

УДК 504.05

О. М. Соболев, д. т. н., с. н. с., нач. каф.

А. В. Максимов, викладач

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДАХ

У роботі сформульовано постановку задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування теплоелектростанцій на твердих побутових відходах. Обґрунтовано доцільність використання зазначених теплоелектростанцій, розглянуто основні фактори, що впливають на електричну потужність ТЕС на відходах, а також на кількість вказаних ТЕС у відповідному регіоні. Визначено основні вимоги до місць розташування теплоелектростанцій з урахуванням розмірів санітарно-захисної зони. Здійснено декомпозицію задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування ТЕС на відходах на дві складові. Розглянуто підхід до подання вихідної інформації про ТЕС на відходах та про області допустимих розміщень вказаних об'єктів. Визначено напрями подальших наукових досліджень.

Ключові слова: теплоелектростанція, тверді побутові відходи, постановка задачі, оптимальний, область допустимих розміщень.

Постановка проблеми. Проблема поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні відноситься до найгостріших проблем, які, на жаль, практично не вирішуються. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України в нашій країні за 2015 рік утворилось близько 48 млн м³ побутових відходів, або близько 10 млн тонн, які захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га [1]. Обсяги їх переробки, компостування та спалювання не перевищують 8 %. Таким чином, більше 90 % ТПВ щорічно захоронюються на полігонах, велика частина з яких перевантажена та експлуатується з порушеннями базових екологічних та проектних норм [2].

Розвиток сфери поводження із ТПВ у найбільш розвинених країнах Європи дозволяє переробляти, компостувати та спалювати до 95 % утворених відходів. Лідерами за обсягами корисного використання ТПВ є Бельгія, Данія, Нідерланди, Німеччина, Швеція та Швейцарія. Питома вага побутових відходів, що захоронюються, у цих країнах не перевищує 5 % від їх загального обсягу. При цьому показники переробки та компостування перевищують 50 %, а питома вага спалення ТПВ з метою рекуперації енергії, в усіх перелічених країнах, крім Німеччини, складає 99–100 % [2].

Таким чином, одним із перспективних напрямів для України стосовно вирішення проблеми поводження із ТПВ є використання теплоелектростанцій (ТЕС) на відходах, що сприятиме також підвищенню рівня енергонезалежності нашої держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [3] наведено принципові рішення для ТЕС на ТПВ, а також принципи використання плазматронів у сучасних технологіях енергетичної утилізації ТПВ.

Слід відзначити, що ТЕС на відходах функціонують у різних країнах світу. Наприклад, в [4] зазначено про будівництво у м. Краків

найбільшої у Польщі ТЕС на відходах. ТЕС має встановлену електричну потужність 11 МВт та 35 МВт теплової потужності. Протягом року в котлах теплоелектростанції будуть спалювати 220 тонн побутових відходів; при цьому попіл від спалювання відходів буде використано при будівництві доріг. Очікується, що завдяки новій ТЕС обсяг ТПВ на полігонах біля Кракова буде скорочено на 90 %. Також як приклад можна навести успіхи у даному напрямі Швеції [5].

Разом з тим, навколо таких об'єктів як теплоелектростанція створюються санітарно-захисні зони, клас яких і розміри визначаються відповідно до [6]. Але до сьогодні питання оптимізації кількості та місць розташування ТЕС на твердих побутових відходах для забезпечення життєдіяльності у населених пунктах відповідного регіону не досліджувались.

Постановка завдання та його вирішення. У нашій роботі на підставі аналізу принципів рішень для ТЕС на ТПВ, а також на підставі вимог до розміщення теплоелектростанцій необхідно здійснити постановку задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування теплоелектростанцій на твердих побутових відходах для забезпечення життєдіяльності у населених пунктах відповідного регіону.

Світовий досвід показує, що у великих містах найбільш доступним і економічно доцільним альтернативним джерелом отримання енергії є теплові електростанції, на яких спалюють тверді побутові відходи. В результаті утилізації відходів тільки в Європі вже зараз щорічно відпускається в міську мережу понад 28 млрд кВт-год електроенергії і приблизно 70 млрд кВт-год теплової енергії. У США загальна встановлена електрична потужність ТЕС на ТПВ становить 2700 МВт [3]. Слід зазначити, що, крім енергозабезпечення, шляхом термічної переробки відходів вирішується важлива соціальна проблема – очищення великих міст від ТПВ, а також здійснюється запобігання викидам парникових газів.

Слід зазначити, що енергію, яка виділяється у процесі термічної переробки ТПВ, на всіх сучасних підприємствах обов'язково утилізують у вигляді пари для відпуску споживачеві або для подальшого вироблення електроенергії. Європейським законодавством запропоновано формулу оцінки енергоефективності (E) таких підприємств [3]

$$E = \frac{[E_p - (E_f + E_o)]}{0,97 \cdot (E_w + E_o)}, \quad (1)$$

де E_p – енергія, що відпускається споживачу у вигляді тепла або електроенергії, ГДж/рік. Ця величина має бути помножена на коефіцієнт 1,1 для тепла та на 2,6 для електроенергії; E_f – теплота додаткового палива, що витрачається для виробництва енергії, ГДж/рік; E_w – енергія, що міститься у відходах, яка розраховується з урахуванням їх теплоти згоряння, ГДж/рік; E_o – енергія від зовнішнього постачальника, ГДж/рік, виключаючи E_f та E_w ; 0,97 – коефіцієнт, що враховує теплові втрати.

На сучасних з економічної та екологічної точок зору підприємствах для термічної переробки ТПВ енергетична ефективність процесу повинна становити 0,60–0,65.

Відповідно до [3] основними факторами, що впливають на електричну потужність ТЕС на твердих побутових відходах, є прогнозований обсяг відходів, що поступають на переробку, та їх властивості. Слід відзначити, що електрична потужність звичайних ТЕС залежить від потреби відповідного регіону в електроенергії.

Що стосується кількості ТПВ, яка може бути перероблена на теплоелектростанції, то вона залежить від цілої низки факторів, до яких відносяться:

- кількість населення у відповідному регіоні;
- питомий об'єм накопичення ТПВ у конкретному регіоні;
- регіональна політика поводження з твердими побутовими відходами;
- сучасні світові тенденції стосовно управління ТПВ.

Слід відзначити, що практично всі теплоелектростанції на ТПВ належать провідним енергетичним компаніям, при цьому будівництво нових ТЕС ведеться, як правило, за рахунок зазначених енергетичних компаній або зі значною долею капітальних вкладень з їх боку.

На сьогодні у Франції знаходяться в експлуатації 12 ТЕС на ТПВ, у Німеччині – 30, а в США – 45, причому на 15 підприємствах електрична потужність перевищує 60 МВт.

Вибір майданчика нової електростанції є початковим і одним з найбільш відповідальних етапів проектування, оскільки прийняте рішення у значній мірі визначає терміни і вартість

будівництва, можливість ефективної експлуатації об'єкта. Оптимальне вирішення цього завдання можливе лише в результаті ретельного аналізу питань економічного, соціального, фізико-географічного, технічного характеру, а також перспектив розвитку енергетики і пов'язаних з нею галузей. Тільки врахування всіх факторів, які прямо або побічно впливають на розміщення енергетичного об'єкта, дозволяє правильно вибрати майданчик для його будівництва.

Варіант розміщення електростанції обирається після проведених порівняльних розрахунків вартості перевезення ТПВ та передачі електроенергії в район споживання.

Майданчики для розміщення ТЕС необхідно вибирати з урахуванням таких вимог [7]:

- електростанції повинні бути максимально наближені до джерел палива і водопостачання, споживача енергії та під'їзних шляхів;
- рівень ґрунтових вод має бути нижче глибини підвалів; останні не повинні затоплюватися паводковими водами;
- не можна розташовувати станції над заляганням корисних копалин, а також на зсувних ділянках;
- ухил площадки розміщення не повинен перевищувати $-0,5^\circ - 1^\circ$;
- електростанції повинні розміщатися поблизу населеного пункту з урахуванням санітарно-захисної зони.

Виробництво електроенергії на ТЕС супроводжується виділенням великої кількості тепла, тому такі станції намагаються будувати недалеко від великих міст і промислових центрів для використання цього тепла.

Що стосується санітарно-захисної зони, то відповідно до Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів [6] теплоелектростанції відносяться до 3-го класу; при цьому радіус санітарно-захисної зони має становити 300 м. Але оскільки розглядаються теплоелектростанції на твердих побутових відходах, то пропонується віднести її до 2-го класу з радіусом санітарно-захисної зони 500 м, тобто як для сміттєспалювальних заводів.

Таким чином виникає наступна задача. Розглянемо відповідний регіон із заданою кількістю населення. Відповідно до [8] питомі показники утворення відходів складають 250–300 кг/рік на одну людину, а у великих містах – 330–380 кг/рік на одну людину. Ця статистична інформація дозволяє визначити приблизну кількість відходів, що утворюються кожного року в регіоні.

Так, наприклад, чисельність населення міста Харкова, за даними [9] на 1 грудня 2016 року, – 1439733 особи, а Харківської області (без урахування м. Харкова) – 1263734 особи. Якщо прийняти питомий показник утворення відходів для м. Харкова 330 кг/рік на одну людину, то можна зробити висновок, що протягом року на території міста утворюється більше 475 тис. тонн відходів. Для області вказаний показник (за умови значення питомого показника 250 кг/рік)

дорівнює майже 316 тис. тонн відходів. Таким чином, враховуючи [3], для переробки відходів, які утворюються на території міста Харкова та області, буде достатньо 2 ТЕС на ТПВ з електричною потужністю, відповідно, 24 та 36 МВт, або однієї ТЕС із потужністю 60 МВт (аналогічних підприємствам у США). Слід відзначити, що можна також одержати закони розподілу випадкової величини річного об'єму утворення відходів у відповідних регіонах з подальшим визначенням кількості та електричної потужності ТЕС на ТПВ.

Отже, необхідно визначити мінімальну кількість та місця розташування ТЕС на ТПВ з урахуванням таких обмежень:

- електрична потужність теплоелектростанції не має перевищувати заданої;
- мінімізація вартості перевезення ТПВ та передачі електроенергії до споживачів;
- розміщення майданчика теплоелектростанції має відповідати вищенаведеним геологічним вимогам з урахуванням розмірів санітарно-захисної зони;
- наявність залізничного та автомобільного зв'язку;
- можливість розміщення ТЕС на землях сільськогосподарського призначення (за відсутності таких земель – на сільськогосподарських угіддях низької якості);
- задача має розглядатися у межах виділених ресурсів;
- енергоефективність теплоелектростанції має бути не нижчою за задане значення.

Тоді постановку задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування ТЕС на твердих побутових відходах сформулюємо так

$$\min_W N \left(P, \sum_{i=1}^N Q_i \right), \quad (2)$$

де W :

$$P(V) \leq P^*, \quad (3)$$

$$Q_i(R, L) \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$S_i \in A_j(T, B, U, \alpha, H, O, K), \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_i(Q_t, Q_b, \dots) \leq Q^*, \quad (6)$$

$$E(S_i) \geq 0,6, \quad (7)$$

$$i = 1, \dots, N; j \in \{1, \dots, Z\}.$$

Тут N – кількість теплоелектростанцій на ТПВ; W – область припустимих розв'язків; $P(V)$ – електрична потужність ТЕС, яка залежить від щорічного обсягу утворених відходів V ; P^* – припустима електрична потужність ТЕС на ТПВ; $Q_i(R, L)$ – вартість перевезення твердих побутових відходів мережею R та подачі електроенергії мережею L ; S_i – площадка для розміщення i -тої ТЕС на ТПВ; $i = 1, \dots, N$; $A_j(T, B, U, \alpha, H, O, K)$ – припустима область розміщення ТЕС на ТПВ, яка визначається наявністю транспортних мереж T , рівнем ґрунтових вод B , джерел водопостачання U , кутом ухилу площадки α , якістю ґрунтів H , величиною санітарно-захисної зони O , відсутністю корисних копалин та зсувів K ; $j \in \{1, \dots, Z\}$, Z – кількість припустимих областей розміщення; $Q_i(\cdot)$ – потрібні ресурси на будівництво та функціонування i -ї теплоелектростанції; $Q_b = Q_b(P, A_j)$ – ресурси на будівництво ТЕС на ТПВ; Q^* – ресурси, що виділяються на будівництво та функціонування ТЕС на ТПВ; $E(S_i)$ – енергоефективність i -ї ТЕС на ТПВ, $i = 1, \dots, N$.

Виходячи із постановки (2)–(7), можна зробити висновок, що необхідно здійснити декомпозицію задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування ТЕС на твердих побутових відходах на такі складові:

Задача 1. Визначення різних варіантів стосовно кількості теплоелектростанцій на твердих побутових відходах та припустимих місць їх розміщення з урахуванням обмежень (5).

Задача 2. Визначення оптимальної кількості теплоелектростанцій на ТПВ з урахуванням інших обмежень задачі.

Необхідно відзначити, що задачу 1 може бути зведено до класу задач оптимізаційного геометричного проектування [10], які полягають в оптимізаційному перетворенні геометричної інформації. Прикладами таких задач є задачі оптимального розміщення, покриття, розбиття геометричних об'єктів, а також проведення оптимальних трас.

Що стосується задачі 2, то її може бути зведено до класу задач комбінаторної оптимізації, причому кількість варіантів її розв'язання буде дорівнювати

$$\beta \cdot C_Z^N, \quad (8)$$

де β – варіанти стосовно кількості теплоелектростанцій на твердих побутових відходах.

Таким чином, для розв'язання вказаних задач необхідно побудувати моделі реальних об'єктів S_i , $i = 1, \dots, N$, та A_j , $j = 1, \dots, Z$. Моделі зазначених об'єктів можуть бути представлені за допомогою геометричної інформації про φ -об'єкти [10], які

являють собою непорожню множину $S \subset R^2$, при цьому S – канонічно замкнена або канонічно відкрита множина; внутрішність ($\text{int } S$) і замикання ($\text{cl } S$) множини S мають однаковий гомотопічний тип.

Геометрична інформація про φ -об'єкти задається таким чином

$$G = (\{s\}, \{m\}, \{u\}), \quad (9)$$

де $\{s\}$ – сукупність просторових форм геометричних об'єктів; $\{m\}$ – метричні характеристики; $\{u\}$ – параметри розміщення даних об'єктів.

Оскільки задача визначення оптимальної кількості та місць розташування теплоелектростанцій на твердих побутових відходах розглядається у просторі R^2 , то геометрична інформація про об'єкти розміщення S_i , $i = 1, \dots, N$ може бути представлена так

$$G_i = (\{s_i\}, \{m_i\}, \{u_i\}), \quad (10)$$

де $\{s_i\}$ – багатокутник; $\{m_i\} = \{x_{i,v}, y_{i,v}\}$ – координати вершин багатокутника у локальній системі координат; $v = 1, \dots, n_i$, причому n_i – кількість вершин багатокутника, нумерація вершин – проти годинникової стрілки; $\{u_i\} = \{x_i, y_i, \theta_i\}$ – параметри розміщення початку локальної системи координат об'єкта S_i у глобальній системі координат, початок якої пов'язаний із областю розміщення, тобто відповідним регіоном.

Слід відзначити, що серед параметрів

розміщення об'єктів S_i , $i = 1, \dots, N$ є у наявності θ_i – кут повороту локальної системи координат i -го об'єкта. Це свідчить про те, що об'єкти S_i , $i = 1, \dots, N$ є неорієнтованими.

Що стосується припустимих областей розміщення ТЕС на ТПВ, A_j , $j = 1, \dots, Z$, то вони можуть бути представлені таким чином

$$G_{0,j} = (\{s_{0,j}\}, \{m_{0,j}\}, \{u_{0,j}\}), \quad (11)$$

де $\{s_{0,j}\}$ – багатокутник, $\{m_{0,j}\} = \{x_{0,j,l}, y_{0,j,l}\}$ – координати вершин багатокутника у глобальній системі координат, $l = 1, \dots, n_{0,j}$, нумерація вершин – за годинниковою стрілкою, $\{u_{0,j}\} = \{0, 0, 0\}$.

Представлення об'єктів S_i , $i = 1, \dots, N$, та A_j , $j = 1, \dots, Z$ у вигляді (10) та (11) дозволить у подальшому розробити модель визначення оптимальної кількості та місць розміщення ТЕС та ТПВ.

Висновки. У даній роботі сформульовано постановку задачі оптимального розміщення ТЕС на ТПВ. Показано, що ця задача має такі складові: визначення різних варіантів стосовно кількості теплоелектростанцій на твердих побутових відходах та допустимих місць їх розміщення з урахуванням геологічних вимог, визначення оптимальної кількості теплоелектростанцій на ТПВ з урахуванням інших обмежень. Наведено підхід до задання вихідної інформації про ТЕС та області допустимих розміщень. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделі та методу розв'язання поставленої задачі.

Література

1. Конференція «Відходи в енергію», яка проходила 26–27 травня в м. Івано-Франківськ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.minregion.gov.ua/uncategorized/konferentsiyi-vidhodi-v-energiyu-yakaprohodila-26-27-travnya-v-m-ivano-frankivsk>.
2. Тверді побутові відходи – утворення та переробка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.saleprice.com.ua/ua/publications/540.html>.
3. Тугов А. Н. Электростанция на бытовых отходах / А. Н. Тугов // Горение и плазмохимия. – 2013. – Т. 11. – № 4. – С. 304–314.
4. Южнокорейская компания построила в Польше ТЭС на отходах за \$250 млн [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://elektrovesti.net/48601_yuzhnokoreyskaya-kompaniya-postroila-v-polshe-tes-na-otkhodakh-za-250-mln.
5. Обращение с бытовыми отходами в Швеции – перенимаем опыт! [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.biowatt.com.ua/analitikaobrashhenie-s-bytovymi-othodami-v-shvetsii-perenimaem-opyt>.
6. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. № 173 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>.
7. Розміщення продуктивних сил України: навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. / [С. І. Дорогунцов, Ю. І. Пітюренко, Я. Б. Олійник та ін.]. – К. : КНЕУ, 2000. – 364 с.
8. Олениченко Ю. А. Аналіз результативності впливу механізмів державного управління на процес поводження з твердими побутовими відходами на етапі їх формування [Електронний ресурс] / Ю. А. Олениченко, О. М. Соболев, М. М. Долгодуш. – Режим доступу : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/PublicAdministration/vol3/019.pdf>.

9. Чисельність населення (щомісячна інформація) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/chyselnist-naselennia-shchomisiachna-informatsiia>.

10. Стоян Ю. Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. – К. : Наукова думка, 1986. – 268 с.

Стаття надійшла до редакції 09.03.2017

А. Н. Соболев, А. В. Максимов

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА И МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДАХ

В работе сформулирована постановка задачи определения оптимального количества и мест размещения теплоэлектростанций на твердых бытовых отходах. Обоснована целесообразность использования указанных теплоэлектростанций, рассмотрены основные факторы, влияющие на электрическую мощность ТЭС на отходах, а также на количество данных ТЭС в соответствующем регионе. Определены основные требования к местам расположения теплоэлектростанций с учетом размеров санитарно-защитной зоны. Осуществлена декомпозиция задачи определения оптимального количества и мест расположения ТЭС на отходах на две составляющие. Рассмотрен подход к представлению исходной информации о ТЭС на отходах и об области допустимых размещений данных объектов. Определены направления дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, твердые бытовые отходы, постановка задачи, оптимальный, область допустимых размещений.

O. Sobol, A. Maksimov

THE PROBLEM STATEMENT OF DETERMINING THE OPTIMAL NUMBER AND PLACEMENT OF THERMAL POWER PLANTS ON SOLID WASTES

In the paper the problem statement of determining the optimal number and placement of thermal power plants on solid wastes was made. The expediency of use of these thermal power plants was proved. The basic factors affecting the electric power of thermal power plants on wastes and the number of these thermal power plants in the region were considered. The basic requirements for the placement of thermal power plants with the sanitary protection zone were defined. The decomposition of the problem of determining the optimal number and placement of thermal power plants on solid wastes into two components was made. The approach to the presentation of the initial information about the thermal power plants on solid wastes and the areas of possible placement of the objects was given. The directions of further research were defined.

Keywords: thermal power plant, solid wastes, problem statement, optimal, area of possible placement.