on the environmental situation and public health. In order to develop a sanitary cleaning scheme for the city of Makeyevka, a calculation of the future volumes of MSW accumulation was carried out, taking into account the recommendations of the Academy of Public Utilities named after K. D. Pamfilova. As a result of the analysis of the actual volumes of MSW that are transported to the city landfill, it was revealed that the actual volumes of waste accumulation exceed the prospective values calculated using the method of the APU K. D. Pamfilova. Accordingly, there is a need to select a methodology with which it will be possible to obtain predicted volumes of MSW accumulation that are close to actual ones. For preliminary calculations, it was decided to use two types of functions that describe the growth of accumulation volumes: linear and exponential. As a result of the work, it was revealed that the exponential function in this case will be the most accurate approximation describing the given indicator. A dependence was obtained for calculating the prospective values of MSW accumulation volumes for the city of Makeyevka.

Keywords: municipal solidwaste, MSW landfills, volume of MSW accumulation.

Трякина Алена Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, очистка природных вод, обращение с отходами.

Гутарова Марина Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: нормирование водопотребления населением городов, водоснабжение, обращение с отходами.

Гостева Юлия Владимировна – магистр; старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, методы повышения надежности насосных станций и сетей водоснабжения, обращение с отходами.

Трякіна Альона Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, очищення природних вод, поводження з відходами.

Гутарова Марина Юрійвна – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: нормування водоспоживання населенням міст, водопостачання, поводження з відходами.

Гостева Юлія Володимирівна – магістр; старший викладач кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, методи підвищення надійності насосних станцій і мереж водопостачання, поводження з відходами.

Tryakina Alyona – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water supply, purification of natural water, waste management.

Gutarova Marina – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: regulation of water consumption by urban population, water supply, waste management.

Gosteva Yuliya – Master; Senior Lecturer, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water supply, methods of increasing reliability of pump station and water supply nets, waste management.