

ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 536.24:631.371

НАЗЕМНІ БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ

С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева

Досліджено вплив різних факторів на масогабаритні параметри наземних БГУ. Визначено систему параметрів, що впливають на ефективність процесу анаеробної переробки відходів. Запропоновано схему проведення досліджень методів підвищення енергоефективності БГУ.

Исследовано влияние различных факторов на массогабаритные параметры наземных БГУ. Определена система параметров, влияющих на эффективность процесса анаэробной переработки отходов. Предложена схема проведения исследований методов повышения энергоэффективности БГУ.

The effect of various factors on the mass and size parameters of ground biogas plants. The system of parameters affecting the efficiency of anaerobic digestion of waste. Proposed a scheme of research methods to increase efficiency energeticheskoy biogas plant.

Вступ, постановка задачі

Потреби в енергії по всьому світі постійно зростають. Вископні енергоресурси, такі як вугілля, природний газ чи нафта в недалекому майбутньому будуть висчерпані, а викиди CO₂ вже сьогодні забруднюють навколишнє середовище. Постає проблема забезпечення потреби енергії в майбутньому. Важливий внесок у вирішення цієї проблеми дають відновлювані джерела енергії. До них відносять і біогаз. Біогазові установки (БГУ) виробляють енергію незалежно від погодних умов. Основними елементами, що складають біогазову установку є: реактор, обладнання для завантаження і вивантаження, для нагріву та перемішування сировини, газгольдер [1].

Поширені в світі типи біогазових установок класифікують за способом завантаження сировини; за способом збору біогазу; за матеріалами, які використовуються для спорудження реактора БГУ; за розміщенням основних елементів БГУ – підземна чи наземна конструкція; за конструктивним рішенням реактора БГУ – горизонтальний чи вертикальний; а також за використанням допоміжного обладнання. Класифікацію за розміщенням основних елементів БГУ застосовують до реактора (метантенка). Наземні БГУ можуть бути розташовані під відкритим небом, під навісом або у приміщенні. У перших двох випадках потрібно передбачити надійну теплоізоляцію. Підземні установки характеризуються покращеною теплоізоляцією з боку ґрунту, оскільки його температура на глибині більше одного метра практично не змінюється.

Вибір розміщення реактора установки залежить від методу завантаження сировини і наявності вільної території в господарстві. Горизонтальні установки вибирають для безперервного методу завантаження сировини і при наявності необхідного місця. Вертикальні установки більше підходять для завантаження сировини порціями і використовуються при необхідності для зменшення місця, яке займає реактор. При виборі розміщення установки необхідно враховувати топографічні характеристики місцевості і користуватись ними для оптимізації роботи установки.

Бетонні реактори зазвичай споруджують під землею. Їх переваги – низькі затрати на спорудження і матеріали, можливість серійного випуску. Недоліки: великі об'єми використання якісного бетону; необхідність відповідної кваліфікації будівельників і велика кількість арматурної сітки; відносна новизна конструкції; необхідність спеціальних заходів для забезпечення герметичності газгольдера.

Цегляні реактори споруджують для підземних установок з фіксованим або плаваючим газгольдером і мають круглу форму. Переваги: низькі початкові капіталовкладення і довгий термін експлуатації; відсутність рухомих чи ржавіючих частин; компактність та ізольованість конструкції; економія місця. Недоліки: потреба в спеціальному покритті для забезпечення герметичності; можливість витікання газу; погана контрольованість роботи установки через підземне розташування; необхідність ретельного підрахунку рівнів забудови; складність підігріву сировини в реакторі. Таким чином, цегляні установки можуть бути рекомендовані до застосування

тільки в теплих країнах при наявності кваліфікованого персоналу.

Металеві реактори підходять для будь-якого типу установок, герметичні, витримують великі тиски і прості при виготовленні [1]. Є можливість використовувати уже готові резервуари, але велика матеріаломісткість таких реакторів перешкоджає широкому впровадженню БГУ. Так, наприклад, у біогазовій установці процес переробки рідких відходів відбувається протягом 10...15 діб, а в піролізаторі переробка твердих відходів триває лише одну годину, тому металомісткість БГУ значно перевищує металомісткість піролізатора.

Отже, виходячи з особливостей процесу бродіння і його технології, до реакторів висуваються такі вимоги:

- абсолютна герметичність стінок, яка перешкоджає газообміну;
- непроникність для рідин;
- зберігання міцності в статичному стані при дії власної сили тяжіння і маси субстрату, що завантажується;
- суцільна теплоізоляція;
- корозійна стійкість;
- надійність завантаження і вивантаження;
- доступність внутрішнього простору для обслуговування [2].

Для вибору форми, розмірів і конструкції реактора вирішальну роль відіграють такі фактори: масова витрата субстрату при завантаженні, заданий вихід біогазу, рівень механізації, система виробництва, яка застосовується. Усі перелічені фактори визначаються умовами виробництва і цілями технологічного процесу.

Мета дослідження – підвищення енергетичної та екологічної ефективності БГУ в результаті розробки методу раціонального науково-обґрунтованого створення конструкції реактора БГУ.

Основні дослідження

У роботі досліджується вплив різних факторів на масогабаритні параметри наземних БГУ.

Досліджено вплив співвідношення геометричних параметрів резервуару реактора ϕ на значення питомої металомісткості реактора m [3]. За результатами досліджень можна зробити висновок, що чим більший об'єм реактора, тим менша його питома металомісткість. Це означає, що ми отримуємо більший вихід біогазу при малих затратах на обладнання. Беручи за основу раніше встановлені залежності [3], можна сказати, що зміна співвідношення ϕ при великих об'ємах реактора незначно впливає на зміну величини m , але за рахунок того, що реактори великого об'єму мають значну вагу конструкції, при відхиленні ϕ на 0,1 будемо мати збільшення питомої металомісткості на 5%. Тобто економія металу при об'ємах реактора $V_p=1000...5000 \text{ м}^3$ становить 2500...4000 кг, а при $V_p=5...10 \text{ м}^3$ – до 60 кг. Отже, при конструюванні резервуару реактора БГУ стає необхідною умовою дотримання ϕ в межах 0,9...1,1, особливо для великих V_p .

Розглянемо біореактор, як узагальнений основний елемент схеми БГУ, що включає три ділянки: ділянку на вході в реактор, ділянку самого процесу метанового бродіння, ділянку на виході з реактора. Ефективність процесу анаеробної переробки відходів E , визначається процесами, що відбуваються на всіх трьох ділянках. Сукупність параметрів, що визначають процеси на окремих ділянках, позначені відповідно Φ_1, Φ_2, Φ_3 : Φ_1 – набір параметрів, що характеризують процеси підготовки сировини до зброджування перед безпосереднім завантаженням в реактор, Φ_2 – набір параметрів, що характеризують процес метанового бродіння в самому реакторі, Φ_3 – набір параметрів, що характеризують процеси відбору з реактора та підготовки до використання продуктів анаеробної ферментації (рис.1).

Додатково введено сукупності параметрів Φ_0 і Φ_n . В Φ_0 входять параметри, що характеризують суміш перед підготовкою до переробки, Φ_n – побічні фактори, що чинять вплив на БГУ [2, 3].

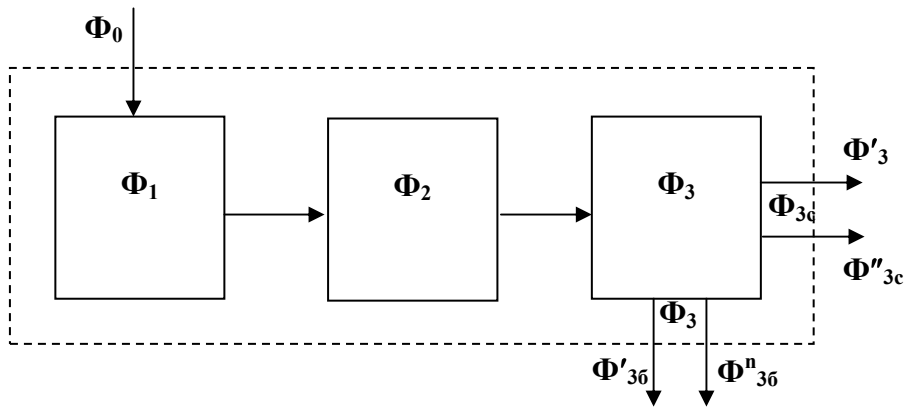


Рис. 1. Схема робочих ділянок біореактора як узагальненого основного елемента БГУ

Отримано такі системи параметрів:

$$\begin{aligned}
 \Phi_0 &= f(s, \tau_0, X, b_1, \Pi); \\
 \Phi_1 &= f(C/N_0, pH_0, L, b_2, V, R, Z); \\
 \Phi_2 &= f(T, P, I, C/N, pH, F_2, B, t, v); \\
 \Phi_3 &= f(TC, \tau, \Gamma\Pi, n, \Phi'_{3c}, \Phi''_{3c}, \Phi_{3б}); \\
 \Phi_{\Pi} &= f(Kл, Pз); \\
 \Phi_{3б} &= f(\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \Phi'_{3б} \dots \Phi^n_{3б}); \\
 \Phi_{3c} &= f(\Phi_1, \Phi_2); \\
 \Phi_1 &= f(\Phi_2, \Phi_0); \\
 \Phi_2 &= f(\Phi_3, \Phi_1),
 \end{aligned} \tag{1}$$

де

- s – склад сировини;
- τ_0 – час витримки сировини перед завантаженням в реактор;
- X – характерний геометричний розмір твердих частинок в сировині;
- b_1 – концентрація твердих частинок в сировині;
- Π – передісторія сировини;
- C/N₀, C/N, pH₀, pH – співвідношення вуглецю і азоту та водневий показник початкової сировини та суміші в реакторі, відповідно;
- L – лужність сировини;
- b_2 – концентрація сировини (вміст сухих речовин);
- V – вміст кислот;
- R – режим завантаження реактора;
- Z – добова заміна середовища;
- T – вид технологічної схеми БГУ;
- P – спосіб перемішування;
- I – інтенсивність перемішування;
- F₂ – наявність інгібіторів процесу;
- B – приріст біологічного агента (бактерій);
- t – робоча температура процесу;
- v – швидкість потоку;
- TC – спосіб термостабілізації, наявність вторинного використання теплоти;
- τ – час зброджування (ферментації);
- $\Gamma\Pi$ – форма і геометричні параметри реактора;
- n – кількість резервуарів в складі реактора;
- Kл – кліматичні умови регіону;
- Pз – розміщення реактора;
- $\Phi_{3c} = f(\Phi'_{3c}, \Phi''_{3c})$ – параметри відпрацьованого субстрату, його рідкої Φ'_{3c} і твердої Φ''_{3c} фази;

$\Phi_{3б} = f(\Phi'_{3б} \dots \Phi^n_{3б})$ – параметри біогазу, де $\Phi'_{3б} \dots \Phi^n_{3б}$ параметри біогазу, що подається в технологію, на опалення, до інших споживачів тощо. В загальному випадку при $\Phi_{\Pi} = \text{const}$

$$E = f(\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3). \tag{2}$$

Раніше була розглянута БГУ з реактором, що складається із одного резервуару [3]. Авторами [4] з урахуванням вихідних даних сільськогосподарських і фермерських господарств пропонується технологію виготовлення біогазу заснувати на принципі постадійного зброджування (просторового поділу процесу бродіння), яке відбувається спочатку в анаеробному біореакторі-підігрівнику (витримувачі), потім в каскаді анаеробних біореакторів (метантенках) у чотири стадії (рис. 2). В такій системі стає можливим відокремлення процесів, що відбуваються на основних ділянках БГУ (рис. 1), а також можна незалежно впливати на умови ферментації (рН, температура, швидкість потоку) у кожному резервуарі [3, 5].

Відповідно до запропонованої технології [4] на початковій стадії бродіння біомасу нагрівають до режимної температури. Тут відбувається процес початкового перетворення органічних речовин (гній, послід тощо), гідроліз і кислотоутворення в умовах анаеробного бродіння. Підготовлену таким чином біомасу подають в біореактор, метантенк 1-ої стадії. В умовах повної герметизації в ньому завершується первинний процес гідролізу високомолекулярних сполук, який відбувається в результаті діяльності бактерій гідролітаків-аеробів. Послідовне проходження біомаси через 2-й, 3-й та 4-й метантенки умовно відповідає проходженню традиційних стадій функціонування бактерій, взаємно пов'язаних трофічними зв'язками. Всі реакції бродіння можуть відбуватись одночасно, але відповідні бактерії потребують різних умов для свого існування і мають різні терміни дозрівання, тому здійснення процесу зброджування біомаси в послідовно розміщених реакторах потребує жорсткого контролю і дотримання вимог технологічного процесу [4].

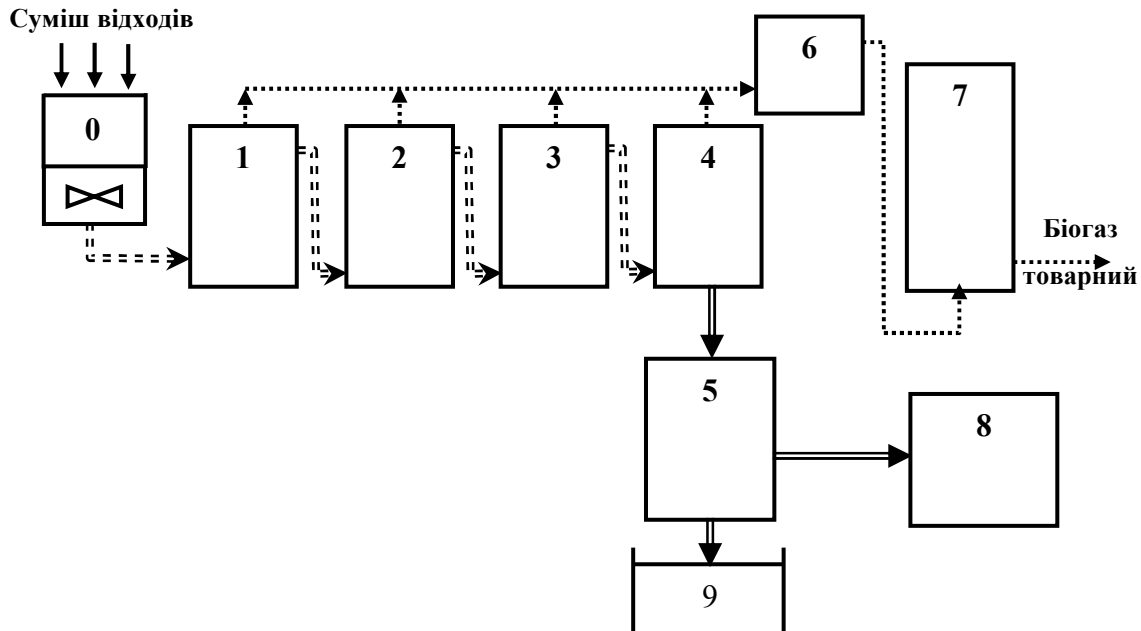


Рис. 2. Схема БГУ із постадійним зброджуванням рідких відходів: 0 – витримувач (анаеробний біореактор підігрівник-змішувач); 1...4 – метантенки 1-4-ї стадії; 5 – накопичувач збродженої суміші; 6 – блок підготовки біогазу; 7 – газгольдер; 8 – блок переробки збродженої суміші в гранульоване добриво; 9 – внесення збродженої суміші на поля в рідкому стані.

Для застосування запропонованої системи потрібно проаналізувати наскільки інтенсивність біохімічних процесів, які відбуваються у реакторі з постадійним зброджуванням, сприяє підвищенню енергоефективності БГУ. Тобто, чи будуть компенсуватись затрати, пов'язані з ускладненням конструктивного виконання реактора БГУ, за рахунок очікуваного збільшення інтенсивності виходу біогазу.

На рис. 3 показано залежність питомої мінімальної площі поверхні реактора від об'єму реактора при різній кількості однотипних реакторів. З рис. 3 видно, що питома поверхня зростає зі збільшенням кількості резервуарів реактора на 50...76 %. Це свідчить і про збільшення питомої металомісткості (рис. 4).

Аналіз літературних даних показав, що кількість біогазу, яка отримується з одиниці об'єму реактора в одиницю часу (за добу) q для існуючих БГУ, що споруджені в Україні, Росії, за кордоном, знаходиться в межах $q=0,9...6 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$. Зокрема, за результатами досліджень

встановлено, що при термофільному метановому зброджуванні патокової барди спиртового виробництва з 1 об'єму ферментаційної рідини можна отримати 22 об'єму газу за добу [3]. Також відомо, що застосування системи двох послідовно підключених реакторів кислотного і метанового бродиння, дозволяє інтенсифікувати процес отримання біогазу в 2-3 рази. На основі наведених прикладів можна зробити висновок, що застосування БГУ із постадійним зброджуванням біомаси доцільне в тому випадку, коли просторовий поділ процесу зброджування сприяє зростанню виходу біогазу більше, ніж у 10 разів [3, 5].

Дослідження методів підвищення енергоефективності БГУ, зменшення її техногенного навантаження на навколишнє середовище запропоновано проводити за схемою, наведеною на рис. 5.

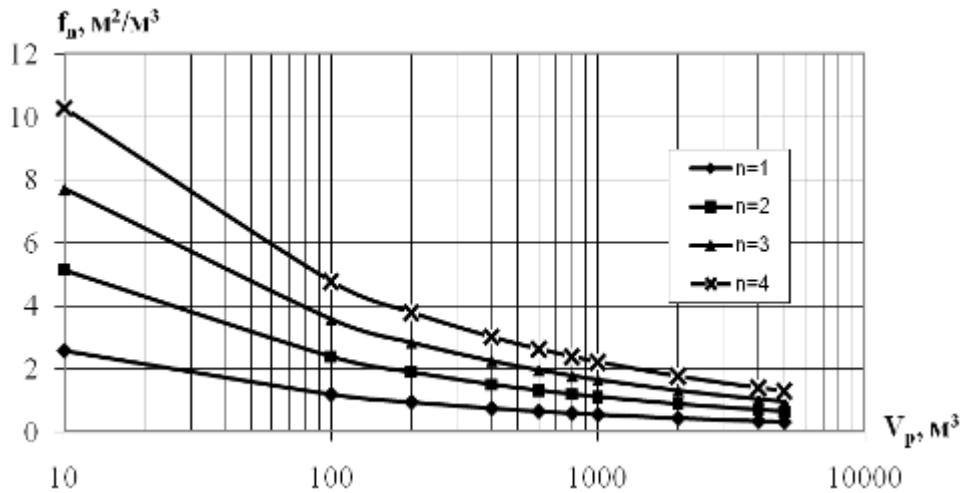


Рис. 3. Залежність питомої мінімальної площі поверхні реактора $f_n = F_p/V_p$ від об'єму реактора V_p

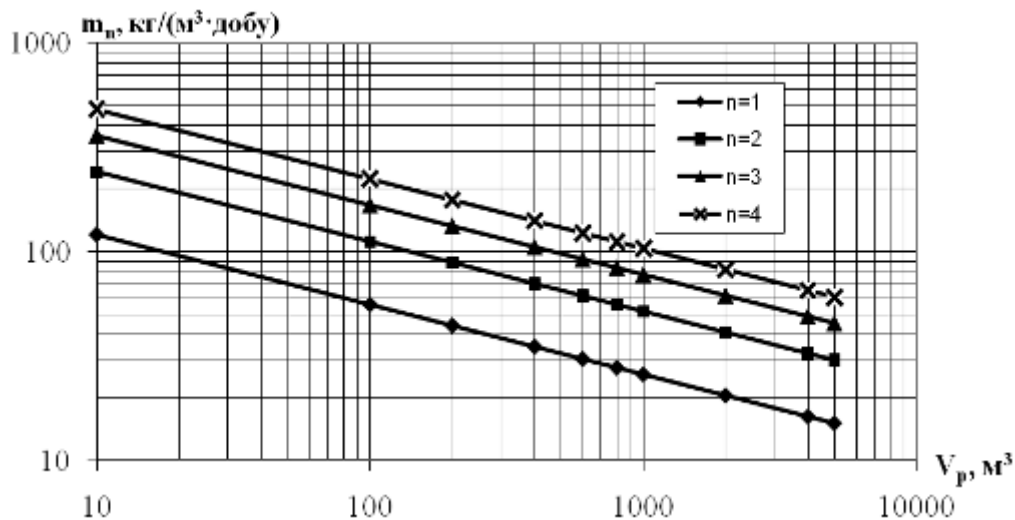


Рис. 4. Залежність питомої металомісткості реактора m_n від об'єму реактора V_p

Відповідно до схеми (рис. 5), підвищення енергоефективності БГУ стає можливим при поєднанні двох напрямків досліджень: створення раціональних теплогидравлічних режимів в реакторі БГУ для покращення біотехнологічних процесів та розробка оптимальних конструкторських рішень при проектуванні реактора, основного елемента БГУ.

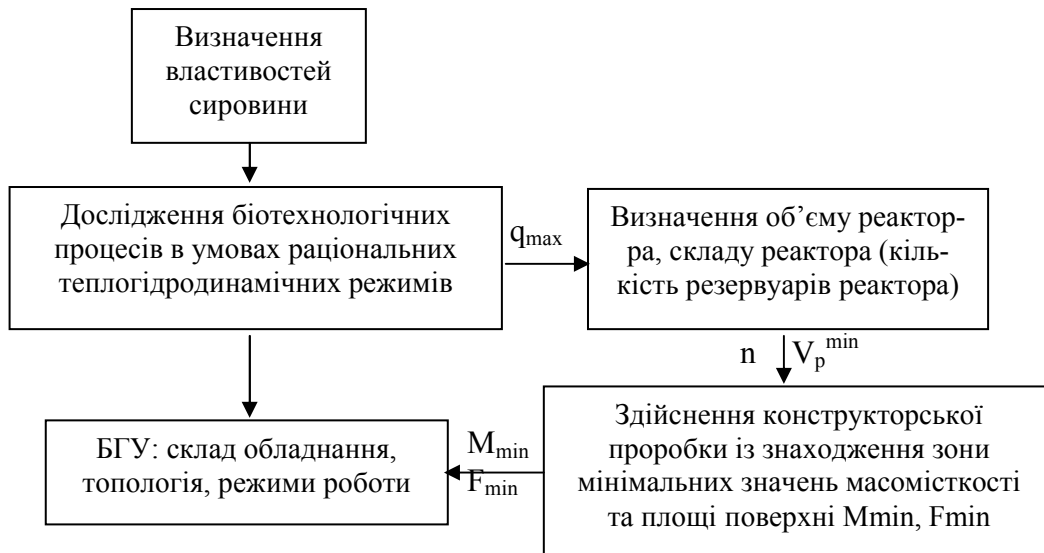


Рис. 5. Схема проведення досліджень методів підвищення енергоефективності БГУ

Висновки

- Аналіз результатів чисельних досліджень показав, що при конструюванні реакторів БГУ треба дотримуватись ϕ в межах $0,9 \dots 1,1$, особливо для об'ємів реактора $V_p = 1000 \dots 5000 \text{ м}^3$.
- Встановлено, що застосування реактора БГУ, що складається із $n > 1$ однотипних резервуарів, спричиняє збільшення величини питомої мінімальної площі поверхні реактора БГУ на $50 \dots 76 \%$ та збільшення значення питомої металомісткості на $75 \dots 80 \%$.
- Спорудження реактора із постадійним зброджуванням доцільне, якщо просторовий поділ процесу сприяє зростанню значення інтенсивності процесу метанового бродіння (вихід біогазу з 1 м^3 реактора за добу) більше, ніж у 10 разів.
- Вперше запропоновано схему проведення досліджень методів підвищення енергоефективності БГУ.

Список літератури

1. Веденев А. Г. ОФ «Флюид» Биогазовые технологии в Кыргызской республике / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. – Б.: Типография «ЕВРО», 2006. – 90 с.
2. Баадер В. Биогаз: теория и практика. (Пер. с нем. и предисловие М.И. Серебрякого) / В. Баадер, Е. Доне, М. Брайндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
3. Ткаченко С. Й. Аналіз факторів зниження матеріалоемності та підвищення енергоефективності біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №6. – С. 47-53.
4. Бурдейный Д. Н. Получение энергии и удобрений из биомассы / Д. Н. Бурдейный, В. И. Шаталов, Ю. И. Свитличная // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – №2. – С. 77-80.
5. Волова Т. Г. Биотехнология / Т. Г. Волова. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук, 1999. – 252 с.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету.

Пішеніна Надія Володимирівна – аспірантка кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету.

Румянцева Тетяна Юрійвна – студентка Вінницького національного технічного університету.