

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.2>

УДК 621.316.  
71

НИЧЕГЛОД В. В., БУРМІСТЕНКОВ О. П., СТАЦЕНКО В. В.  
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ З «ПІ» ТА «ПІД» РЕГУЛЯТОРАМИ

**Мета.** Дослідження перехідних процесів в системі керування дозувальним обладнанням безперервної дії для сипких матеріалів з використанням ПІ та ПІД регуляторів та оцінка їх впливу на якість роботи робочих елементів.

**Методика.** Використання програмного середовища Mathlab:Simulink для розробки математичної моделі, проведення експериментальних досліджень та оцінки впливу на робочі органи системи керування дозувальним обладнанням безперервної дії.

**Результати досліджень.** Керування параметрами електродвигуна (характеристиками двигуна) за допомогою типових регуляторів їх порівняння переваг та недоліків. описані в багатьох стандартах і наукових працях. Однак моделювання процесу роботи двигуна в системах дозування значно ускладнюється у зв'язку з інертністю та злипанням сипкого матеріалу що дозується в активній зоні бункера, це може суттєво вплинути на кінцевий результат готової суміші. В роботі розроблено математичну модель для дослідження перехідних процесів в системі керування дозувальним обладнанням безперервної дії з використанням ПІ- та ПІД- регуляторів, проведено експеримент на математичній моделі з використанням ПІ- та ПІД- регуляторів для оцінки їх впливу на систему керування тарілчастим живильником безперервної дії. Результати проведеного моделювання можна використати для прийняття рішень щодо вибору типу регулятора для керування перехідними характеристиками двигуна, при розробці системи керування тарілчастими живильниками в змішувальних комплексах безперервної дії.

**Наукова новизна.** Визначено параметри, що впливають на частоту з якою обертається двигун тарілчастого живильника безперервної дії. Визначено час перехідного процесу роботи двигуна та величину максимального динамічного відхилення. Доведено доцільність використання регуляторів того чи іншого типу для певних режимів роботи живильників.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволять зменшити час перехідного процесу в роботі двигуна живильника та збільшити час напрацювання до відмови всієї системи. Запропоновано конструктивні зміни, які дозволять зменшити величину пульсацій та покращити продуктивність дозувального обладнання безперервної дії.

**Ключові слова:** сипкі матеріали; система керування; математична модель; дозування; перехідний процес; диференціальне рівняння; регулятори; ПІ- та ПІД-регулятори; живильник; перехідна характеристика; Mathlab:Simulink.

**Вступ.** Сипкі матеріали використовуються практично у всіх галузях промисловості та в сільському господарстві. Процес змішування є однією з ключових операцій багатьох технологічних процесів. Змішування завжди супроводжується процесом дозування компонентів, тому ці два процеси доцільно розглядати разом. Інтенсивність процесу змішування і якість готової суміші істотно залежать від фізико-механічних властивостей компонентів і характеру їх руху в робочому середовищі змішувача. Таким чином, при змішуванні необхідно також розглядати дослідження фізико-механічних властивостей сипких матеріалів і їх рух в робочому середовищі змішувача.

ПІ- та ПІД-регулятори досить широко використовуються для роботи на стійких та нейтральних об'єктах, коли статичне відхилення має дорівнювати нулю. Показники якості перехідного процесу покращують, збільшуючи коефіцієнт підсилення регулятора.

Актуальність дослідження полягає в інтегруванні регуляторів такого типу в систему керування дозувального обладнання без перервної дії, а саме в вузли де використовуються

двигуни. Це дозволить зменшити кількість пульсацій в системі дозування та покращити якість перехідних процесів за рахунок якісного зворотного зв'язку, який позитивно вплине кінцеву якість продукту.

**Постановка завдання.** Дослідження перехідних процесів в системі керування дозувальним обладнанням безперервної дії з використанням ПІ та ПІД регуляторів та оцінити їх вплив на якість роботи робочих елементів.

**Результати досліджень.** Для проведення досліджень була обрана структурна схема рис. 1, яка містить: бункер – тарілчастий живильник – формувач та елементи системи керування.

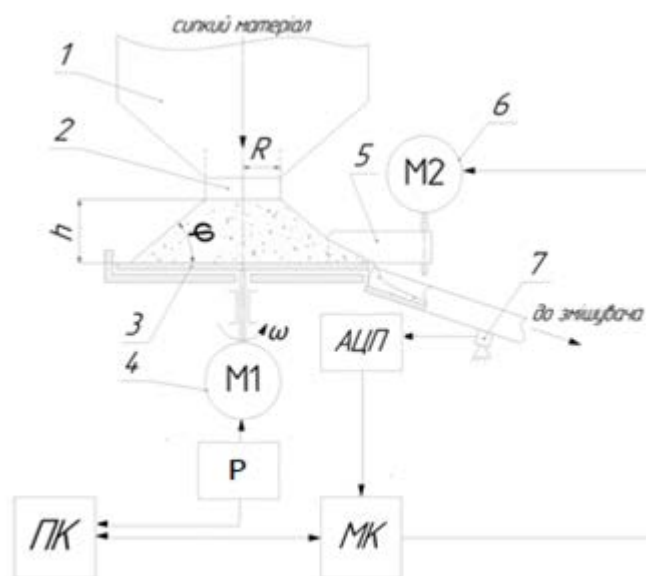


Рис. 1. Структурна схема системи керування тарілчастим живильником безперервної дії

Тарілчастий живильник складається з бункера (1) в який завантажується сипкий матеріал, далі проходячи через патрубок (2) сипкий матеріал потрапляє на тарель (3) що обертається за допомогою двигуна (4) та форма утримуючим конусом. Під час обертання тарелі частину сипкого матеріалу зрізає ніж (5) з сервоприводом (6) і перенаправляє його до формо утворювача з тензодатчиком (7), сигнал якого використовується в якості зворотного зв'язку. На продуктивність живильника впливає швидкість з якою обертається тарель а також кут ножа який відводить певний сектор сипкого матеріалу з тарелі на формувач потоку.

На сьогоднішній день широке застосування в промисловості отримали ПІ та ПІД-регулятори. Тож метою даної роботи є оцінка впливу регуляторів та доцільність їх використання в даній системі керування дозувальним обладнанням.

На рис. 2 представлена структурна схема типового пропорційно – інтегрального (ПІ) регулятора, який переміщає виконавчий орган відповідно до рівняння 1.

$$Y(t) = K_p \cdot e + \frac{1}{T_i} \int e dt \quad (1)$$

Регулятори, які працюють за даним законом, виконують переміщення регулюючого органу пропорційно сумі відхилення та інтеграла від відхилення регульованої величини, тобто здійснюють П- та І- вплив.

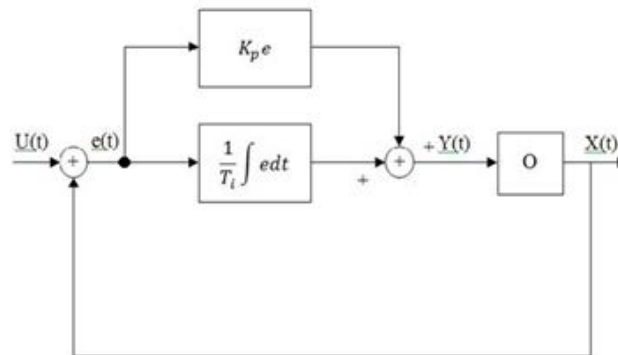


Рис. 2. Диференціальне рівняння та математична модель ПІ-регулятора

Структурну схему пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора зображено на рис. 3.

$$Y(t) = K_p e + \frac{1}{T_i} \int edt + T_d \frac{de}{dt} \quad (2)$$

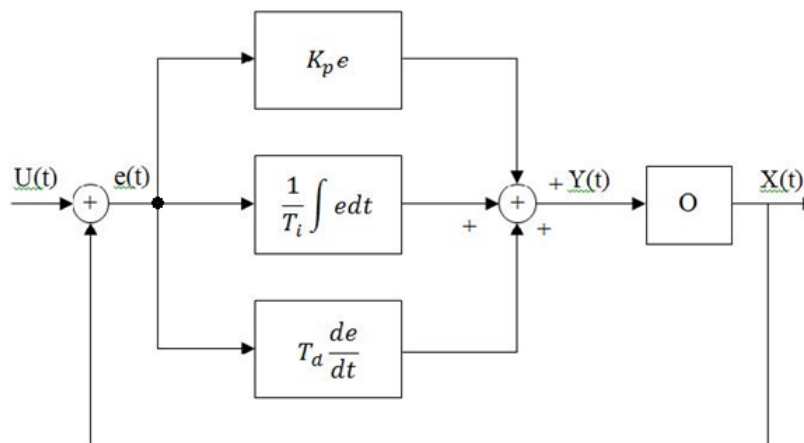


Рис. 3. Диференціальне рівняння та математична модель ПІД-регулятора

Пропорційно-інтегральний-диференціальний ПІД-регулятор формує керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перший з яких пропорційний різниці вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку (П) сигнал неузгодженості, другий – інтеграл (І) сигналу неузгодженості, третя – (Д) похідна сигналу неузгодженості.

В якості об'єкта керування та дослідження в системі виступає двигун постійного струму. Переваги використання такого двигуна:

- 1) Простота будови та управління.
- 2) Практично лінійні механічна і регульовальна характеристики двигуна.
- 3) Легко регулювати частоту обертання
- 4) Хороші пускові властивості (великий пусковий момент).

Для проведення досліджень використано двигун постійного струму, типову математична модель[4], до якої додано регулятор, та диференціальне рівняння двигуна зображені на рис. 4. ПІ та ПІД регулятори використані для керування продуктивністю та кутовою швидкістю двигуна.

$$w(p) = (\omega_{зд}(p) \cdot \left( -(P + U_{зд}) \left( \left( \left( \frac{1}{T_{я \cdot p + 1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left( \frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \cdot K_{ем} \right) + \left( \left( \frac{1}{T_{я \cdot p + 1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left( \frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \right) \right) \quad (3)$$

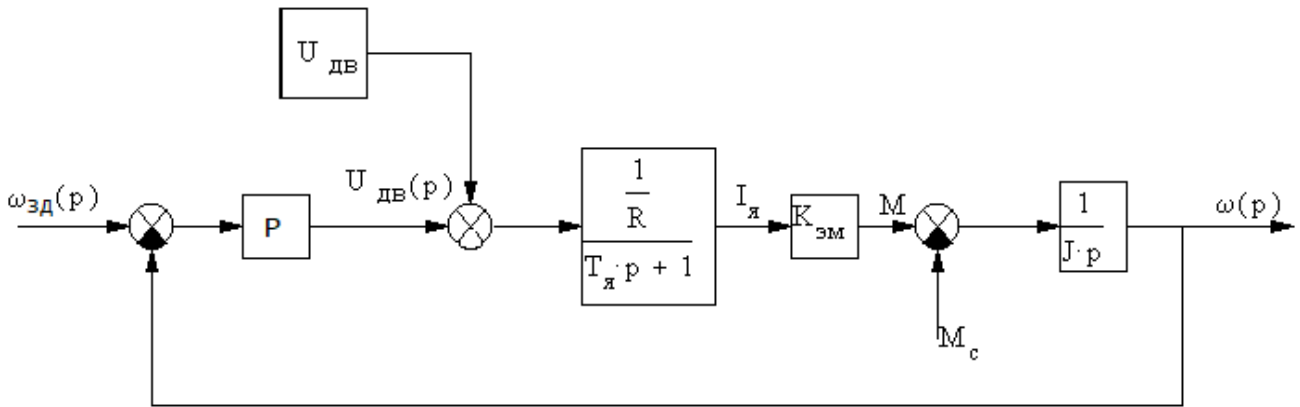


Рис. 4. Диференціальне рівняння та математична модель двигуна постійного струму

Вузол керування продуктивністю живильника був заміщений ПІ-регулятором для спрощення експерименту. В ньому пропорційна та інтегральна складові виступають в ролі мікроконтролера, в якому задана відсоткова величина продуктивності живильника, та сервоприводу. Тензодатчик в даній схемі виступає в якості сигналу для зворотного зв'язку. На рис. 5 зображено математичну модель вузла керування продуктивністю.

$$P(w) = K_p \cdot e + \frac{1}{T_i} \int edt \quad (4)$$

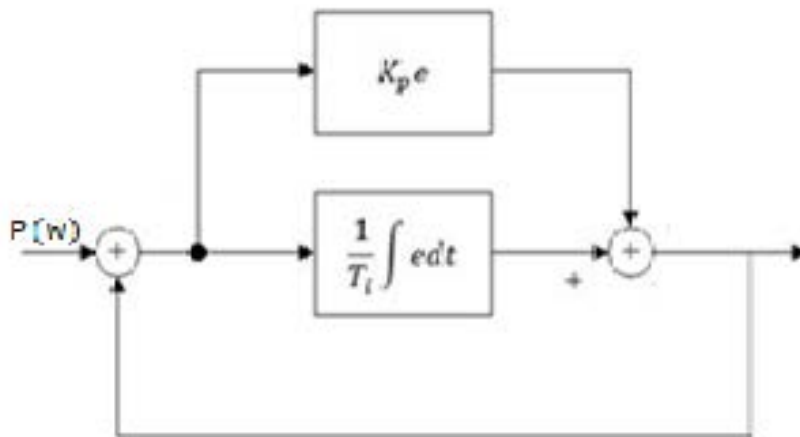


Рис. 5. Матиматична модель вузла керування продуктивністю живильника

На основі приведених раніше математичних моделей була зібрана модель в середовищі Simulunk рис. 6. До її складу входять математичні моделі: ПІ та ПІД-регуляторів; двигуна постійного струму; вузла керування продуктивністю живильника.

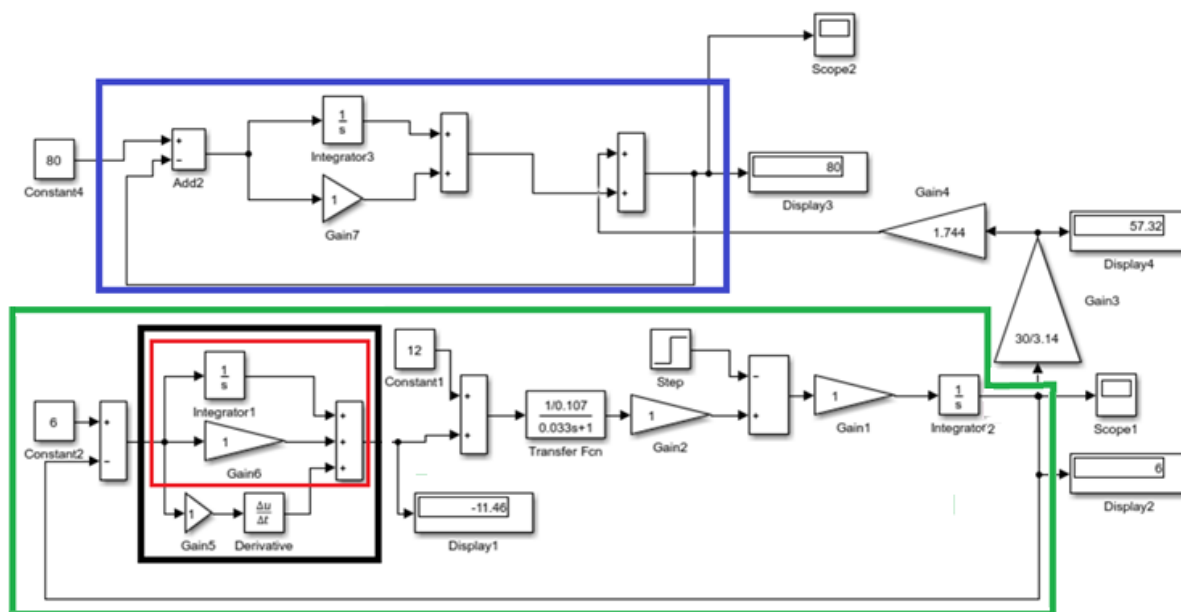


Рис. 6. Математична модель системи керування тарілчастим живильником безперервної дії в системі Simulink

Диференціальне рівняння загального виду складається з рівняння ПІД-регулятора для керування двигуном, рівняння самого двигуна та рівняння ПІ- регулятора який відповідає за продуктивність системи.

$$\begin{aligned}
 P_{вих}(p) = & (\omega_{зд}(p) \cdot \left( - \left( (K_{pe} + \frac{1}{T_e} \cdot \int ed + T_d \cdot \frac{de}{dt}) + U_{зд} \right) \left( \left( \left( \frac{\frac{1}{R}}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left( \frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \cdot K_{ем} \right) + \left( \left( \frac{\frac{1}{R}}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. M_c \right) \times \left( \frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \right) + K_1 + K_2) + ((P_{зад} + (K_{pe} + \frac{1}{T_i} \int edt) - (\omega_{зд}(p) \cdot \left( - \left( (K_{pe} + \frac{1}{T_e} \cdot \int ed + T_d \cdot \frac{de}{dt}) + \right. \right. \\
 & \left. \left. U_{зд} \right) \left( \left( \left( \frac{\frac{1}{R}}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \left( \frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \times K_{ем} \right) + \left( \left( \frac{\frac{1}{R}}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left( \frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \right) + K_1 + K_2) + (K_{pe} + 1/T_i \int edt)) \quad (4)
 \end{aligned}$$

де  $\omega_{зд}$  – задана кутова швидкість;

$K_{pe}$  – пропорційна складова регулятора;

$\frac{1}{T_e} \cdot \int ed$  – інтегральна складова регулятора;

$T_d \cdot \frac{de}{dt}$  – диференціальна складова регулятора;

$U_{зд}$  – задана напруга двигуна;

$\frac{1}{T_{я \cdot p+1}}$  – складова рівняння яка відповідає за загальний опір двигуна;

$K_{ем}$  – номінальний магнітний потік;

$M_c$  – статичний момент опору на валу двигуна;

$\left( \frac{1}{J \cdot p} \right)$  – інтеграл для отримання кутової швидкості;

$K_1, K_2$  – коефіцієнти трансформації сигналу.

Модель Simulink складається з моделі двигуна який знаходиться в області зеленого кольору, до нього входить блок Constant1 який відображає робочу напругу двигуна, блок

Transfer fcn відповідає за моделювання струму якоря двигуна а блок Integrator використано для отримання на виході кутової швидкості яка буде виступати в якості зворотного зв'язку для регуляторів. Частота обертів двигуна контролюється одним з двох регуляторів ПІ-регулятором який виділено червоним квадратом який складається з блоків: Integrator (інтегральна складова); Gain 6(пропорційна складова) та ПД-регулятором який в своїй структурі має додаткову диференціальну ланку яка складається з двох послідовно ввімкнених блоків Gain та Derivative, його виділено чорним квадратом на рис. 3. На вхід регуляторів подається різниця між заданою кутовою швидкістю в блоці Constant 2 та кутовою швидкістю на виході з двигуна.

В блоці Display 2 зображено поточну величину кутової швидкості . В Score 1 можна бачити криві перехідного процесу старту двигуна .Блок Step зображує величину навантаження на двигун яке виникає коли кількість сипкого матеріалу збільшується на тарелі.

Верхня частина моделі яка знаходиться в області синього прямокутника відповідає за продуктивність живильника за допомогою блоку Constant 4 у відсотках. Вона складається з ПІ-регулятора, зворотній зв'язок якого здійснюється за допомогою різниці між сигналом з тензодатчика та заданою величиною продуктивності, величина якого буде залежати від кількості сипкого матеріалу який потрапляє з тарелі живильника на формувач потоку та заданим сигналом з пристрою керування. Блоки Display 3 та 4 відображають поточні значення продуктивності живильника у відсотках ,та кількості обертів двигуна за хвилину відповідно. Блок Score 2 криву потоку сипкого матеріалу у відсотках.

Для визначення величини впливу регуляторів на систему проведено експериментальне дослідження на моделі в середовищі Simulink.Першою частиною експерименту є дослідження впливу регуляторів на криву перехідної характеристики при роботі системи в холостому режимі тобто без навантаження . Наступним кроком є фіксування часу перехідного процесу і подачі додаткового навантаження на вал , в стенді цим навантаженням виступає сипкий матеріал. Дослід повторювався для двох заданих регуляторів. Результати досліджень зображено на рис. 7.

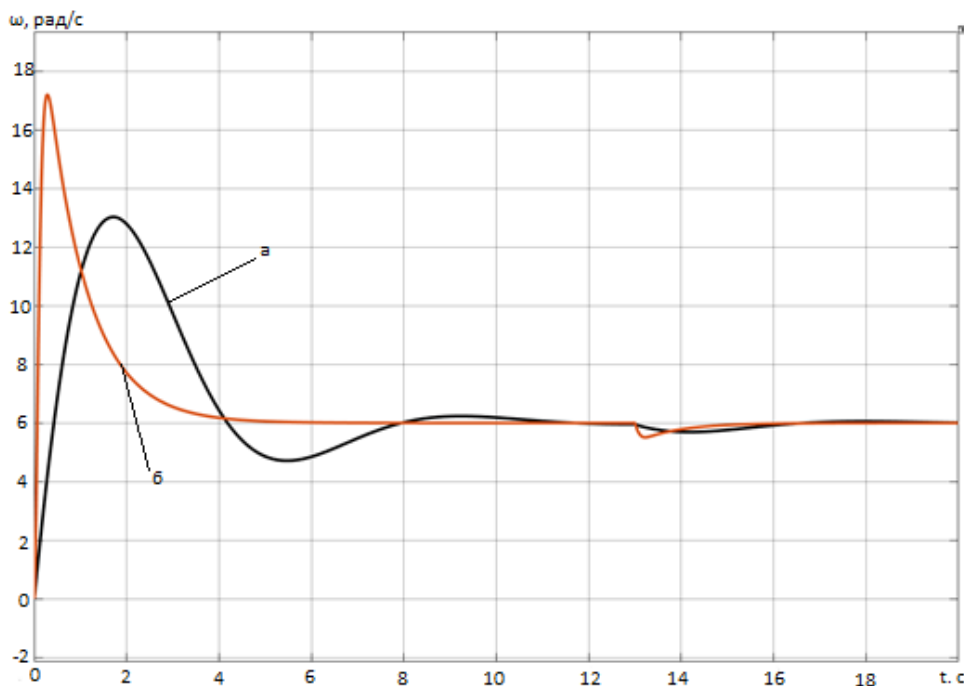


Рис. 7. Перехідна характеристика кутової швидкості двигуна:  
а) Крива перехідного процесу з використанням ПД-регулятора;  
б) Крива перехідного процесу з використанням ПІ-регулятора

З отриманих кривих можна оцінити як диференціальна ланка впливає на перехідну характеристику ПІД-регулятора, максимальне відхилення від заданого значення менше ніж при використанні ПІ-регулятора але час перехідного процесу більше майже в два рази. Це пов'язано з тим що ідеальну диференціюючу ланку реалізувати неможливо, оскільки величина сплеску вихідної величини при подачі на вхід одиничного ступінчастого впливу завжди обмежена. На практиці використовують реальні диференціюючі ланки, що здійснюють наближене диференціювання вхідного сигналу.

При використанні ПІ-регулятора

Час перехідного процесу при старті двигуна  $T_{пер} = 6$  с.

Максимальне динамічне відхилення від заданого значення  $\omega_{від} = 17$  рад/с.

Час перехідного процесу експерименту  $t_{екс} = 2.5$  с.

Максимальне відхилення від заданого значення  $\omega_{екс} = 0.48$  рад/с.

При використанні ПІД-регулятора

Час перехідного процесу при старті двигуна  $T_{пер} = 11$  с.

Максимальне динамічне відхилення від заданого значення  $\omega_{від} = 13$  рад/с.

Час перехідного процесу експерименту  $t_{екс} = 7$  с.

Максимальне відхилення від заданого значення  $\omega_{екс} = 0.31$  рад/с.

**Висновок.** При використанні ПІ-регулятора час перехідного процесу пуску та зміни динамічного моменту інерції на валу менше в два рази. Це означає що двигун швидше перейде в заданий режим роботи при використанні ПІ-регулятора. Кращий лінійно-інтегральний критерій якості кривої що означає менше пульсацій сипкого матеріалу на виході з живильника.

В свою чергу перевагами використання ПІД-регулятора є менше динамічне відхилення та більш плавна крива перехідного процесу, що всвою чергу збільшує час напрацювання до відмови я двигуна так і усієї системи вцілому.

## References

1. Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya. (2017). Avtomatyzovani kompleksi bezperervnoho pryhotuvannia kompozytsii syvkykh materialiv: monohrafiia [Automated complexes of continuous preparation of compositions of bulk materials: monograph]. Kyiv: KNUTD. 220 p. [in Ukrainian].
2. Globin, A. N., Krasnov, I. N. (2016). Dozatory: monografiia [Dispensers: monograph]. Moscow-Berlin: Direkt-Media. 384 p. [in Russian].
3. Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2010). Modeliuvannia avtomatyzovanoi systemy keruvannia pryvodom tarilchastoho dozatora syvkykh materialiv [Modeling of the automated control system of the drive of the plate batcher of loose materials]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu = Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design*, № 6, P. 11–15 [in Ukrainian].
4. Postroenie matematicheskoi modeli dvigatel'ia postoiannogo toka i systemy testirovaniia [Building a mathematical model of a DC motor and testing system]. URL: <https://studfile.net/preview/6365744/page:11> [in Russian].
5. Dushin, C. E., Zotov, N. S., Imaev, D. X. et al. (2003). Teoriia avtomaticheskogo upravleniia: ucheb. dlia vuzov [Automatic control theory: textbook. for universities]. Ed.

## Література

1. Стаценко В. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів: монографія. Київ: КНУТД, 2017. 220 с.
2. Глобин А. Н., Краснов И. Н. Дозаторы: монографія. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 384 с.
3. Біла Т. Я., Стаценко В. В. Моделювання автоматизованої системи керування приводом тарілчастого дозатора сипких матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2010. № 6. С. 11–15.
4. Построение математической модели двигателя постоянного тока и системы тестирования. URL: <https://studfile.net/preview/6365744/page:11>.
5. Душин С. Е., Зотов Н. С., Имаев Д. Х. и др. Теория автоматического управления:

- V. B. Iakovlev. Moscow: Vysshaya shkola. 567 p. [in Russian].
6. Belaia, T. Ia. (1985). Razrabotka tcentrobeznykh ustroystv nepreryvnogo deistviia dlia smesheniia sypuchikh materialov: avtoref. diss. k-ta tekhn. nauk [Development of continuous centrifugal devices for mixing bulk materials: author. diss. to-that tech. sciences]. Kyiv [in Russian].
7. Bakin, I. A., Sablinskii, A. I., Belousov, G. N. (2003). Kompleksnoe modelirovanie protsessov nepreryvnogo smeseprigotovleniia [Integrated modeling of continuous mixing processes]. *Tekhnologiia i tekhnika pishchevykh proizvodstv: sbornik nauchnykh rabot* [Technology and technology of food production: collection of scientific papers]. Kemerovo: KemTIPP. P. 137–141 [in Russian].
8. Burmistenkov, O. P., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia roboty systemy keruvannia produktyvnistiu tarilchastoho zhyvylnyka bezpererвної dii [Research of work of control system of productivity of a plate feeder of continuous action]. *VIII Ukrainko-Polski naukovy dialogy* [VIII Ukrainian-Polish scientific dialogues]: materialy mizhnar. konf. (16–19 zhovtnia 2019 r.). Khmelnytskyi; Kamianets-Podilskyi [in Ukrainian].
9. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2017). Osnovni napriamky avtomatyzatsii zmishuvalnykh kompleksiv bezpererвної dii dlia sypkykhmaterialiv [The main directions of automation of mixing complexes of continuous action for bulk materials]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences*, № 6, P. 28–31 [in Ukrainian].
10. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia enerhoefektyvnosti obladnannia dlia zmishuvannia sypkykh materialiv [Study of energy efficiency of equipment for mixing bulk materials]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Technical sciences*. 2019. № 4. S. 42–48 [in Ukrainian].
11. Vidineev, Iu. D. (1988). Sovremennye metody otcenki kachestva nepreryvnogo dozirovaniia [Modern methods for assessing the quality of continuous dosing]. *Vsesoiuz. khim. obshch-va im. D. I. Mendeleeva = All-Union. chem. Society for them. D. I. Mendeleeva*, Vol. 33, № 4, P. 397–404 [in Russian].
12. Havva, O. M., Derenivska, A. V. (2014). Liniini vahovi dozuvalni prystroi dyskretnoi dii dlia sypkoi produktsii (obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv) [Linear weighing dosing devices of discrete action for bulk products (substantiation of rational parameters)]. *Upakovka = Packaging*, № 1, P. 30–34 [in Ukrainian].
- учеб. для вузов. Под ред. В. Б. Яковлева. М.: Высшая школа, 2003. 567 с.
6. Белая Т. Я. Разработка центробежных устройств непрерывного действия для смешения сыпучих материалов: автореф. дисс. к-та техн. наук. Киев, 1985.
7. Бакин И. А., Саблинский А. И., Белоусов Г. Н. Комплексное моделирование процессов непрерывного смешеприготовления. *Технология и техника пищевых производств: сборник научных работ*. Кемерово: КемТИПП, 2003. С. 137–141.
8. Бурмістенков О. П., Стаценко В. В. Дослідження роботи системи керування продуктивністю тарілчастого живильника безперервної дії. *VIII Українсько-Польські наукові діалоги: матеріали міжнар. конф.* (16–19 жовтня 2019 р.). Хмельницький; Кам'янець-Подільський, 2019.
9. Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Основні напрямки автоматизації змішувальних комплексів безперервної дії для сипких матеріалів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2017. № 6. С. 28–31.
10. Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Дослідження енергоефективності обладнання для змішування сипких матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки*. 2019. № 4. С. 42–48.
11. Видинеев Ю. Д. Современные методы оценки качества непрерывного дозирования. *Всесоюз. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева*. 1988. Т. 33, № 4. С. 397–404.
12. Гавва О. М., Деренівська А. В. Лінійні вагові дозувальні пристрої дискретної дії для сипкої продукції (обґрунтування раціональних параметрів). *Упаковка*. 2014. № 1. С. 30–34.

**NICHEGLOD VOLODYMYR**  
Graduate Student  
Department of Applied  
Mechanics and Machines  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5252-5341>  
E-mail: [nicheglod.vv@knuutd.edu.ua](mailto:nicheglod.vv@knuutd.edu.ua)

**BURMISTENKOV OLEKSANDR**  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department of Computer Engineering  
and Electromechanics  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0001-4229>  
Scopus Author ID: 57210341826  
Researcher ID: T-5180-2018  
E-mail: [burmistenkov.op@knuutd.edu.ua](mailto:burmistenkov.op@knuutd.edu.ua)

**STATSENKO VOLODYMYR**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor  
Department of Computer Engineering  
and Electromechanics  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>  
Scopus Author ID: 57210344190  
Researcher ID: C-3646-2017  
E-mail: [statsenko.v@knuutd.edu.ua](mailto:statsenko.v@knuutd.edu.ua)

## **НИЧЕГЛОД В. В., БУРМИСТЕНКОВ О. П., СТАЦЕНКО В. В.**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С «ПИ» И «ПИД» РЕГУЛЯТОРАМИ**

**Цель.** Исследование переходных процессов в системе управления дозировочным оборудованием непрерывного действия для сыпучих материалов с использованием ПИ и ПИД регуляторов и оценка их влияния на качество работы рабочих элементов.

**Методика.** Использование программной среды Mathlab:Simulink для разработки математической модели, проведения экспериментальных исследований и оценки влияния на рабочие органы системы управления дозировочным оборудованием непрерывного действия.

**Результаты исследований.** Управление параметрами электродвигателя (характеристиками двигателя) с помощью типовых регуляторов их сравнения преимуществ и недостатков. описаны во многих стандартах и научных работах. Однако моделирование процесса работы двигателя в системах дозирования значительно усложняется в связи с инертностью и слипанием сыпучего материала дозируемого в активной зоне бункера, это может существенно повлиять на конечный результат готовой смеси. В работе разработана математическая модель для исследования переходных процессов в системе управления дозировочным оборудованием непрерывного действия с использованием ПИ- и ПИД-регуляторов, проведен эксперимент на математической модели с использованием ПИ- и ПИД-регуляторов для оценки их влияния на систему управления тарелчатым питателем непрерывного действия. Результаты проведенного моделирования можно использовать для принятия решений по выбору типа регулятора для управление переходными характеристиками двигателя, при разработке системы управления тарелчатыми питателями в смесительных комплексах непрерывного действия.

**Научная новизна.** Определены параметры, влияющие на частоту, с которой вращается двигатель тарелочного питателя непрерывного действия. Определены время переходного процесса работы двигателя и величина максимального динамического отклонения. Доказана целесообразность использования регуляторов того или иного типа для некоторых режимов работы питателей.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволят снизить время переходного процесса в работе двигателя питателя и увеличить время наработки до отказа всей системы.

Предложены конструктивные изменения, позволяющие уменьшить величину пульсаций и улучшить производительность дозирочного оборудования непрерывного действия.

**Ключевые слова:** сыпучие материалы; система управления; математическая модель; дозировка; переходный процесс; дифференциальное уравнение; регуляторы; ПИ- и ПОД-регуляторы; питатель; переходная характеристика; Matlab: Simulink.

**NICHEGLOD V. V., BURMISTENKOV O. P., STATSENKO V. V.**

Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

**RESEARCH OF OPERATIONS OF CONTROL SYSTEMS OF CONTINUOUS ACTIVE DOSING EQUIPMENT WITH "PI" AND "PID" REGULATORS**

**Purpose.** Investigation of transients in the control system of continuous dosing equipment for bulk materials using PI and PID regulators and evaluation of their impact on the quality of work elements.

**Method.** Using the Matlab: Simulink software environment to develop a mathematical model, conduct experimental research and assess the impact on the working bodies of the control system of continuous dosing equipment.

**Research results.** Control of motor parameters (motor characteristics) by means of standard regulators of their comparison of advantages and disadvantages. described in many standards and scientific papers. However, modeling the engine operation process in dosing systems is significantly complicated due to the inertness and adhesion of bulk material dosed in the core of the hopper, it can significantly affect the final result of the finished mixture. continuous operation equipment using PI and PID controllers, an experiment was performed on a mathematical model using PI and PID controllers to assess their impact on the control system of the plate feeder continuous action. The results of the simulation can be used to decide on the type of controller control of transient characteristics of the engine, at development of control system of plate feeders in mixing complexes of continuous action.

**Scientific novelty.** Scientific novelty. The parameters influencing the frequency with which the motor of the plate feeder of continuous action rotates are determined. The time of the transient process of engine operation and the value of the maximum dynamic deviation are determined. The expediency of using regulators of one or another type for certain modes of operation of feeders is proved.

**Practical significance.** The obtained results will reduce the transient time in the operation of the feeder motor and increase the operating time until the failure of the entire system. Design changes are proposed that will reduce the amount of ripple and improve the performance of continuous dosing equipment.

**Keywords:** bulk materials; control system; mathematical model; dosing; transient process; differential equation; regulators; PI and PID regulators; feeder; transient characteristic; Matlab: Simulink.