

УДК 621.313.1

БІЛА Т.Я., СТАЦЕНКО В.В.  
Київський національний університет технологій та дизайну

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ЗМІШУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСАХ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

**Мета.** Створення математичної моделі на основі аналізу перехідних процесів у змішувальному комплексі безперервної дії, що дозволить визначати величину динамічних навантажень під час зміни режимів роботи комплексу.

**Методика.** Використані відомі методи математичного моделювання, аналізу динамічних навантажень в електромеханічних системах та чисельного розв'язання нелінійних та диференційних рівнянь.

**Результати.** Визначені залежності між зміною робочих параметрів змішувального комплексу та динамічними навантаженнями в його приводі.

**Наукова новизна.** Отримано математичну модель, що дозволяє визначити величину динамічних навантажень в приводі змішувального комплексу із відцентровим змішувачем безперервної дії при зміні його об'ємної продуктивності.

**Практична значимість.** Використання математичних моделей, що запропоновані у роботі, надає можливість зробити обґрунтований вибір електричних машин для приводу змішувального комплексу.

**Ключові слова:** відцентровий змішувач, змішувальний комплекс, об'ємна продуктивність, динамічні навантаження.

**Вступ.** Використання сучасних змішувальних комплексів на основі відцентрових змішувачів безперервної дії забезпечує ряд суттєвих переваг у порівнянні з іншим обладнанням аналогічного призначення. До таких переваг відносяться: висока продуктивність, відносно низькі масогабаритні показники, незначне нагрівання компонентів суміші під час змішування, можливість застосування у складі автоматизованих технологічних ліній. Безперервний принцип дії змішувальних комплексів передбачає можливість зміни їх робочих параметрів в залежності від вимог технологічного процесу. В більшості випадків змішувальний комплекс має забезпечувати можливість зміни відсоткового складу суміші та об'ємної продуктивності, що забезпечується за рахунок зміни швидкості обертання приводів змішувача та дозаторів компонентів суміші. Як наслідок, в таких системах виникають динамічні навантаження, які необхідно враховувати під час проектування приводів змішувального комплексу. Визначення цих навантажень пов'язане із фізичною природою процесу безперервного змішування, оскільки забезпечення заданої якості суміші вимагає погодженої зміни режимів роботи всіх компонентів змішувального комплексу. В роботі ми розглядаємо перехідні процеси, що виникають при корегуванні об'ємної продуктивності, оскільки в цьому випадку відбувається одночасна зміна режимів роботи всіх електроприводів (дозаторів та змішувача) і динамічні навантаження є більшими ніж у випадку зміни відсоткового складу суміші, яку можна забезпечити лише за рахунок корегування роботи дозаторів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є створення математичних моделей, які дозволять визначити динамічні навантаження на електропривод в змішувальному комплексі безперервної дії, що виникають при зміні його об'ємної продуктивності, та розрахувати зміну режимів роботи змішувача для забезпечення заданої якості суміші.

**Результати дослідження.** В роботі розглядається змішувальний комплекс (рис.1) до складу якого входять: дозатори компонентів суміші тарілчастого типу (1), відцентровий змішувач безперервної дії (2), електродвигуни дозаторів (3) та змішувача (4), пристрій керування (5). При зміні об'ємної продуктивності змішувального комплексу зміна продуктивності дозаторів має бути одночасною та пропорційною, оскільки в протилежному випадку зміниться відсотковий склад суміші, тому на структурній схемі показаний лише один дозатор, що має сумарну продуктивність всіх дозаторів комплексу. Стрілками показано напрямки руху суміші. Спочатку через вивантажувальний патрубок (1.5) сипкий матеріал потрапляє на диск (1.2) дозатора. За рахунок відцентрових сил, що виникають під час обертання диску, частинки рухаються до краю диску, де знімаються за допомогою ножа (1.4) та потрапляють у вхідний патрубок змішувача безперервної дії (2.2). Далі потік частинок розділяється за допомогою турбулізатора (2.5) та потрапляє у конічний ротор (2.6). Під дією відцентрових сил частинки піднімаються вздовж бічної стінки ротора, проходять через проміжок між корпусом (2.4) та ротором і потрапляють до вихідного патрубку (2.3). Змішування забезпечується за рахунок виникнення окремих потоків суміші в зоні турбулізатора та їх взаємного перемішування всередині ротора.

Вихідними даними для розрахунку є початкова  $Q_1$  та кінцева  $Q_2$  об'ємні продуктивності, а також час перехідного процесу  $t_{пп}$ .

Як відомо [1], об'ємна продуктивність  $Q$  (кг/с) дозаторів тарілчастого типу визначається наступним співвідношенням:

$$Q = \frac{h^2 \omega \rho}{2 \operatorname{tg} \varphi} \left[ R + \left( \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi} \right) \right], \quad (1)$$

де  $h$  – відстань від нижнього краю стакану (1.3) до поверхні диску (м);  $R$  – радіус стакану з сипким матеріалом (м);  $\varphi$  - кут природного укосу матеріалу (град),  $\rho$  - насипна густина матеріалу (кг/м<sup>3</sup>),  $\omega$  – швидкість обертання диску (рад/с).

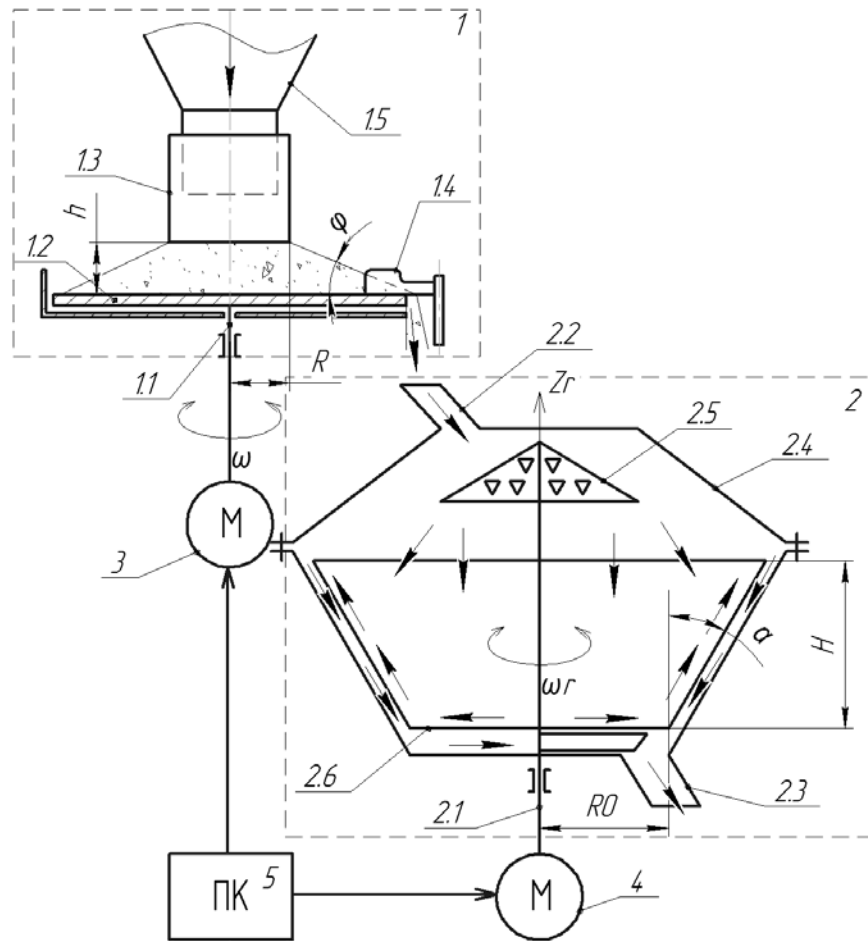


Рис.1. Структурна схема змішувального комплексу

Використовуючи співвідношення (1) та знаючи геометричні параметри дозатора, можна визначити діапазон зміни кутових швидкостей для заданих значень об'ємної продуктивності. Водночас відомо [2], що для забезпечення заданої якості суміші, необхідно підтримувати запас матеріалу  $G$  в змішувачі незмінним. Зміна об'ємної продуктивності дозаторів без відповідної корекції режиму роботи змішувача призведе до зміни запасу матеріалу в ньому і, як наслідок, до зниження якості суміші. Для змішувачів безперервної дії існує взаємозв'язок [2] між продуктивністю, запасом матеріалу та середнім часом перебування  $\bar{\tau}$  частинок в ньому:

$$\bar{\tau} = \frac{G}{Q}. \quad (2)$$

Це співвідношення дозволяє визначити необхідний час перебування частинок в змішувачі, що забезпечить постійне значення запасу матеріалу при зміні продуктивності:

$$\bar{\tau}_2 = \bar{\tau}_1 \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (3)$$

де  $\bar{\tau}_1$  та  $\bar{\tau}_2$  – значення середнього часу перебування частинок суміші всередині змішувача, що відповідають значенням продуктивності  $Q_1$  та  $Q_2$ , відповідно.

Математично описати рух частинки по бічній поверхні ротора відцентрового змішувача безперервної дії можна за допомогою диференційного рівняння [2]:

$$\frac{d^2 z_r}{dt^2} - z_r \omega_r^2 \sin \alpha \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) = g \cdot \sin \alpha \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) + R_0 \omega_r^2 \cos \alpha \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) - g, \quad (4)$$

де  $z_r$  – координата частинки суміші відносно вертикальної вісі (рис.1),  $\alpha$  – кут розтрубу ротора,  $f$  – коефіцієнт тертя частинок о бічну стінку ротора,  $R_0$  – радіус основи ротора,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\omega_r$  – кутова швидкість обертання ротора.

Введемо наступні позначення:

$$A = \omega_r^2 \cdot \sin \alpha \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha),$$

$$B = g \cdot \sin \alpha \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) + R_0 \cdot \omega_r^2 \cdot \cos \alpha \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) - g.$$

Тоді розв'язок рівняння (4) матиме вигляд:

$$z_r(t) = \left( B \cdot e^{-\sqrt{A}t} \cdot e^{\sqrt{A}t} - 1 \right)^2 \cdot \frac{1}{2A}. \quad (5)$$

Останній вираз дозволяє визначити швидкість обертання ротора  $\omega_r$  змішувача як розв'язок рівняння (5) для заданого значення середнього часу перебування частинок в роторі  $t = \bar{\tau}_2$  та  $z_r = H$ , де  $H$  – висота ротора змішувача.

В результаті проведених розрахунків ми отримаємо діапазони зміни швидкостей обертання приводів дозаторів та ротора змішувача. Визначити динамічний момент  $M_\delta$  можна за допомогою основного рівняння руху електроприводу, яке для змішувального комплексу, що розглядається, можна записати у вигляді:

$$M_\delta = j_\delta \frac{d\omega}{dt} + j_s \frac{d\omega_r}{dt}, \quad (6)$$

де  $j_\delta$  та  $j_s$  – моменти інерції дозаторів та змішувача, відповідно.

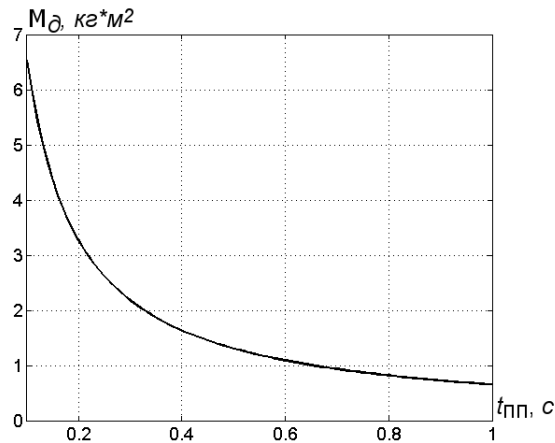


Рис.2. Залежність величини динамічного моменту від часу перехідного процесу

Математична модель, що отримана, надає можливість провести дослідження залежності величини динамічного моменту від тривалості перехідних процесів  $t_{пп}$ , результати якого показані на рис.2. Під час проведення розрахунків розглядався процес зміни об'ємної продуктивності змішувального комплексу від 200 до 250 кг/м<sup>3</sup>. Параметри дозаторів та компонентів суміші:  $h = 0,5$  м,  $\varphi = 40^0$ ,  $R = 0,1$  м,  $\rho = 500$  кг/м<sup>3</sup>,  $j_d = 0,024$  кг/м<sup>2</sup>. Параметри змішувача:  $H = 0,3$  м,  $\alpha = 30^0$ ,  $j_s = 0,02$  кг/м<sup>2</sup>,  $R_0 = 0,052$  м. При проведенні дослідження було прийнято, що швидкість обертання змінюється за лінійним законом.

**Висновки.** Отримані результати підтверджують, що запропонована в роботі математична модель дозволяє визначити параметри режимів роботи змішувального комплексу, які забезпечують задану якість виготовлення суміші, та величину динамічних навантажень в приводах системи. Ці дані можна використати як для вибору електричної машини, так і для завдання мінімально допустимої тривалості перехідних процесів.

#### Список використаних джерел

1. Біла Т.Я., Стаценко В.В. Моделювання автоматизованої системи керування приводом тарілчастого дозатора сипких матеріалів // Вісник КНУТД.–2010.–№6. – С.11-15.
2. Белая Т.Я. Разработка центробежных устройств непрерывного действия для смешения сыпучих материалов. Автореф. дисс. к-та техн.наук. – Киев, 1985.

#### References

1. Bila T.Y., Statsenko V.V. (2010) Modelyuvannya avtomatizovanoj systemy keruvannya privodom tarilchastogo dozatora sipkih materialiv [Modeling of the plate feeder drive automated control system for loose materials]. Kyiv: Visnik KNUTD. No.6. [in Ukrainian].
2. Bila T.Y. (1985). Razrabotka tsentrobedgnih ustroystv neprerivnogo deystviya dlya smesheniya sipuchih materialov [Centrifugal devices development of continuous action for mixing loose materials]. Kyiv: KNUTD [in Russian].

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В СМЕСИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

БЕЛАЯ Т.Я., СТАЦЕНКО В.В.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Создание математической модели на основе анализа переходных процессов в смесительном комплексе непрерывного действия, которая позволит определять величину динамических нагрузок во время изменения режимов работы комплекса.

**Методика.** Используются известные методы математического моделирования, анализа динамических нагрузок в электромеханических системах и численного решения нелинейных и дифференциальных уравнений.

**Результаты.** Определены зависимости между изменением рабочих параметров смесительного комплекса и динамическими нагрузками в его приводе.

**Научная новизна.** Получена математическая модель, которая позволяет определить величину динамических нагрузок в приводе смесительного комплекса с центробежным смесителем непрерывного действия при изменении его объемной производительности.

**Практическая значимость.** Использование предложенных математических моделей, дает возможность сделать обоснованный выбор электрических машин для привода смесительного комплекса.

**Ключевые слова:** *центробежный смеситель, смесительный комплекс, объемная производительность, динамические нагрузки.*

## DYNAMIC LOADS SIMULATION IN MIXING COMPLEXES OF CONTINUOUS ACTION

BILA T.Y., STATSENKO V.V.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Creating a mathematical model based on the transient analysis in a mixing complex of continuous action, which will determine the dynamic loads magnitude during the operating modes changes.

**Methodology.** Known methods of mathematical modeling, dynamic loads analysis in electromechanical systems and nonlinear and differential equations numerical solutions are used.

**Findings.** The dependences between the change in the mixing complex operating parameters and dynamic loads in its drive were determined.

**Originality.** The mathematical model was created, which allows determining the dynamic loads magnitude in a mixing complex drive with centrifugal continuous mixer during its volumetric capacity changing.

**Practical value.** The use of the mathematical models makes it possible to make a reasonable choice of electric motor for the mixing complex.

**Keywords:** *centrifugal mixer, mixing complex, volumetric productivity, dynamic loads.*