

УДК 504.064.47: 536.24

Ткаченко С.Й.

Степанов Д.В.

Юзюк А.О.

Пішеніна Н.В.

Дишлюк С.В.

(Вінницький національний технічний університет)

СИНТЕЗ ПРИРОДО- І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ СИСТЕМ ВИРОБЛЕННЯ ЕНЕРГОНОСІЇВ ІЗ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Вступ та постановка задачі

На даний час, наскільки нам відомо, не розроблено наукових основ, методів щодо проектування та розрахунку комплексування підсистем утилізації твердих і рідких відходів. З літературної та іншої інформації відомі окремі вибіркові відомості [1]. Для забезпечення теплових потреб системи утилізації органічних відходів невеликої потужності використовують зовнішню систему підігріву з водогрійним котлом, що працює на біогазі, електроенергії або твердому паливі [1]. Великі комплекси переробки органічних відходів [1] устатковані потужними когенераційними газопоршневими агрегатами, додатково можуть бути встановлені котли на біогазі та на пелетах.

Авторами [2] розроблений енергетичний комплекс утилізації біомаси. Залежно від умов, кінцевим продуктом переробки можуть бути генераторний газ, метан, рідкий метанол та інші вуглеводні палива, кінцева переробка яких дає можливість накопичувати паливо у вигляді зріджених газів. Даний біоенергетичний комплекс є енергонезалежним і може поставляти енергію в магістральні мережі. Вихід біогазу на 30-40% вище, металомісткість установки менше в 2-2,5 рази в порівнянні з аналогами.

Встановлено [1, 2], що для підігріву біореактора до необхідної температури в період пуску і виходу установки на автономний режим (до 20-ти діб) використовується переважно електроенергія, або природний газ. Для підігріву реактора до мезофільної температури (32°C) за допомогою електроенергії в середньому необхідно 330 Вт на 1 м³ об'єму реактора [1]. Отже, застосування газогенераторів в складі біогазової установки (БГУ), крім комплексної переробки органічних відходів всіх типів, має ряд переваг: забезпечення підігріву та термостабілізації реактора БГУ в період пуску; збільшення виходу товарного біогазу за рахунок комбінованого спалювання біогазу і генераторного газу (синтез-газу); використання продуктів згорання для підготовки води на підігрів, термостабілізацію, опалення, гаряче водопостачання.

Мета роботи

Мета роботи — розробити основи мінімізації екологічних (техногенних) ризиків, підвищення енергетичної ефективності вироблення енергоносіїв із органічних відходів.

Енергозбережна система виробництва енергоносіїв із органічних відходів (ЕСВЕОВ)

Системи переробки органічних відходів можуть бути з виробництвом енергії і без виробництва. В той же час, поряд із отриманням енергоносіїв може вироблятися неенергетична продукція, наприклад, добрива тощо. При прямому спалюванні органічних

відходів відбувається теплове і хімічне забруднення навколишнього середовища [1].

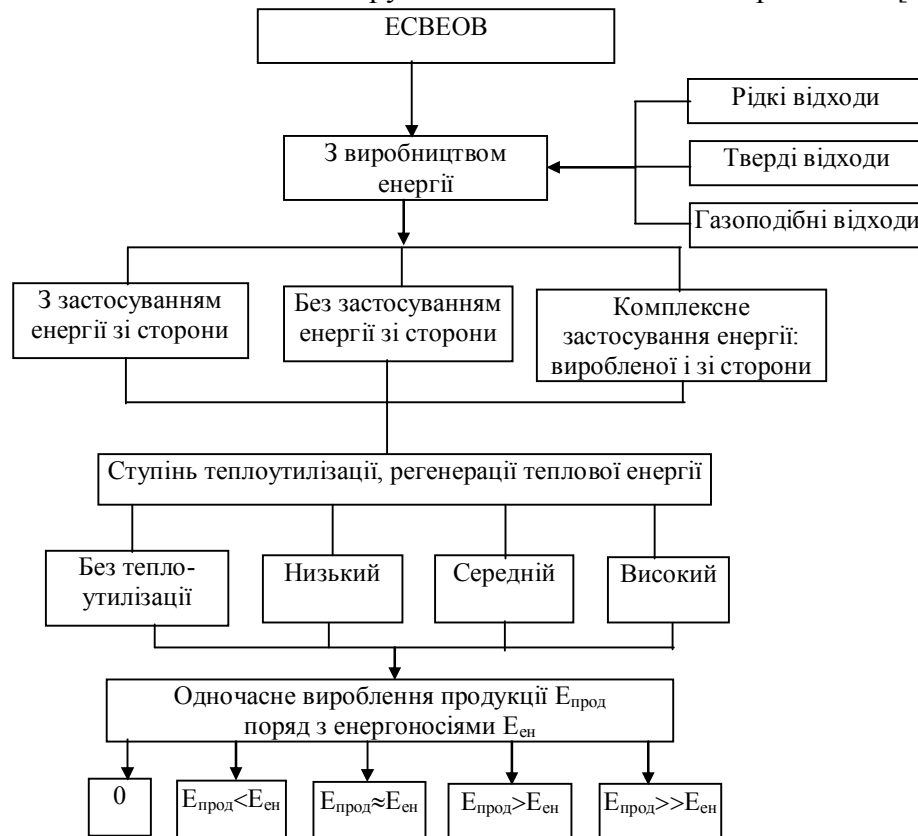


Рис. 1. Класифікація ЕСВЕОВ

На основі аналітичного огляду інформації [1, 2 та ін.] нами виконана класифікація ЕСВЕОВ (рис.1). Також запропоновано структуру та варіант компонування функціональної схеми ЕСВЕОВ. Показано, що ЕСВЕОВ може мати багатоваріантну реалізацію.

Функціональна схема ЕСВЕОВ поділяється на два технологічних ланцюги переробки: рідких та твердих відходів, які з'єднані між собою. Кожний із ланцюгів складається із підсистем. Основні підсистеми ланцюгів ЕСВЕОВ: для рідких відходів — підсистема підготовки субстрату, підсистема ферментації в БГУ, підсистема термостабілізації, підсистема очистки та підготовки біогазу до використання; для твердих відходів — підсистема підготовки, підсистема газифікації в газогенераторі (піролізаторі), підсистема очистки і підготовки паливного газу до використання.

Компонування функціональної схеми виконано так, щоб на початку процесу, в залежності від типу та параметрів відходів (походження, вологість, концентрація, гранулометричний склад тощо), була можливість їх перенаправлення (перерозподілу) до більш доцільного технологічного ланцюга переробки, з метою підвищення ефективності процесу отримання кінцевого продукту. Такий перерозподіл початкової сировини пропонується здійснювати за допомогою двох паралельно підключених підсистем зневоднення та розбавлення (доведення до потрібної вологості) відходів.

Кінцевим продуктом функціональної схеми ЕСВЕОВ є товарний біогаз, синтез-газ, піролізний газ, біопаливо, добрива тощо. Обидва ланцюги поєднані між собою лініями постачання частки отриманих енергоносіїв на власні потреби. В схемі також передбачено забезпечення власних потреб ЕСВЕОВ тепловою енергією за рахунок здійснення теплоутилізації (регенерації теплоти) в підсистемах обох ланцюгів.

Отже, склад елементів і компонування запропонованої функціональної схеми ЕСВЕОВ забезпечує комплексну переробку органічних відходів різного походження шляхом біоконверсії та газифікацією біомаси.

Еколого-енергетична якість системи

Нами розроблений метод визначення ефективності ЕСВЕОВ з врахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу. Метод складається з двох етапів.

На першому етапі оцінюється якість системи, яка проявляється під час експлуатації, для того, щоб перевірити відповідність її показників існуючим нормативам. Показниками, за якими оцінюється якість системи є: шкідливі викиди; габарити та матеріаломісткість; енергоефективність. Екологічні показники та енергоефективність оцінюються відповідно до норм ДСТУ (відповідають чи не відповідають). Масагабаритні показники можна оцінювати порівняно з відомими українськими та закордонними аналогами (поступаються аналогам чи не поступаються) [3]. Так, для водогрійних котлів малої потужності, які працюють на традиційних паливах існують стандарти України [4]. Для теплогенераторів, в яких спалюють нетрадиційні відновлювані джерела енергії, такі нормативи нам невідомі. В даному випадку, на нашу думку, доцільно розробити експертні бази знань "ЯКЩО-ТО" або користуватись закордонними даними, наприклад [5].

Якщо показники якості ЕСВЕОВ, які проявляються в процесі експлуатації відповідають нормативам, то відбувається перехід до другого етапу методу визначення ефективності, інакше – дана система не розробляється.

Другий етап – оцінювання якості системи протягом життєвого циклу (ЖЦ). На цьому етапі визначається техногенне навантаження (ТН) на навколишнє середовище та енергоефективність ЕСВЕОВ від періоду заготівлі матеріалів для створення елементів обладнання системи, до знищення цього обладнання після закінчення експлуатації ЕСВЕОВ. Стадії оцінювання впливу ЖЦ системи за другим етапом запропонованого методу включають:

- встановлення масштабу і діапазону досліджень, тобто опис продукту, процесу чи діяльності, визначення границь досліджуваної системи;
- інвентаризація даних — визначення кількості енергетичних і природних ресурсів використаних системою, та викидів в навколишнє середовище;
- аналіз впливу — оцінювання впливу викидів та скидів в навколишнє середовище;
- інтерпретація — оцінювання результатів аналізу інвентаризації, аналізу і вибору чи надання переваги продукту, процесу чи сервісу з точки зору найменшого його впливу на навколишнє середовище.

Після аналізу результатів і порівняння їх з базовим варіантом робиться висновок про ефективність даного варіанту системи і використання його для проведення детального техніко-економічного аналізу і прийняття рішення.

Для оцінки ефективності системи з врахуванням техногенного навантаження протягом життєвого циклу пропонується використовувати програму Sima Pro [6], яка працює на базі різних методів оцінки життєвого циклу. Початкові дані для цього необхідно сформувати на основі проведеного математичного моделювання об'єкту.

Формування початкових даних для оцінювання техногенного навантаження і енергоефективності протягом життєвого циклу

З метою оцінювання техногенного навантаження протягом життєвого циклу необхідно провести детальні розрахунки спроектованої ЕСВЕОВ, користуючись відповідними математичними моделями і базами даних з досвіду експлуатації і проектування такого обладнання. В результаті цих розрахунків ми будемо мати уявлення про основні показники ЕСВЕОВ: масогабаритні, витрату палива, кількість необхідної електроенергії для створення і обслуговування ЕСВЕОВ та ін. Проміжними даними в системі оцінювання є формування даних по кількості необхідних транспортних перевезень матеріалів, деталей, вузлів ЕСВЕОВ та умов їх виготовлення (технологічна проробка). В умовах сучасного створення ЕСВЕОВ транспортні витрати та рівень технологічної проробки максимально оптимізовані та відрізняються для різних виробників, на нашу думку, незначно. Попередні оцінювання

показали, що складові перевезень та рівня проробки в загальному техногенному навантаженні займають до 5% [7-9].

На рис. 2 показана система формування початкових даних для програми оцінювання техногенного навантаження життєвого циклу ЕСВЕОВ.

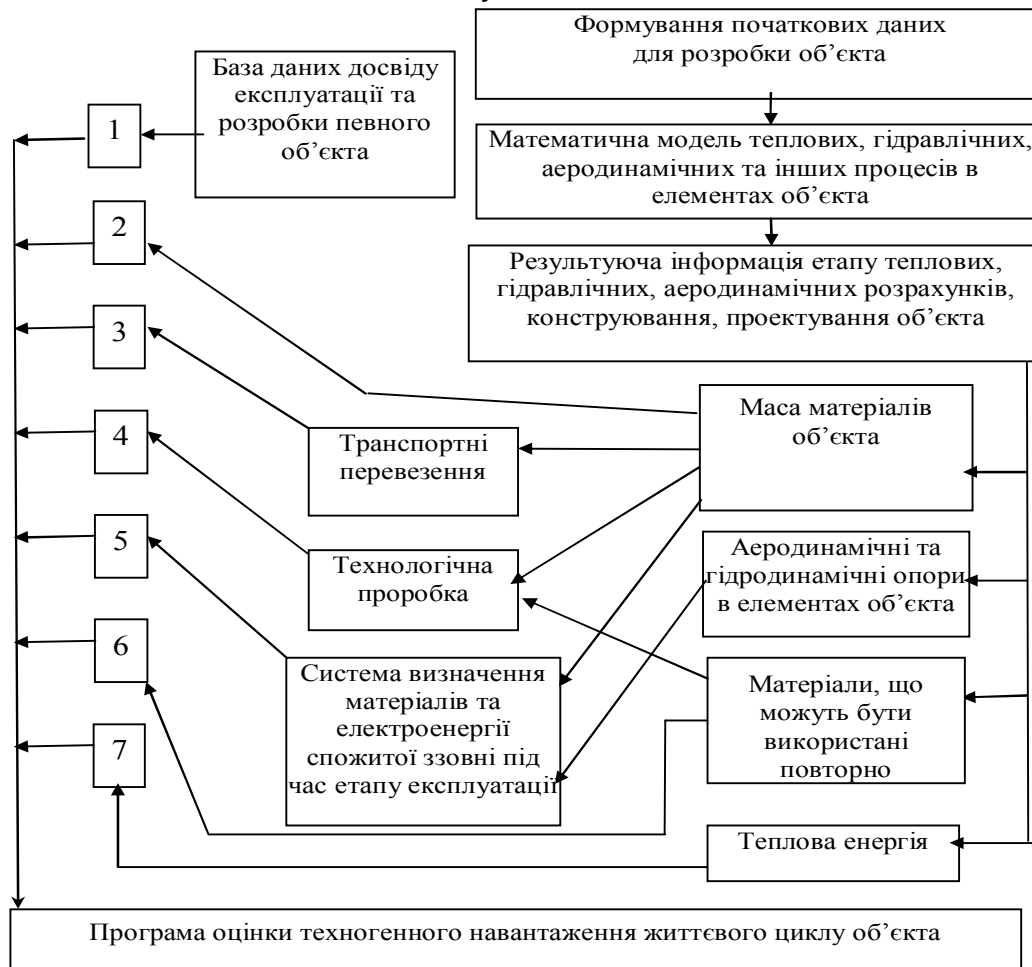


Рис. 2. - Формування початкових даних для програми оцінювання техногенного навантаження життєвого циклу об'єкта

Позначення до рис. 2: 1 – тривалість життєвого циклу ЕСВЕОВ, років; 2 – види матеріалів для виготовлення ЕСВЕОВ і їх маси, кг; 3 – вид транспорту та об'єми необхідних транспортних перевезень матеріалів, деталей, вузлів, елементів ЕСВЕОВ, тонно-кілометри; 4 – витрати теплової та електричної енергії для монтажу системи, МДж; 5 – витрата електроенергії, виробленої ззовні, під час етапу експлуатації котла, кг, МДж; 6 – види та маса матеріалів, що можуть бути повторно використані, кг; 7 – кількість виробленої теплової протягом терміну експлуатації, МДж.

Наведена на рис. 2 схема дозволяє системно представити весь комплекс досліджень, які необхідно провести для підготовки початкових даних і використання їх в програмному продукті Sima Pro для визначення показників техногенного навантаження життєвого циклу ЕСВЕОВ.

Використання спрощеної схеми ЕСВЕОВ для математичного моделювання і формування початкових даних для програми оцінки ТН ЖЦ

Для зменшення розмірності поставленої еколого-енергетичної задачі нами пропонується застосовувати феноменологічний евристико-еволюційний підхід, який заснований на врахуванні специфіки теплотехнологічних схем, режимів і обладнання систем. Цей підхід запропонований раніше для виробки концепції комплексної оптимізації технологічних систем на базі феноменологічного підходу і у викладеному вигляді [10] без

певної адаптації і розробки додаткових елементів непридатний для розробки екологічно ефективної ЕСВЕОВ.

По перше, треба використати розроблені у світі методи оцінки екологічної ефективності об'єктів і систем з врахуванням життєвого циклу. Потрібна база даних про ЕСВЕОВ, підсистеми та елементи ЕСВЕОВ, математичний опис ЕСВЕОВ і елементів ЕСВЕОВ (балансові рівняння, формули по теломасообміну, залежності, що описують термодинамічні процеси, кінетику процесів горіння, пролізу, газогенерації), база даних про теплофізичні властивості речовин, база даних по техногенному навантаженню на навколишнє середовище робочих процесів, що супроводжують об'єкт на протязі життєвого циклу (видобуток копалин, виготовлення матеріалів, створення виробу, експлуатація, утилізація), база економічних даних. Нами рекомендується із принципової схеми вибирати елементи, які треба більш детально розрахувати, щоб сформувати початкові дані програми оцінювання ТН ЖЦ, і елементи, які в початкових даних для програми оцінки ТН ЖЦ достатньо врахувати оціночно. На рис. 3 представлена принципова гістограма, за допомогою якої визначаються елементи, що потребують детального розрахунку для введення в початкові дані програм визначення ТН ЖЦ, і ті, для яких слід зробити оцінювання вкладу в початкові дані.

В результаті орієнтовних розрахунків доцільно виявити K елементів ЕСВЕОВ, які за матеріаломісткістю складають 85...90% від загальної матеріаломісткості. Для цього із вибраного класу до уваги можна прийняти реальну ЕСВЕОВ.

На сьогодні немає узагальненої інформації про ЕСВЕОВ у прийнятому в даній роботі форматі. Тому на початковому етапі розвитку ідеї ЕСВЕОВ з комплексним використанням енергоносіїв як альтернативних, так і традиційних, є сенс вибирати окремо характерну схему БГУ і характерну схему газогенерації, теплогенерації, а потім формувати з них єдину. Для цієї інтегральної схеми, на наш погляд, доцільно будувати гістограму (рис. 3) з використанням наближених розрахунків. В процесі формування гістограми треба звернути увагу на компоновку схеми, і таким чином на вклад матеріаломісткості обв'язки її елементів в матеріаломісткість системи. При цьому, в першу чергу, варто проаналізувати розміщення по вертикалі і горизонталі реального обладнання в реальній характерній схемі, можливі з'єднання елементів, оцінити діаметри трубопроводів в залежності від продуктивності системи за різними видами перероблених органічних відходів.

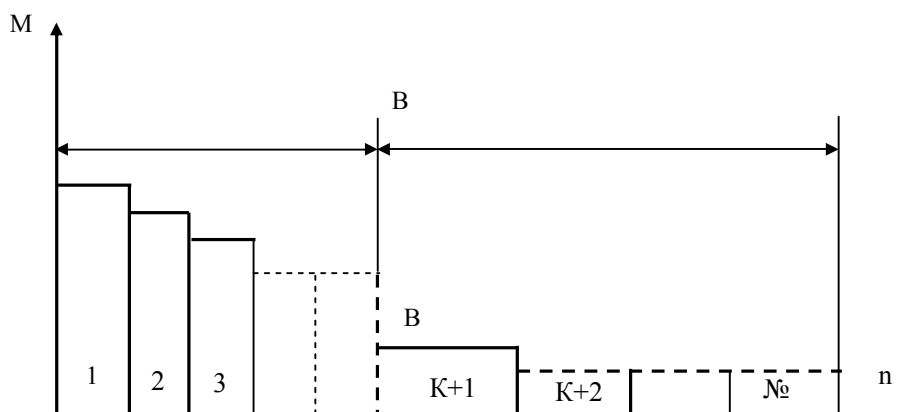


Рис. 3. - Матеріаломісткість елементів ЕСВЕОВ: M – матеріаломісткість елемента; n – номер елемента

Для того, щоб організувати синтез ЕСВЕОВ, потрібна інформація про основні робочі процеси, які відбуваються в ЕСВЕОВ при використанні рідких і твердих органічних відходів. Для конкретизації задачі до уваги приймемо біогазову установку (переробка рідких органічних відходів, розбавлених органічних відходів) і систему “газогенератор-теплогенератор-когенераційна установка”.

Біогазова установка для переробки рідких органічних відходів: на вході – рідкі органічні відходи, на виході – біогаз, добрива та інші продукти.

Робочі процеси:

- біохімічні: анаеробний, аеробний тощо;
- механічні: транспортування, подрібнення, завантаження, вивантаження, перемішування, змішування, гідротранспорт, циркуляція, природна конвекція і вимушена тощо;
- тепломасообмінні: теплопровідність, конвективний теплообмін, променевий теплообмін, теплопередача, контактний тепломасообмін тощо;
- термохімічні процеси: спалювання біогазу.

Газогенератори, теплогенератори. Робочі процеси:

- механічні: транспорт, подрібнення;
- термічні, хімічні, термохімічні процеси: спалювання, піроліз, окислювальний піроліз, газогенерація;
- тепломасообмінні, теплообмінні, аеродинамічні, гідравлічні процеси.

Власні потреби в тепловій енергії ЕСВЕОВ

Для визначення потужностей власних потреб проаналізовані БГУ об'ємом до 5000 м³. Результати розрахунку необхідної потужності теплогенераторів на твердих видах біопалива для забезпечення власних потреб БГУ без теплоутилізації та з теплоутилізацією, без врахування та з врахуванням можливості задовольняти технологічні теплові потреби господарства наведено в табл. 1. При цьому прийнято, що технологічні потреби господарства складають до 30% від потужності БГУ на власні потреби.

Таблиця 1

Необхідна потужність котлів та теплогенераторів на твердих видах біопалива на власні потреби біогазової установки без врахування та з врахуванням можливості задовольняти технологічні потреби господарства

| Об'єм реактора, м ³ | Потужність без врахування технологічних потреб господарства Q, кВт | | | Потужність з врахуванням технологічних потреб господарства Q, кВт | | |
|--------------------------------|---|------------------------------|--------|--|------------------------------|-------|
| | без теплоутилізації | з теплоутилізацією в розмірі | | без теплоутилізації | з теплоутилізацією в розмірі | |
| | | 100% | 50% | | 100% | 50% |
| 50 | 13,5 | 11,3 | 17,5 | 17,5 | 15,0 | 16,0 |
| 100 | 24,1 | 19,7 | 31,0 | 31,0 | 25,5 | 28,0 |
| 200 | 43,6 | 35,0 | 57,0 | 57,0 | 45,0 | 51,0 |
| 1000 | 181,8 | 138,0 | 236,0 | 236,0 | 180,0 | 208,0 |
| 5000 | 803,5 | 585,0 | 1000,0 | 1000,0 | 761,0 | 903,0 |

Із результатів, що подані в табл. 1, зробимо висновок, що теплогенераторне обладнання, яке випускається підприємствами України, Росії, Чехії, Литви можна застосовувати в складі теплотехнологічної схеми БГУ [1].

Техногенне навантаження життєвого циклу підсистем та елементів ЕСВЕОВ

Наведений вище метод оцінки техногенного навантаження протягом життєвого циклу систем використаний для розв'язку двох важливих задач оптимізації систем виробництва енергоносіїв з відходів.

По-перше, ми дослідили питання доцільних меж утилізації теплоти в схемі системи біоконверсії органічних відходів. До розгляду прийнято задачу доцільності утилізації теплоти зброженого субстрату і отриманого в реакторі біогазу.

Проведені числові експерименти показали, що найбільш ефективним варіантом є максимально можлива теплоутилізація в схемі системи, оскільки економія виробленого біогазу, завдяки скороченню витрат на власні теплові потреби установки, має більший

потенціал по зменшенню техногенного навантаження, ніж додаткове навантаження, пов'язане із виготовленням теплоутилізаторів.

По друге, визначено техногенне навантаження протягом життєвого циклу теплогенераторів на різних видах палива [9]. До розгляду були прийняті теплогенератори прямого спалювання на природному газі, кам'яному вугіллі, деревині та газогенераторний теплогенератор на деревині.

В результаті числових досліджень виявлено, що найнижче значення техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу має газогенераторний теплогенератор на деревині.

Висновки

1. В роботі запропоновано функціональну схему ЕСВЕОВ на основі виконаної класифікації відомих систем переробки рідких і твердих відходів, яка дозволяє здійснити комплексування цих систем. В функціональній схемі вперше передбачено можливість перерозподілу початкової сировини (органічних відходів) між ланцюгами переробки відходів для підвищення екологічної та енергетичної ефективності ЕСВЕОВ.

2. Для визначення еколого-енергетичної якості ЕСВЕОВ розроблено метод визначення ефективності ЕСВЕОВ з врахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу. Відповідно до методу, еколого-енергетичну якість системи необхідно оцінювати в два етапи.

3. Оцінювання ТН ЖЦ системи слід здійснювати з використанням програми Sima Pro за методом "Eco-indicator 99". Для цього розроблено схему формування початкових даних, яка дозволяє системно представити весь комплекс необхідних досліджень. З метою раціоналізації процесу формування початкових даних рекомендується виконати спрощення технологічної схеми.

4. Запропоновано принцип спрощення технологічної схеми шляхом побудови гістограми, в основу якого покладено визначення кількості елементів теплотехнологічної схеми, матеріаломісткість яких складає 85...90% від матеріаломісткості всієї системи і які потребують детального розрахунку.

5. Завдяки використанню розробленого методу оцінки ефективності системи виявлено, по-перше, максимальної ефективності можна досягти за умови максимально можливого ступеню утилізації теплоти в схемі, по-друге, серед обраних до розгляду теплогенераторів найкращі показники по техногенному навантаженню протягом життєвого циклу має газогенераторний теплогенератор на деревині.

Література

1. Зменшення техногенного навантаження енергозберігаючих систем утилізації органічних відходів. НДР 82Д-312, 2010. – 150 с.
2. Шалимов Ю.Н. Энергетический комплекс утилизации отходов промышленного и сельскохозяйственного производства/Ю.Н.Шалимов, Е.Л.Савельева // Альтернативная энергетика. – С.75-79 / Режим доступу: www.v-ite.ru/electrotech.
3. Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Боднар Л.А. Тенденції розвитку теплогенерувального обладнання на твердому паливі. – Вінниця: Вісник ВПІ. -№ 3. -2008.-С.46-49.
4. ДСТУ 2326 (ГОСТ 10548 – 93) Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100кВт.
5. Справочник потребителя биотоплива. Под ред. В.Вареса. – Таллин.: Изд. Тал. техн. университета, 2005. – 183 с.
6. Програмне забезпечення SimaPro7. Режим доступу: http://www.pre.nl/simapro/download_simapro.htm.
7. Степанов Д. В. Методи оцінки екологічної ефективності водогрійних котлів малої потужності з врахуванням життєвого циклу / Степанов Д. В., Ткаченко С. Й., Боднар Л. А. // Вісник Хмельницького національного університету. – том . – № 6. – 2008р. – С.80 – 84.
8. Степанов Д. В. Критерії оцінки ефективності жаротрубного пучка з інтенсифікацією теплообміну для котла малої потужності / Степанов Д. В., Боднар Л. А. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 4 Режим доступу до журналу: <http://www.nbuu.gov.ua/e> -



[journals/VNTU/2008 - 4/2008 - 4.files/uk/08dvswlc - uk.pdf](#)

9. Боднар Л. А. Застосування методології оцінки впливу життєвого циклу виробу до котла малої потужності / Боднар Л. А., Степанов Д. В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 1. – С.118-121.
10. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников/Г.Е. Каневец.–К, 1979. – 352с.