

УДК 631.862.363

ВИБІР КРИТЕРІЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ-ЗМІШУВАЧІВ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

В. Ю. Рамш, кандидат технічних наук, доцент

М. В. Потапенко, інженер

В. Л. Шаршонь, інженер

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

E-mail: ramsh_v@ukr.net

Анотація. Розглядається методика визначення критерію оптимізації показників економічної ефективності подрібнювачів-змішувачів біогазових установок. Як цільову функцію пропонується показник ефективності, який функціонально залежить від технологічних і конструктивних параметрів подрібнювачів-змішувачів. Для спрощення розрахунків при проектуванні біогазових установок запропоновано проміжний критерій техніко – економічної характеристики H . Встановлено, що для заданих коефіцієнта неоднорідності готової суміші та продуктивності можна визначити найбільш економічний об'єм змішувальної установки, показником якого служить максимальне значення техніко – економічної характеристики.

Ключові слова: *біогазова установка, подрібнювач-змішувач, метаногенез, інтенсивність змішування, оптимізація*

Актуальність. Загострення екологічних проблем органічними відходами тваринницької галузі, а також зростаючий дефіцит енергетичних ресурсів є головними мотивами інтенсифікації розробок у галузі виробництва та ефективного використання біогазу. Виробництво біогазу, який є продуктом анаеробного зброджування гною та інших органічних відходів, дає не лише відновлювану енергію, але є ефективним шляхом боротьби з забрудненням навколишнього середовища [2]. Якщо основною метою застосування біогазових установок вважати їх еколого – захисні функції, то отримуваний біогаз буде додатковим і дешевим джерелом енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Під метаногенезом розуміють анаеробний мікробіологічний процес внаслідок якого утворюється біогаз. Зброджування здійснюється в спеціальних герметичних ємностях – метантенках, де створюються всі необхідні умови метаногенезу. Швидкість розкладу органічних речовин залежить від процесів життєдіяльності бактерій, на які в свою чергу впливають зовнішні умови. Частина цих умов є постійною, наприклад вологість і відсутність світла, а інші необхідно підтримувати на певному рівні – це оптимальна температура, постачання живильних речовин з відповідним співвідношенням азот – вуглець, та лужність середовища. Саме головне, щоб встановлене обладнання максимально задовольняло умовам життєдіяльності бактерій. Більшість досліджень присвячена моделюванню роботи метантенків біогазових установок залежно від режимів споживання біогазу і продуктивності продуктів метаногенезу. Але мало розроблені питання оптимізації параметрів обладнання, яке утворює технологічну систему виробництва біогазу.

Мета дослідження - розробка методики вибору критерію оптимізації техніко-економічних показників подрібнювачів-змішувачів біогазових установок. В якості цільової функції використовується показник, який функціонально залежить від якості продукції на виході змішувача, його габаритів, енергетичних затрат на одиницю продукції та вартості одиниці об'єму установки.

Матеріали і методи дослідження. Основним елементом технологічного обладнання, який забезпечує кількісний і якісний склад живильних речовин в бункерах накопичувачах біогазових установок є барабанні подрібнювачі – змішувачі. Тому при проектуванні необхідно вирішити комплекс задач, пов'язаних з розробкою ідеології системи, її елементів, розробити нормативно – методичні матеріали по вибору оптимальних параметрів обладнання системи, які

забезпечать його виробництво і експлуатацію з мінімальними затратами коштів і часу.

При виборі конструкції подрібнювача – змішувача біогазової установки звертають увагу на якість продукції на виході із агрегату, габаритні розміри, енергетичні затрати на одиницю продукції та вартість одиниці об'єму установки.

При проектуванні бажано мати таку функцію стосовно безперервно діючого подрібнювача – змішувача, для конструкції якого характерні однократні капітальні затрати, постійні експлуатаційні витрати та однакові строки служби.

Результати досліджень та їх обговорення. Якщо рахувати, що затрати на приготування компонентів суміші продуктів ферментації постійні і у всіх порівнюваних варіантів змішувальних установок забезпечується задана продуктивність готової продукції та необхідна її однорідність, то в якості цільової функції можна використати показник економічної ефективності [6]:

$$P = K_{num} \cdot E_n + E_e, \quad (1)$$

де K_{num} – питомі капіталовкладення в змішувальну установку, грн./м³ за рік; E_n – нормативний коефіцієнт порівняння ефективності; E_e – питомі експлуатаційні витрати, $\frac{грн}{м^3}$.

В рівнянні (1) характер зміни економічної ефективності визначається змінними K_{num} і E_e .

Питомі капіталовкладення в установку визначаємо з виразу:

$$K_{num} = \frac{B_n \cdot L}{\vartheta \cdot t_p}, \quad (2)$$

де B_n – вартість одиниці об'єму подрібнювача-змішувача, $\frac{грн}{м^3}$; L – довжина змішувального барабану, м; ϑ – середня швидкість проходження компонентів через барабан, $\frac{м}{год}$; t_p – тривалість роботи установки, год.

Лінійна швидкість проходження компонентів змішування визначається за формулою:

$$g = \frac{Q}{F}, \quad (3)$$

де Q – об'ємна продуктивність подрібнювача-змішувача, $\frac{m^3}{год}$. $F = \varphi \cdot \pi \cdot R^2$ – площа поперечного перерізу сегменту завантаження барабана, m^2 ; φ – коефіцієнт заповнення бункера; R – радіус змішувального барабана, м.

Експлуатаційні витрати складаються з амортизаційних відрахувань та відрахувань на поточний ремонт і обслуговування обладнання. Вони пропорційні капіталовкладенням і на стадії проектування їх можна не враховувати. При експлуатації установки до вище наведених витрат додається заробітна плата обслуговуючого персоналу, вартість електроенергії та мастильних матеріалів.

Тоді змінні складові експлуатаційних витрат визначимо з виразу:

$$E = \frac{B_1 \cdot K_q \cdot n \cdot N}{Q}, \quad (4)$$

де B_1 – вартість 1 кВт-год електроенергії, грн.; K_q – коефіцієнт використання електродвигунів; n – кількість змішувачів однакової конструкції, шт.; N – потужність, яка затрачається для досягнення однорідності продуктів метаногенезу, $\frac{кВт}{m^3}$.

Кількість змішувачів однакової конструкції, які входять в установку:

$$n = \frac{Q \cdot L}{V \cdot g}, \quad (5)$$

де V – об'єм подрібнювача-змішувача, m^3 .

Потужність, яка необхідна для створення гомогенного середовища продуктів шумування визначимо [3]:

$$N = \frac{0,34 \cdot D^3 \cdot L \cdot U \cdot \gamma \cdot \varphi}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot Q}, \quad (6)$$

де D – діаметр барабану, м; U – колова швидкість барабана, $\frac{м}{год}$; γ – густина готової суміші, $\frac{кг}{л}$.

Між потужністю N і інтенсивністю змішування в барабанних подрібнювачів-змішувачах існує залежність [3]:

$$Z = \alpha \cdot N^S, \quad (7)$$

де α – коефіцієнт пропорційності; S – коефіцієнт, який враховує зміну енергозатрат при зміні розмірів змішувального барабану.

Інтенсивність змішування компонентів продуктів ферментації визначимо за залежністю:

$$Z = \frac{V(C_0) - V(C_k)}{K_u \cdot L}, \quad (8)$$

де $V(C_0)$ – початковий коефіцієнт неоднорідності, який обумовлюється співвідношенням змішуваних компонентів; $V(C_k)$ – кінцеве значення коефіцієнта неоднорідності, задається по технологічному процесу, або визначається експериментально; K_u – кратність циркуляції.

Значення K_u визначаємо за співвідношенням [1]:

$$K_u = \frac{Q}{V_p}, \quad (9)$$

де $V_p = \varphi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L$ – робочий об'єм змішувального барабану.

Довжина змішувального барабану, яка необхідна для забезпечення заданого значення $V(C_k)$:

$$L = \vartheta \cdot t, \quad (10)$$

де t – середній час перебування матеріалу в подрібнювачі-змішувачі, який забезпечує досягнення необхідного коефіцієнту неоднорідності.

Щоб визначити t скористаємось залежністю [3]:

$$V_1^2(C_k) - \exp(-2 \cdot D_{el} \cdot t) = V_1^2(C_k) \{1 - \exp[-4 \cdot V^2(C_0) \cdot D_{p1} \cdot t]\}, \quad (11)$$

де $D_{e1} = \frac{D_e}{F}$; $D_{p1} = \frac{D_p}{F}$ - приведені коефіцієнти повздовжнього і радіального переміщення, год⁻¹; D_e , D_p - коефіцієнти повздовжнього і радіального переміщення, $\frac{м^2}{год}$; $V_1(C_k) = \frac{V(C_k)}{V(C_0)}$ - приведені значення кінцевого коефіцієнта неоднорідності.

Трансцендентне рівняння (11) необхідно розв'язувати відносно t методом послідовних наближень. Розв'язання можна закінчити, коли значення лівої і правої частин рівняння будуть відрізнятися не більше як на 12 – 14%.

Коефіцієнти повздовжнього D_e і радіального D_p перемішування, згідно з [3] визначаються за такими даними:

$$D_e = k_1 \cdot U^{0,9} \cdot g^{0,1} \cdot R \cdot \varphi^{-0,2}, \quad (12)$$

$$D_p = k_2 \cdot U^{0,5} \cdot g^{0,5} \cdot R \cdot \varphi^{-0,25}, \quad (13)$$

Коефіцієнти k_1 і k_2 для різних матеріалів наведені в табл. 1.

1. Значення коефіцієнти k_1 і k_2 для різних матеріалів

Матеріали	k_1	k_2
Мілкозернисті корми	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Суміш гноївки ВРХ і свиней	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$

Підставивши в рівняння (8) значення L , вираз для визначення питомих експлуатаційних затрат з врахуванням (7) набуде виду:

$$E_e = \frac{L \cdot B_1 \cdot K_d}{n \cdot t \cdot V \cdot g} \cdot \left(\frac{Z}{\alpha} \right)^{\frac{1}{s}}, \quad (14)$$

В рівняння (1) підставимо вираз (14) та рівняння (2) і після перетворень одержимо:

$$P = \frac{L \cdot B_n \cdot E_n}{g \cdot t} + \frac{L \cdot B_1 \cdot K_d}{n \cdot t \cdot V \cdot g} \cdot \left(\frac{Z}{\alpha} \right)^{\frac{1}{s}}. \quad (15)$$

Критерій оптимізації представимо в безрозмірному виді поділивши його значення у виразі (15) на деяке часткове значення P_0 та віднесемо до одиниці інтенсивності перемішування:

$$P = \frac{L \cdot B_n \cdot E_n}{g \cdot t \cdot P_0 \cdot Z} + \frac{L \cdot B_1 \cdot K_o}{V \cdot t \cdot P_0 \cdot Z \cdot g} \cdot \left(\frac{Z}{\alpha}\right)^{\frac{1}{S}}; \quad (16)$$

У рівнянні (16) праву складову лівої частини позначимо через η , тоді:

$$\eta = \frac{L \cdot B_n \cdot E_n}{g \cdot t \cdot P_0 \cdot Z}; \quad (17)$$

Підставивши η в рівняння (16) та після відповідних перетворень, отримаємо:

$$P = \frac{B_1 \cdot K_o \cdot L^{\frac{1}{S}} \cdot E^{\frac{1}{1-S}}}{\alpha^{\frac{1}{S}} \cdot t^{\frac{1}{S}} \cdot P_0^{\frac{1}{S}} \cdot V \cdot g^{\frac{1}{S}}} \cdot \eta^{1-\frac{1}{S}} + \eta; \quad (18)$$

У рівнянні (18) дріб позначимо через A , тоді:

$$P = A \cdot \eta^{1-\frac{1}{S}} + \eta; \quad (19)$$

Величина η може мати оптимальне значення, при цьому функція P буде мінімальною. Це буде відповідати конструкції безперервно діючого барабанного подрібнювача-змішувача з оптимальними капітальними і експлуатаційними витратами, а також інтенсивністю змішування.

Враховуючи умову екстремальності критерію оптимізації $\frac{\partial P}{\partial \eta} = 0$, запишемо оптимальне значення η :

$$\eta_o = \left[A \left(\frac{1}{S-1} - 1 \right) \right]^S. \quad (20)$$

Після підстановки значень A і η_o , з врахуванням залежності (7), рівняння (19) буде мати такий вид:

$$P = \frac{K_o^S \cdot L \cdot B_n^{1-S} \cdot N^S \cdot B_1^S \cdot E_n^{1-S}}{t \cdot V^S \cdot Z \cdot (1-S)^{1-S} \cdot S^S \cdot g \cdot P_0}; \quad (21)$$

Для спрощення розрахунків при проектуванні подрібнювачів-змішувачів біогазових установок застосуємо проміжний критерій техніко – економічної характеристики подрібнювачів-змішувачів H :

$$H = \frac{V^S \cdot Z \cdot g}{B_n^{1-S} \cdot L \cdot N^S} \quad (22)$$

Визначену величину зручно застосовувати в якості техніко – економічної характеристики змішувачів. Використання H для аналізу варіантів передбачає наявність хоч би одного значення критерію P . Подальшу зміну P можна знаходити по варіюванню H .

Аналіз рівняння (22) показав, що існують декілька варіантів підвищення критерію оптимізації безперервно діючого барабанного подрібнювача-змішувача, це насамперед:

- збільшення об'ємної продуктивності Q і інтенсивності Z процесу змішування;
- зменшення вартості B_n одиниці об'єму подрібнювача-змішувача, або потужності N , необхідної для обертання робочих органів установки.

За відомими значеннями параметрів, які характеризують кінетику змішування і коефіцієнта неоднорідності було розраховано критерій оптимізації P , а потім отримані значення H . Результати розрахунків наведені в табл. 2.

2. Техніко – економічні характеристики подрібнювачів-змішувачів

$R, м$	$Q, \frac{м^3}{год}$	$D_e, \frac{м^2}{год}$	$D_p, \frac{м^2}{год}$	$F, м^2$	$g, \frac{м}{год}$	$L, м$	K_u	$N, кВт$	H
0,05	0,032	0,002	0,0035	0,0033	9,7	0,83	11,8	0,61	0,004
0,08	0,032	0,0026	0,0036	0,0081	4	0,72	5,5	1,62	0,0047
0,12	0,032	0,0037	0,0038	0,0148	2,16	0,54	4	2,24	0,0062
0,15	0,032	0,0046	0,0042	0,028	1,14	0,43	2,7	3,23	0,007

Висновки і перспективи. Як цільову функцію оптимізації барабанних подрібнювачів-змішувачів біогазових установок пропонується показник економічної ефективності, змінними величинами якого є питомі капіталовкладення в змішувальну установку та питомі експлуатаційні витрати.

З врахуванням умов екстремальності одержано аналітичний вираз цільової функції залежності економічної ефективності подрібнювачів-змішувачів від їх технологічних і технічних показників.

Встановлено, що для заданих коефіцієнта неоднорідності готової суміші та продуктивності можна визначити найбільш економічний об'єм змішувальної установки, показником якого служить максимальне значення техніко – економічної характеристики H .

Список літератури

1. Касаткин А. Р. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Р. Касаткин. – М.: Химия, 1973 – 784с.
2. Корчемний М. О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. О. Корчемний, В. С. Федорейко, В. П. Щербань. – Тернопіль: "Підручники і посібники", 2001 – 984 с.
3. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973 – 215 с.
4. Островский Г. М. Моделирование сложных химико – технологических систем / Г. М. Островский, Ю. М. Волин. – М.: Химия, 1975 – 311с.
5. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко. – Суми: П «МакДон», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 347 с.
6. Шевченко В. С. Введение в оптимальное проектирование машин / В. С. Шевченко. – Минск: Наука и техника, 1974. – 112 с.

References

1. Kasatkin, A. R. (1973). Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. [Basic processes and vehicles of chemical technology]. Moskow: Khimiya, 784.
2. Korchemnyi, M. O., Fedoreiko, V. S., Shcherban V. P. (2001). Enerhozberezhennia v ahropromyslovomu kompleksi. [Energy conservation in agriculture]. Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky, 984.
3. Makarov, Yu. I., Volin, Yu. M. (1973). Apparaty dlya smesheniya syupuchikh materialov. [Vehicles for mixing of friable materials]. Moskow: Mashinostroyeniye, 215.

4. Ostrovskiy, G. M. (1975). Modelirovaniye slozhnykh khimiko – tekhnologicheskikh sistem. [Modeling of complex chemical-technological systems]. Moskow: Khimiya, 311.

5. Semenenko, I. V. (1996). Proyektirovaniye biogazovykh ustanovok. [Planning of biogas options]. Sumi: P «MakDon», IPP «Mriya-1» LTD, 347.

6. Shevchenko, V. S. (1974). Vvedeniye v optimal'noye proyektirovaniye mashin. [Introduction to the optimal planning of machines]. Minsk: Nauka i tekhnika, 112.

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ-СМЕСИТЕЛЕЙ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

В. Ю. Рамш, Н. В. Потапенко, В. Л. Шаршонь

Аннотация. *Рассматривается методика определения критерия оптимизации показателей экономической эффективности измельчитель-смесителей биогазовых установок. В качестве целевой функции предлагается показатель эффективности, который функционально зависит, технологических и конструктивных параметров измельчитель-смесителей. Для упрощения расчетов при проектировании биогазовых установок предложен промежуточный критерий технико - экономической характеристики H . Установлено, что для заданных коэффициента неоднородности готовой смеси и производительности можно определить наиболее экономический объем смесительной установки, показателем которого служит максимальное значение технико - экономической характеристики.*

Ключевые слова: *биогазовая установка, измельчитель-смеситель, метаногенез, интенсивность смешивания, оптимизация*

CHOICE OF CRITERION OF OPTIMIZATION OF GRINDING-MIXERS OF BIOGAS OPTIONS

V. Ramsh, M. Potapenko, V. Sharshon

Abstract. *Methodology of determination of criterion of optimization of indexes of economic efficiency of grinding-mixers of biogas options is examined. As an objective function the index of efficiency, that depends functionally, is offered, technological and structural parameters of grinding-mixers. For simplification of calculations in the design of biogas plants, an intermediate criterion for the technical and economic characteristics is proposed H . It is established that for the given coefficient of inhomogeneity of the finished mixture and productivity, it is possible to determine the most economic volume of the mixing plant, which is indicated by the maximum value of the technical and economic characteristics.*

Key words: *biogas setting, grinding-mixer, methanogenesis, intensity of mixing, optimization*