

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Потапенко М. В.¹, Лещій Р. М.², Семенова Н. П.¹

¹Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
"Бережанський агротехнічний інститут",

²Державний вищий навчальний заклад "Калуський політехнічний коледж"

Розглянуті методи розрахунку електропривода поточкових ліній біогазових установок з врахуванням факторів, які обмежують завантаження. Проведено оцінку їх статичної і динамічної стійкості.

Постановка проблеми. В контексті обмеженості ресурсів для виробництва традиційної енергії в Україні, найбільш перспективним і надійним є розвиток альтернативної енергетики.

Біогаз, отриманий в процесі анаеробного зброджування органічних відходів агропромислового комплексу, які постійно поновлюються, є високоефективним альтернативним джерелом енергії.

В якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися як органічні агропромислові або побутові відходи, так і рослинні рештки.

Анаеробна переробка органічної маси відбувається у спеціальних комплексах, які називаються біогазовими установками.

Застосування біогазових установок дозволяє вирішити проблеми екологічного, енергетичного та агрохімічного характеру, а тому є базовою основою для створення екологічно чистих технологій переробки органічних відходів [2].

Енергетична ефективність роботи біогазових установок багато в чому залежить як від обраної технології, матеріалів і конструкції основних споруд, так і від кліматичних умов у зоні їх розташування [6].

При проектуванні біогазових установок необхідно вирішувати цілий комплекс задач пов'язаних з розробкою ідеології нової системи та збиранням вихідної інформації для аналізу і синтезу оптимальних варіантів системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні більшість технологічних процесів здійснюється за допомогою поточкових виробничих ліній. Взаємодіючими елементами поточкових ліній є різні види технологічного та електротехнічного обладнання та різні види сировини й енергоносіїв.

Технологічні схеми біогазових бувають різними, залежно від виду і числа перероблюваних субстратів, виду та якості кінцевих продуктів, способу подачі (чи подрібнення) матеріалу, типу змішування, і ряду інших чинників [3].

Потоково-виробнича лінія приготування продуктів метаногенезу для біогазових установок малої і середньої потужності складається в основному з трьох – чотирьох складових: живильний транспортер, дозатор та подрібнювач – змішувач, оснащених електродвигунами і апаратурою керування і автоматизації [4].

В лініях переробки соломи та відходів рослинництва для використання в біореакторах із – за нерівномірної подачі цих матеріалів порушується технологі-

чний процес їх подрібнення, що викликає перевантаження електродвигунів та окремих елементів конструкції виробничих машин. Сила зчеплення між окремими частинами продуктів рослинництва залежить від розмірів, стану поверхні, вологості. Тому, незважаючи на їх роз'єднання та дозування, попадаючи в робочу машину створюються перевантаження, які проявляються на навантажувальній діаграмі електропривода.

Оскільки момент опору M_0 робочих органів машини обумовлюється багатьма факторами, то навантаження змінюється по випадковому закону. А тому залежність M_0 від часу необхідно описувати за допомогою теорії випадкових функцій.

Ймовірнісні характеристики навантаження визначаються експериментальним шляхом. При використанні матеріалу одного виду машина працює приблизно в одному режимі. Тому навантаження можна вважати випадковою стаціонарною функцією, яка має ергодичну властивість [5]. Якщо який небудь один із факторів не переважає в формуванні навантаження, то приймають нормальний закон розподілу ймовірностей.

За навантажувальними діаграмами визначають математичне сподівання m_i , середньоквадратичне відхилення σ_i і кореляційну функцію струму.

Мета статті. Розробка методики оцінки статичної і динамічної стійкості електропривода при проектуванні поточкових ліній біогазових установок.

Основні матеріали досліджень. При перевірці статичної стійкості, щоб не допустити зупинки електродвигуна при перевантаженні, необхідно дотримуватись умови [1]:

$$\mu_k > m_{0\max}, \quad (1)$$

де $\mu_k = \frac{M_k}{M_{кн}}$ - відношення критичних моментів

двигуна при значення напруг U і U_n ;

$m_{0\max} = \frac{M_{0\max}}{M_{кн}}$ - відношення максимального моме-

нту опору машини до критичного моменту електродвигуна при U_n .

Значення $m_{0\max}$ можна визначити аналізуючи навантажувальну діаграму, а враховуючи відхилення максимального моменту двигуна від каталожного, то його приймаємо з 10% запасом:

$$m_{0\max} = m_{M_0} + 3\sigma_{M_0} + 0,1, \quad (2)$$

де m_{M_0} - математичне сподівання M_0 у відносних одиницях;

σ_{M_0} - середньоквадратичне відхилення M_0 у відносних одиницях.

Враховуючи те, що $m_{M_0} = \frac{K_z}{K_M}$ після перетворення виразу (2) отримаємо нерівність:

$$K_z < \frac{K_M(\mu_k - 0,1)}{1 + 3K_V}. \quad (3)$$

де $K_V = \frac{\sigma_i}{m_i}$ - коефіцієнт варіації струмової діаграми.

Вираз (3) дозволяє вибрати допустимий коефіцієнт завантаження K_z двигуна при заданих параметрах електропривода та дозуючого пристрою. Перевантажувальну здатність електроприводу з врахуванням її зменшення при живленні від малопоужної мережі характеризує чисельник правої частини.

Коефіцієнт варіації навантаження K_V обумовлює якість роботи дозатора, який подає оброблюваний матеріал в робочу машину.

При визначенні динамічної стійкості електропривода необхідно розв'язувати нелінійні диференціальні рівняння, що значно ускладнює задачу.

Тому, за більш простих розрахунках, умову динамічної стійкості можна отримати застосовуючи аналіз енергетичного балансу роботи електропривода при короткочасному різкому зростанні навантаження: $M_0 > M_k$. Щоб кутова швидкість була не менше допустимої, махові маси рухомих частин повинні мати запас кінетичної енергії, достатній для подолання викиду навантаження, оскільки дефіцит моменту двигуна може бути покритий лише за рахунок динамічного моменту, який виникає при зменшенні кутової швидкості:

$$J_{np} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{2} > \int_0^{t_1} [M_0(t) - M_k] \cdot \omega(t) \cdot dt, \quad (4)$$

де J_{np} - приведений момент інерції системи;

ω_1 - кутова швидкість електроприводу до настання перевантаження;

ω_0 - допустима мінімальна кутова швидкість приводу;

M_0 - момент опору;

t_1 - час викиду навантаження.

Для забезпечення динамічної стійкості електроприводу ω_0 приймають рівним критичному значенню частоти обертання двигуна ω_k .

Можна допускати і короткочасний вихід двигуна в зону нестійкості частини механічної характеристики, але це небажано із – за великих поштовхів струму [7]. Щоб забезпечити нерівність (4), достатньо взяти максимально можливе значення ω_1 , яке відповідає ковзанню двигуна $S_1 = 0,6 \cdot S_k$. До цієї точки механічна характеристика двигуна прямолінійна.

Якщо прийняти $\omega(t) = \frac{\omega_1 + \omega_0}{2}$, то після перетворень одержимо умову динамічної стійкості електроприводу:

$$T_{em} > \frac{1}{0,4} \int_0^{t_1} m_0 \cdot dt - t_1, \quad (5)$$

де $T_{em} = J_{np} \cdot \frac{\omega_0 \cdot S_k}{M_k}$ - електромеханічна постійна часу електропривода;

Чисельник правої частини виразу (5) представляє приведений час викиду навантаження, який дорівнює площі викиду навантажувальної діаграми.

$$F_B = \int_0^{t_1} m_0 \cdot dt - t_1, \quad (6)$$

Значення F_B є випадковою величиною, яка має свій закон розподілу, тому що m_0 – випадкова функція.

Щоб ймовірність дотримання умови (5) була достатньо великою, необхідно приймати максимальне імовірнісне значення F_B .

$$F_B = K_{F_B} \cdot F_{Bсер}, \quad (7)$$

де $F_{Bсер}$ - середня площа викиду навантаження;

K_{F_B} - коефіцієнт, який враховує закон розподілу площ викиду навантаження.

Аналіз навантажувальних діаграм показав, що величину K_{F_B} можна приймати в межах $K_{F_B} = 2,2 - 2,8$.

Величину $F_{Bсер}$ визначають за допомогою теорії випадкових функцій [5]. При відомій кореляційній функції:

$$F_{Bсер} = \frac{\sigma_{M_0}^2 \sqrt{2\pi}}{\dot{\sigma}_{M_0}} + \frac{(m_{M_0} - a) \cdot \sigma_{M_0} \cdot \pi}{\dot{\sigma}_{M_0}} \cdot \left[1 - \Phi \left(\frac{a - m_{M_0}}{\sigma_{M_0}} \right) \right] \times \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{a - m_{M_0}}{\sigma_{M_0}} \right)^2 \right], \quad (8)$$

де a - рівень викиду навантаження $a = \mu_k$;

$\dot{\sigma}_{M_0}$ - середньоквадратичне відхилення похідної навантажувальної діаграми моменту опору;

$\Phi\left(\frac{a - m_{M_0}}{\sigma_{M_0}}\right)$ - функція ймовірностей Лапласа;

Для подрібнювачів біогазових установок кореляційна функція має вигляд:

$$K_{M_0}(\tau) = \sigma_{M_0}^2 e^{-\alpha\tau} \cdot \left(\cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta\tau \right), \quad (9)$$

де α - коефіцієнт затухання кореляційного зв'язку;

β - кутова швидкість на якій відбувається максимальна дисперсія навантаження.

За кореляційною функцією $K_{M_0}(\tau)$ визначають:

$$\dot{\sigma}_{M_0} = \sqrt{-\frac{d^2}{d\tau^2} K_{M_0}(\tau)|_{\tau=0}}. \quad (10)$$

Після підстановки формули (9) в рівняння (10) одержимо:

$$\dot{\sigma}_{M_0} = \sigma_{M_0} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}. \quad (11)$$

В результаті перетворень умова динамічної стійкості електропривода буде мати вид:

$$\gamma = \frac{0,4 \cdot T_{em}}{K_{F_B}} \cdot \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \cdot K_M > \sqrt{2\pi} \cdot K_V \cdot K_s - \pi(\mu_k \cdot K_M - K_s) \times \\ \times \left[1 - \Phi\left(\frac{\mu_k \cdot K_M - K_s}{K_s \cdot K_V}\right) \right] \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\mu_k \cdot K_M - K_s}{K_s \cdot K_V}\right)^2\right]. \quad (12)$$

Нерівність (12) дозволяє узгодити завантаження агрегату з нерівномірністю подачі матеріалу K_V при заданій перевантажувальній здатності двигуна $\mu_k \cdot K_M$, електромеханічній постійній часу T_{em} і ймовірнісних характеристиках α і β навантажувальної діаграми електроприводу.

При живленні електропривода від малопотужної мережі, коли із – за спадку напруги перевантажувальна здатність двигуна зменшується на 30%, для забезпечення динамічної стійкості коефіцієнт завантаження не повинен бути більшим від $K_s = 0,76$, що приводить до зменшення продуктивності машини.

Для забезпечення статичної стійкості електроприводу при $K_V = 0,35$, $\mu_k = 0,8$. Коефіцієнт завантаження не повинен бути більшим $K_s = 0,68$.

Висновок. Розглянуті методи розрахунку електропривода з врахуванням обмежуючих завантаження потокової лінії факторів: нагрівання електродвигуна, статичної і динамічної стійкості електроприводу та забивання робочої машини оброблюваним матеріалом.

Обґрунтовано вибір параметру γ , який дозволяє визначити, коли необхідно перевіряти електропривод на статичну, а коли на динамічну стійкість.

Список використаних джерел

1. Ключов В. И. Теория электропривода. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 559 с.
2. Корчемний М. О., Федорейко В. С., Щербань В. П. Энергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. 984 с.
3. Майстренко О. Ю., Куріс Ю. В., Ряснова О. В. Біогазові установки та методи їх розрахунку: Міжнародна конференція "Nauka I Inowascja 2009". Poland, 2009. С. 6–14.
4. Експлуатаційна оцінка стану обладнання біогазових установок / Рамш В. Ю., Потапенко М. В., Семенова Н. П., Шаршонь В. Л. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків : ХНТУСГ, 2018. Вип. 195. С. 124-126.
5. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. Москва : Наука, 1968. 487с.
6. Семенов І. В. Проектирование биогазовых установок. Суми: П "МакДон", ИПП "Мрия-1" ЛТД, 1996. 347 с.
7. Чиликин М. Г., Санлер А. С. Общий курс электропривода. Москва : Энергоиздат, 1981. 576 с.

Аннотація

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Потапенко Н. В., Лещий Р. М.,
Семенова Н. П.

Рассмотрены методы расчета электропривода поточных линий биогазовых установок с учетом факторов, которые ограничивают загрузки. Проведена оценка их статической и динамической устойчивости.

Abstract

ASSESSMENT OF STABILITY OF THE ELECTRIC DRIVE AT DESIGN OF PRODUCT LINES OF BIOGAS INSTALLATIONS

M. Potapenko, R. Leshchii,
N. Semenova

The methods of calculating the electric drive of the flow lines of biogas plants are considered, taking into account the factors limiting the loading. An estimation of their static and dynamic stability is carried out.