

ЗРОСТАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ ЗА УМОВ РУЙНУВАННЯ РЕОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ СУБСТРАТУ

Вінницький національний технічний університет¹
ТОВ «ГРІН КУЛ», м. Вінниця²

Анотація

Проведено експериментальне дослідження зміни інтенсивності теплообміну за умов руйнування реологічної структури субстрату. В якості дослідного матеріалу використано послід свиней вологістю 90 і 94%. Описано процес проведення експериментів та аналіз їх результатів. Обґрунтовано доцільність використання субстрату вологістю 94% над субстратом вологістю 90%, в зв'язку зі зростанням коефіцієнта тепловіддачі в першому в 2 рази за умов руйнування реологічної структури.

Ключові слова: субстрат, інтенсивність теплообміну, реологічна структура, експериментально-розрахунковий метод.

Abstract

A method of estimating the change in the intensity of heat transfer under the conditions of destruction of the rheological structure of the substrate is proposed. The test material used was pig litter, diluted with water to a concentration of 90 and 94%. The process of conducting the experiments and analyzing the results are described. The feasibility of using a substrate with a moisture content of 94% over a substrate with a moisture content of 90% is substantiated, due to the increase of the heat transfer coefficient of the first two times.

Keywords: substrate, heat transfer intensity, rheological structure, experimental-design method.

Вступ

Ріст енергетичної ефективності біогазових установок гальмується на самперед недоліками методів, конструкцій та технологій для термостабілізації суміші в біореакторі, проблемами сталості температур по об'єму реактора. Загальновідомо, що біогазові установки (БГУ) на заході виробляють у вигляді біогазу більше енергії ніж потрібно для підтримання функціонування самої БГУ (попередній підігрів, транспортування, термостабілізація та ін.).

Наступною проблемою є властивості сировини для БГУ, так як це може бути відходи тваринництва, рослинництва, харчові відходи та відходи промисловості, а зазвичай суміші вище перерахованого. Кількість варіантів складу сумішей прямує до нескінченності [1], тому дослідження заделегіть окремо кожного варіанту не є доцільним. Підтвердженням цього є умови прийняття наукових робіт в якості доповідей на XVI Мінському міжнародному форумі з тепломасообміну, де чітко зазначено, що результати дослідження теплофізичних властивостей речовин не приймаються [2].

Для якісного протікання процесу зброджування необхідне досить жорстке дотримання температурного режиму в БГУ. Так допустимі коливання температури субстрату в психрофільному режимі становлять $\pm 2^{\circ}\text{C}$, а у термофільному точність підвищується до $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ [3]. Важливу роль відіграють непрямі параметри: розмір фракцій, вологість субстрату в різні періоди року, інтенсивність перемішування. Раціональний спосіб перемішування сприяє створенню сприятливих гідродинамічних і температурних умов існування метаноутворюючих бактерій, а також більш ефективному використанню об'єму метантенка [4]. Це спонукає до розробки засобів оцінки теплофізичних властивостей і інтенсивності теплообміну в обладнанні БГУ безпосередньо під час проведення технологічного процесу збродження.

Результати дослідження

В якості дослідної речовини обрано гній свині. Вага свині 85 кг на відгодівлі. Для проведення досліджень твердий гній розводили водою для отримання субстрату різної вологості. Процес змішування виконували в наступній послідовності: за балансними залежностями розраховували необхідну масу води яку треба додати до певної маси твердої фракції. На лабораторних вагах зважували визначені порції гною і води, перемішували їх у дослідній ємності до досягнення однорідності суміші.

Для досліджень підготовлено субстрат вологістю 82, 85, 90, 94 %, строк витримки субстрату перед початком експерименту 5 та 20 днів. Продукт, яким годувались тварини – горох з отрубями.

Під час приготування субстратів вологістю 82% спостерігалось випадіння осаду, неоднорідність суміші навіть під час постійного перемішування. У суміші 85% певна неоднорідність зберігалась і осадження починалося через 5 хвилин після припинення перемішування. Для сумішей вологістю 90 і 94 % спостерігались добре перемішування компонентів з утворенням мутного в'язкого середовища та відсутність осаду близько 15 хвилин після припинення перемішування. Для проведення досліджень на експериментальному стенді використовувалась суміш вологістю 90 і 94%.

Дослідження проводили на експериментальному стенді описаному в [3]. Дослідна установка складається з внутрішньої тонкостінної ємності яка має форму тонкостінного циліндра (товщина стінки 0,5 мм), в якому відбувається нагрів суміші за рахунок теплоти води в зовнішньому коаксіальному об'ємі, який має зовнішній діаметр 200 мм, внутрішній – 97 мм, висота – 120 мм; внутрішній циліндр має діаметр 96 мм; висоту – 90 мм.

Для оцінки зростання інтенсивності теплообміну за умов руйнування структури субстрату використовували методику запропоновану в [5], через критеріальне рівняння, що описує інтенсивність теплообміну у внутрішній робочій порожнині. Рівняння (1) для вимушеного руху з врахуванням природної конвекції, отримане за допомогою нашого експериментального стенду описаного в [3], і може бути використано в межах $20 < Re_{2\delta}^* < 3,7 \cdot 10^3$, $6 \cdot 10^6 < (Gr_H \cdot Pr_p) < 2 \cdot 10^8$, $3,2 < Pr_p < 1,7 \cdot 10^3$

$$Nu = 0,0549 \cdot Re^{*0,589} \cdot Pr_p^{0,33} \cdot (Gr_H \cdot Pr_p)^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{ct}} \right)^{0,25}, \quad (1)$$

Із рівняння (1) базовий комплекс фізичних властивостей має вигляд

$$KФВ_6 = P_1 \cdot v^{-0,359}, \quad (2)$$

$$\text{де } P_1 = C_p^{0,43} \cdot \rho^{0,43} \cdot \beta^{0,1} \cdot \lambda^{0,57}, \quad (3)$$

де $\bar{\Delta t}_6 = (\bar{t}_1 - \bar{t}_2)$; \bar{t}_1 і \bar{t}_2 – усереднена температура гарячого теплоносія і досліджуваного рідкого середовища, °С [1]; $2\delta = D_{\text{вн}} - d_M$ – визначальний лінійний розмір для вимушеної конвекції, м; H – визначальний лінійний розмір в умовах природної конвекції, м; $\bar{w} = \pi \cdot n \cdot d_M / 60$ – умовна характерна швидкість руху рідини, м / с; n – частота обертання мішалки, об / хв; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від теплообмінної поверхні до досліджуваного рідкого середовища, Вт/(м² · К); $Gr_H = (g \cdot \beta \cdot \bar{\Delta t} \cdot H^3) / \nu^2$ – критерій Грасгофа; критерій Рейнольдса для наших умов $Re^* = \frac{\bar{w} \cdot 2\delta}{\nu}$; Pr_p – критерій Прандтля для

рідини, визначений за температурою рідини, $Pr_p = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda}$; Pr_c – критерій Прандтля для рідини, визначений за температурою стінки; β – коефіцієнт температурного розширення рідкого середовища, °С⁻¹; λ – теплопровідність рідкого середовища, Вт / (м · К); ν – кінематична в'язкість рідкого середовища, м²/с; ρ – густина рідкого середовища, кг/м³; C_p – питома теплоємність рідкого середовища, кДж/(кг · К); g – прискорення вільного падіння, м/с². Поправка на напрямок теплообміну $\left(\frac{Pr_p}{Pr_{ct}} \right)^{0,25}$ визначалася за спеціально розробленим методом за умов використанням рідин і сумішей, теплофізичні властивості яких невідомі [5]. Еквівалент швидкості зсуву для умов конкретної установки $\gamma = \bar{w} / [0,5(D_{\text{вн}} - d_M)]$ прийнято згідно [5].

Для оцінки зростання інтенсивності теплообміну при руйнуванні структури з масиву експериментальних даних отриманих під час обробки відокремлюємо результати за умовами: $\bar{t}_2 = \text{const}$, $\Delta t_6 = \text{const}$ і представляємо у вигляді залежності (рис. 1).

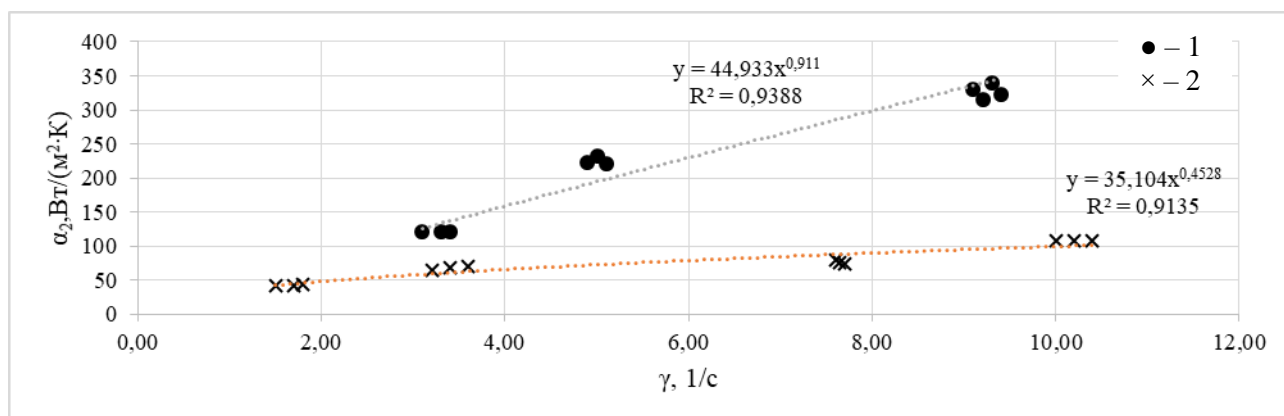


Рис. 1. Залежність коефіцієнту тепловіддачі до субстрату від швидкості зсуву: 1 – послід свиней вологістю 94%; 2 – послід свиней вологістю 90%; $\bar{t}_2 = 42$ °С; $\Delta t_6 = 11...13$ °С.

На рис.1 спостерігаємо, що за рахунок ломки структури отримуємо для посліду свиней 94% інтенсивність теплообміну за умов $\gamma = 9,1$ с⁻¹ в двічі більшу ніж за умов $\gamma = 3,5$ с⁻¹. Що пояснюється зміною структури субстрату свиней.

Для посліду свиней з вологістю 90% такий же аналіз показує збільшення коефіцієнту тепловіддачі в 1,7 рази, проте для субстрату вологістю 90% вихідна залежність для α_2 не відповідає нашим експериментальним даним. Руйнування структури в даному випадку спостерігається, але руйнівний ефект за умов $W=90\%$ обчислений з врахуванням залежності (1) не показує таку високу частку росту інтенсивності теплообміну за умови ломки структури, як при $W=94\%$.

Проведення аналізу даних з вибором інших $\bar{t}_2 = \text{const}$, $\Delta t_6 = \text{const}$ показує аналогічні результати в межах очікуваної похибки 15...20%.

Висновки

Аналіз зміни інтенсивності теплообміну за умов руйнування реологічної структури субстрату з посліду свиней показує, що за умов вологості субстрату 90 і 94 % відбувається руйнування структури, проте інтенсивність теплообміну в субстраті $W=90\%$ лише якісно описується залежністю (1). Спостерігається збільшення інтенсивності теплообміну в 2 рази для субстрату вологістю 94% за умов зміни еквіваленту швидкості зсуву від 3,5 с⁻¹ до 9,1 с⁻¹. Дані результати дають підставу зробити висновок, що застосування субстрату вологістю 90% є недоцільним в біогазовій технології, оскільки механічна інтенсифікація теплообміну за даних умов не ефективна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Выход биогаза из разных видов субстратов. Компания «Biteco Biogas» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.biteco-energy.com/vyhod-biogaza-iz-razlichnogo-syrua/>
2. XVI Мінський міжнародний форум з тепломасообміну [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.itmo.by/conferences/mif/>
3. Ткаченко С. Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 148 с.
4. Нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета: НТП 17-99*. – [Чинний від 1999-10-01] – М.: Департаментом ветеринарии Минсельхоза России, 2001. – 55с.
5. Ткаченко С. Й. Теплофізичне тестування реологічного поведіння складних рідинних середовищ / С. Й. Ткаченко, Н. В. Паламарчук, Д. І. Денесяк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2018. - № 4. - С. 46-53.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

Ищенко Ксенія Олександрівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Денесяк Дмитро Іванович – інженер-проектувальник розрахункового відділу ТОВ «ГРІН КУЛ», м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Науковий керівник **Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: stahit@mail.ru.

Stanislav Tkachenko – Dc. Sc., Professor, Head of the power system, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: stahit@mail.ru.

Ishchenko Ksenia – graduate student of heating, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Denysiak Dmytro – design engineer of the calculation department of Green Cool Ltd., Vinnitsa, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Supervisor: **Semenchenko Simon S.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia