

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.316.71

В. В. Кухарчук, д-р техн. наук, проф.;

В. І. Родінков, канд. техн. наук, доц.;

А. М. Коваль

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ПРИВОДА ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянуто динамічні режими роботи системи дводвигунового привода похилого дифузійного апарата за допомогою створеної імітаційної моделі. Показано метод визначення впливу різних чинників на динамічні властивості системи привода.

Вступ

Дослідження динамічних властивостей складних систем автоматичного керування та характеру перехідних процесів, що відбуваються в них у разі дії різних збурень, є досить складним і водночас актуальним завданням.

Зокрема, така задача дуже гостро постає в процесі дослідження динамічних режимів роботи системи дводвигунового привода постійного струму похилого дифузійного апарата (ПДА), пов'язаних з виникненням незгасальних електромеханічних коливань, які детально описані в роботі [1]. Такі процеси по своїй суті є аварійним режимом роботи системи, що призводить до незворотних наслідків та спричиняє значні збитки. Постає актуальне завдання дослідження динамічних характеристик в таких режимах за умови зміни регулюючих параметрів та параметрів збурення системи, що в свою чергу, вимагає імітаційного моделювання об'єкта дослідження, як найзручнішого методу для досягнення поставленої мети: визначення динамічних властивостей системи привода дифузійного апарата за умови зміни керувальної дії та виникнення непередбачуваних збурень.

1. Короткий опис системи привода ПДА

Структурну схему ПДА зображено на рис. 1.

Дифузійний апарат похилого типу, що використовується в цукровій галузі для екстракції цукру з бурякової стружки і є ланкою безперервного виробництва, являє собою коритоподібний корпус, який охоплює шнековали, що транспортують бурякову стружку (рис. 1).

Шнеки приводяться в рух через редуктори P_H та P_B двома двигунами постійного струму незалежного збудження. З метою забезпечення на валах двигунів однакових механічних моментів їх роторні обмотки з'єднані послідовно й під'єднані до керованого випрямляча, який є джерелом регульованої напруги. Система автоматичного керування містить від'ємний зворотний зв'язок за протие. р. с. двигуна та струмовий контур, які забезпечують стабільний рівень швидкості обертання шнеків за різної завантаженості дифузійного апарата, а також слугують захистом від перевантажень та коротких замикань в системі привода. Сигнали зворотних зв'язків отримуються сенсорами напруги та струму.

Контроль і оцінка експлуатаційних характеристик привода здійснюється за допомогою приладів магнітоелектричної системи, які вимірюють напругу та струм двигунів.

Детальніший опис цієї системи привода та технологічні процеси, що відбуваються в ПДА, описані в [2].

Математичний опис такої системи був розроблений в роботах [3, 4] та наведений на рис. 2, який представлений у вигляді структурної схеми передатних функцій окремих ланок з усіма зв'язками між ними. Як видно з отриманої структурної схеми, ця система має складно замкнутий характер, тобто є системою високого порядку, яку можна умовно поділити на силову частину 1 та систему керування 2.

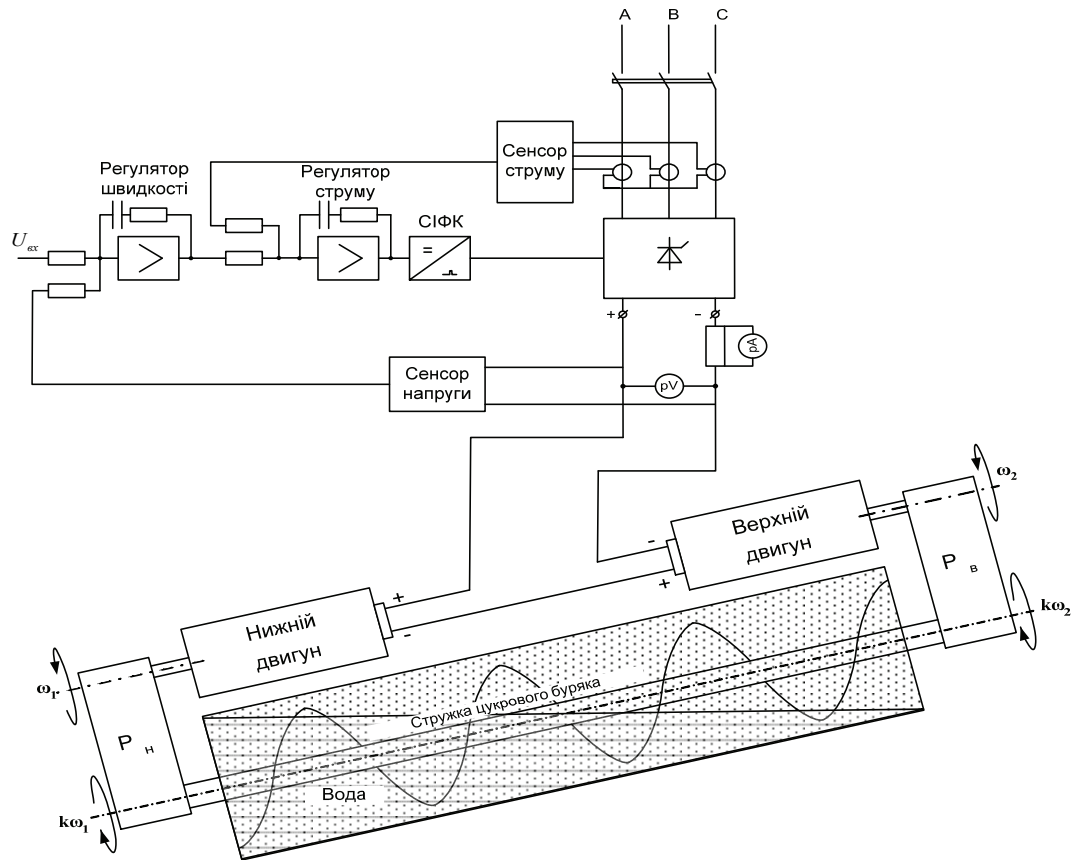


Рис. 1. Структурна схема ПДА та його системи привода

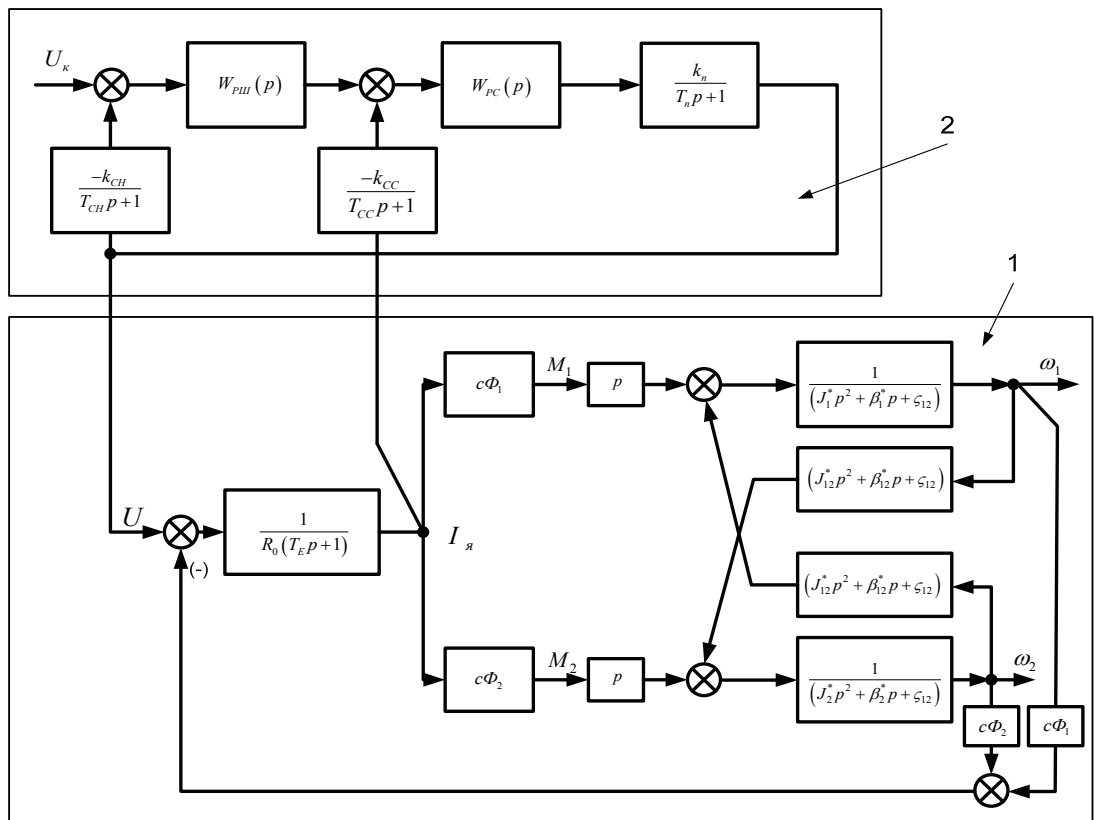


Рис. 2. Математичний опис системи привода ПДА

На рис. 2: ω_1 та ω_2 — швидкості обертання нижнього та верхнього двигунів;

$$\begin{cases} J_1^* = J_1 + \alpha \frac{2}{3} J_{12} \cdot k^2; & J_2^* = J_2 + (1 - \alpha) \frac{2}{3} J_{12} \cdot k^2; & J_{12}^* = -\frac{1}{6} J_{12} \cdot k^2; \\ \beta_1^* = \beta_1 + \gamma \frac{2}{3} \beta_{12} \cdot k^2; & \beta_2^* = \beta_2 + (1 - \gamma) \frac{2}{3} \beta_{12} \cdot k^2; & \beta_{12}^* = -\frac{1}{6} \beta_{12} \cdot k^2 \end{cases} \quad \text{— еквівалентні моменти інерції}$$

та еквівалентні коефіцієнти розсіювання, а також J_1 , J_2 , J_{12} — відповідно, моменти інерції роторів нижнього та верхнього двигунів та завантажених шнеків; β_1 , β_2 , β_{12} — коефіцієнти розсіювання енергії в обох двигунах та шнеках; ζ_{12} — коефіцієнт пружності шнеко валу; α , γ — коефіцієнти, які враховують нерівномірне завантаження шнеків; M_1 та M_2 — механічні моменти нижнього і верхнього двигуна, відповідно; $c\Phi_1$, $c\Phi_2$, R_0 , T_E — конструкційні параметри двигунів; U — випрямлена напруга тиристорного перетворювача (ТП); T_n — стала часу; k_n — статичний коефіцієнт передачі ТП; k_{CH} та k_{CC} — коефіцієнти передачі, а T_{CH} та T_{CC} — сталі часу сенсорів напруги та струму, відповідно; $W_{рш}$, $W_{рс}$ — передатні функції регуляторів швидкості та струму, відповідно.

Знаходження передаточних характеристик таких систем аналітичним способом та їх аналіз за допомогою класичних методів унеможлиблюється через її високий порядок та велику кількість коефіцієнтів передачі, сталих часу та інших параметрів системи, що приводить до дуже складних розрахунків та громіздких виразів, а також через наявність декількох ланок, нелінійностями яких в досліджуваних режимах неможна знехтувати [5, 6].

2. Створення імітаційної моделі системи привода дифузійного апарата

Зручнішими для розв'язання поставлених задач виглядають чисельні методи, за допомогою яких можна розв'язати подану математичну модель системи та отримати реакції відповідних величин на збурення різного характеру. Такі методи можна реалізувати, використовуючи ПК та прикладні пакети математичних програм, зокрема Matlab. Цей пакет містить засіб імітаційного моделювання динамічних систем Simulink, який дозволяє досліджувати складні системи автоматичного керування.

Для спрощення досліджень системи в динамічному режимі введемо певні припущення:

1. Електричні та механічні параметри двигунів приймаються однаковими, тобто $c\Phi_1 = c\Phi_2$; $R_{я1} = R_{я2}$; $T_{E1} = T_{E2}$; $J_1 = J_2$.
2. Найбільший інтерес викликає робота системи на межі номінального режиму. Враховуючи, що під час роботи в таких режимах момент інерції двигуна та коефіцієнт розсіювання енергії в двигуні значно менший, ніж зведений момент інерції завантажених шнеків та зведений коефіцієнт розсіювання енергії в ПДА, тобто $J_1 \approx J_2 \ll J_{12} \cdot k^2$; $\beta_1 \approx \beta_2 \ll \beta_{12} \cdot k^2$, тому величинами $J_1 \approx J_2$ та $\beta_1 \approx \beta_2$ можна знехтувати.

3. Оскільки величини і моменту інерції J_{12} , і коефіцієнт тертя шнеків β_{12} можна вважати пропорційними масі завантаженої сокостружкової суміші, то коефіцієнти нерівномірності завантаження α та γ будемо вважати рівними: $\alpha = \gamma$.

4. Аналізуючи пружні явища, що виникають в шнековалах, будемо враховувати внутрішнє тертя, яке виникає в пружних тілах під час деформації, а отже, момент, що спричиняє деформацію пропорційний не лише куту закручення, але й швидкості, з якою закручується вал, тобто різниці швидкості обертання нижнього та верхнього двигунів. Враховуючи це

$$\zeta_{12} = \zeta_{12_} + \chi \cdot \Delta\omega,$$

де $\zeta_{12_}$ — постійна складова коефіцієнта пружності; $\Delta\omega$ — різниця швидкості обертання верхнього й нижнього кінців вала; χ — коефіцієнт внутрішнього тертя в пружному тілі [5].

Властивості лінійної системи в перехідних режимах визначаються виключно від параметрів системи і не залежать від величини зовнішнього впливу. Зміна величини зовнішнього впливу викликає в системі лише пропорційну зміну вихідної величини, не впливаючи на характер перехідного процесу.

Досліджувана система має декілька нелінійних ланок, чим не можна нехтувати через їх значний вплив на характер перехідних процесів. В такому випадку властивості системи в динамічному

режимі залежать не лише від параметрів системи, а й від величини зовнішніх дій.

Враховуючи усі припущення, була розроблена імітаційна модель для поширеного на виробництві привода дифузійного апарата, який виконаний на основі тиристорного перетворювача ТЕ4-200-460-Н2-2УХЛ4 та приводиться в рух двома двигунами постійного струму П91У4. Електро-механічні процеси, що відбуваються в цьому приводі, описуються математичними рівняннями, наведеними вище.

На рис. 3 зображено імітаційну модель в пакеті прикладних програм Simulink.

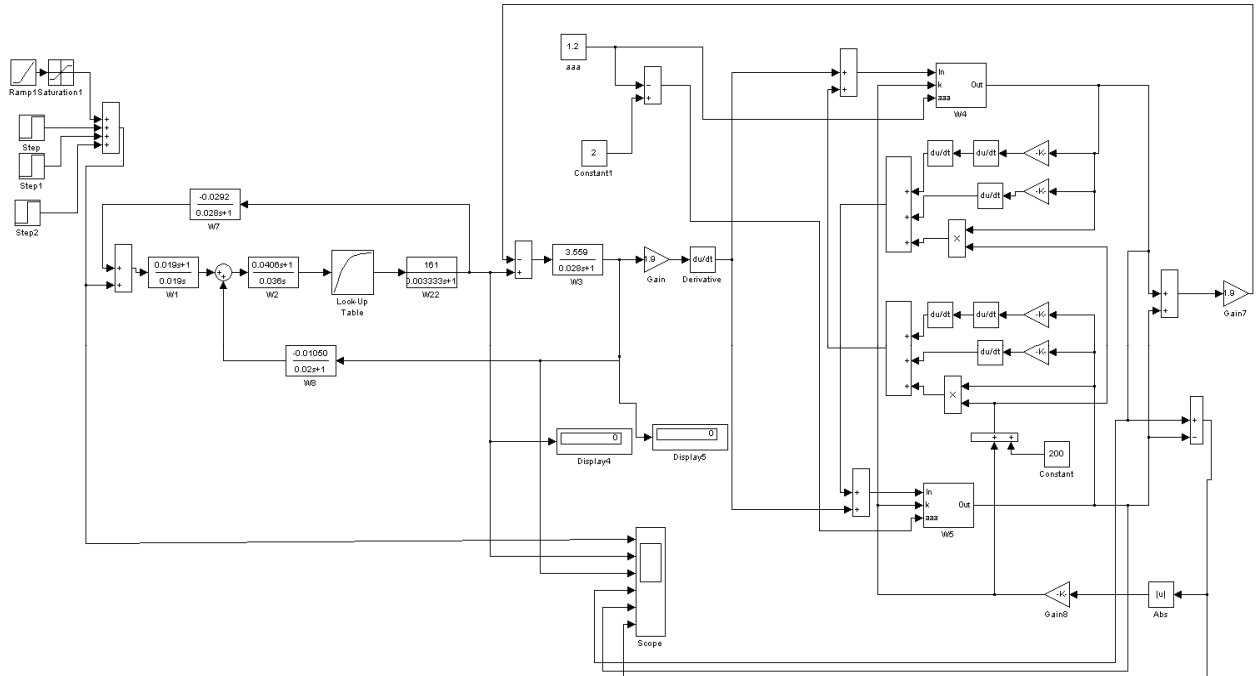


Рис. 3. Імітаційна модель в Simulink

Ця модель містить усі передаточні ланки структурної схеми системи привода дифузійного апарата, зображеної на рис. 2, змодельовані за допомогою внутрішніх функцій Simulink та спеціально розроблених підсистем, що дозволяють отримати реакцію будь-якої змінної від дії певного збурення. Візуалізація отриманих результатів виконується за допомогою спеціального блока осцилографа.

3. Дослідження динамічних режимів системи привода ПДА

Надзвичайно важливим є дослідження впливу як параметрів системи, так і величини зовнішніх дій (параметрів режиму) на властивості системи в перехідних режимах із визначенням зони стійкості системи за цими параметрами.

Визначимо параметри режиму досліджуваної системи, які найбільше впливають на характер перехідних процесів у дифузійному апараті, приймаючи за вихідні величини швидкості обертання обох двигунів та їх різницю:

1. Напряга керування привода U_k . В промислових умовах регулювання швидкості обертання шнеків дифузійного апарата здійснюється оператором вручну за допомогою зміни напруги керування привода на основі вимог технологічного процесу та показів щитових приладів.

2. Статичний момент на валу двигуна $M_{ст}$. В усталеному режимі статичний момент дорівнює моменту, що розвивають двигуни $M = c\Phi I$. Оператор оцінює його за показом щитового приладу, який вимірює середнє значення якірного струму I , тому ці два параметри об'єднаємо.

3. Випрямлена напруга U_d — напруга на якірних обмотках двигунів. Величину цієї напруги оператор визначає за допомогою щитового приладу. В усталеному режимі ця напруга пропорційна величині U_k .

На основі показів вказаних приладів оператор здійснює оцінку експлуатаційних характеристик привода. Тому ці величини можна визначити як основні величини, за якими здійснюється контроль стійкості системи та якості перехідних процесів.

Визначимо також параметри системи, які найбільше впливають на поведінку систем в перехід-

них режимах роботи. До них необхідно віднести параметри, що залежать від величини та нерівномірності завантаження дифузійного апарата:

1) зведений до швидкості обертання двигунів момент інерції шнековалів разом із сокостружковою сумішшю J_{12} ;

2) зведений до швидкості обертання двигунів коефіцієнт тертя шнеків β_{12} ;

3) коефіцієнт нерівномірності завантаження вала α , який введено внаслідок технологічних особливостей експлуатації ПДА та суттєво впливає на динамічні властивості системи.

Слід зауважити, що параметри зворотних зв'язків системи також значно впливають на її властивості, але їх сталі часу значно менші, ніж сталі часу механічної частини привода, і вони не викликають тих процесів, що досліджуються в роботі.

Вичерпну інформацію про характер перехідних процесів дають часові залежності вихідної величини, які дає змогу отримати імітаційна модель. Оцінку якості перехідних процесів можна проводити за коливальністю перехідного процесу χ , яку оцінюють за відношенням сусідніх максимумів вихідної величини $x_{\max 2}/x_{\max 1}$ та іноді виражають у відсотках; також коливальність характеризують числом коливань за час перехідного процесу. За умови втрати системою стійкості час перехідного процесу та максимальне відхилення нескінченно великі $t_n = \infty$, $\sigma = \infty$, а коливальність — $\chi > 1$.

Проведемо дослідження процесів, які відбуваються в системі у разі поступового збільшення напруги керування, та дослідимо характер перехідних процесів за різних значень напруги та фіксованому значенні струму та коефіцієнта нерівномірності завантаження ПДА. Перехідний процес може мати згасальний та незгасальний характер. Останній пов'язаний з автоколивальними процесами (границя зони стійкості), що виникають в системі, та втратою нею стійкості.

На рис. 4 показано приклад моделювання системи привода дифузійного апарата у разі поступового збільшення напруги керування до значення $U_k = 12,85$ В, яке відповідає номінальному значенню напруги двигунів $U_{\text{ном}} = 440$ В, та статичному моменту, якому відповідає номінальне значення струму $I_{\text{ном}} = 160$ А; при цьому коефіцієнт нерівномірності завантаження валу склав $\alpha = 0,55$.

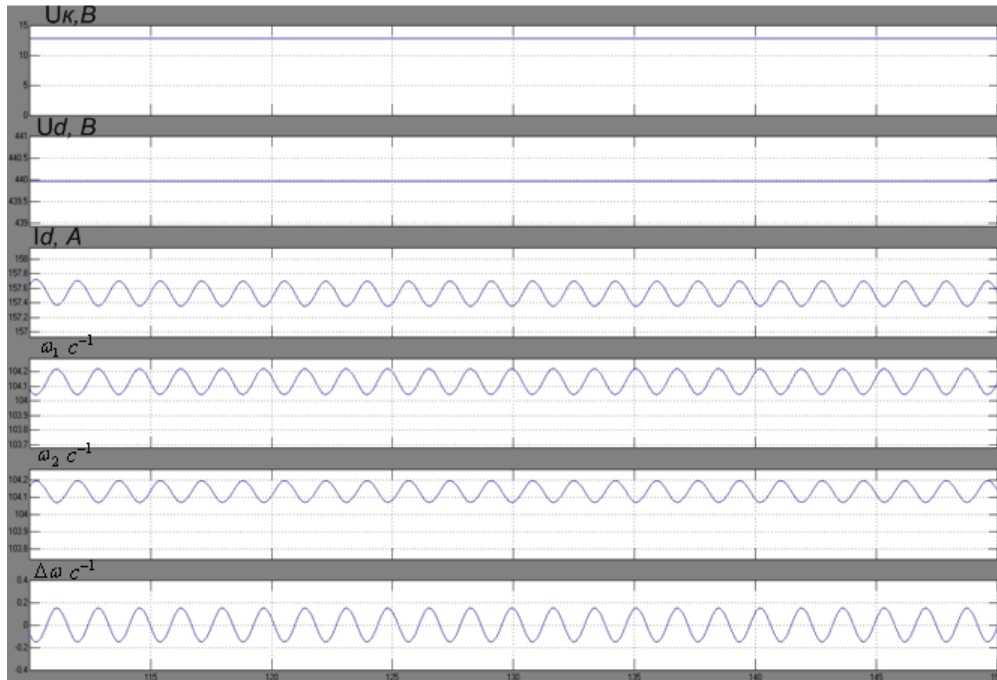


Рис. 4. Приклад моделювання системи привода ДА

Результатом моделювання є часові залежності основних величин. На рис. 4 зображені часові діаграми напруги керування U_k , середнього значення випрямленої напруги (напруги на двигунах) U , струму якоря двигунів I , швидкості обертання верхнього та нижнього двигунів, відповідно, та різниці їх швидкості $\Delta\omega$.

Як видно з отриманих залежностей, із досягненням напругою керування значення

$U_k = 12,85$ В, напруга на двигунах складає $U_{ном} = 440$ В і її стабільність забезпечується системою керування приводом. Струм якірних обмоток, а також швидкості обертання двигунів змінюються коливально з малою сталою згасання. Коливальність $\chi = I_{max2}/I_{max1} = 0,998$, тобто цей режим роботи є близьким до критичного і знаходиться на межі зони стійкості системи.

За проведенням моделювання можна визначити коливальність як один з головних показників якості перехідних процесів, що дає вичерпну інформацію про динамічні властивості системи за певної конфігурації параметрів та в певному режимі роботи. Постає задача дослідження впливу вказаних вище параметрів системи та параметрів режиму на стійкість системи, оцінити існуючий запас стійкості та визначити які параметри найбільшим чином погіршують якість перехідних процесів.

Наприклад, на рис. 5 зображено часові діаграми швидкості обертання одного з двигунів за різних значень коефіцієнта нерівномірності завантаження шнеків, які ілюструють вплив цього параметра на динамічні властивості системи: за суттєво нерівномірного завантаження система може втратити стійкість, тоді як у разі його вирівнювання та рівності решти параметрів залишається стійкою.

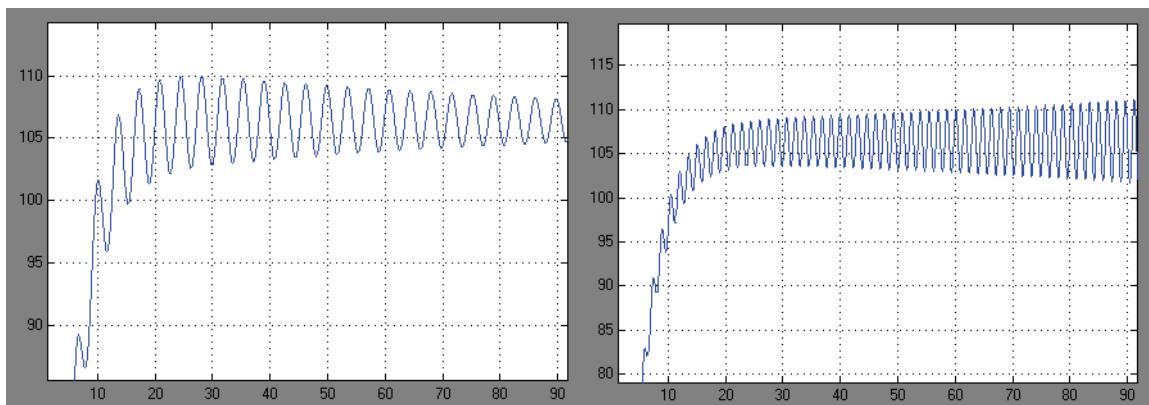


Рис. 5. Часові діаграми швидкості обертання верхнього двигуна для $\alpha = 0,52$ (ліворуч) та для $\alpha = 0,6$

Висновки

В роботі за розробленими математичними моделями системи привода похилого дифузійного апарата створено імітаційну модель, яка враховує його основні особливості в умовах промислової експлуатації. Виконано імітаційне моделювання та отримано часові характеристики основних величин системи автоматичного керування та визначено основні параметри, що найбільшим чином впливають на динамічні властивості системи. Адекватність отриманих моделей підтверджується пасивними експериментами на реальному об'єкті, проведеними на виробництві та детально описаними в [1].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Родінков В. Незатухаючі електромагнітні коливання в електроприводах постійного струму / В. І. Родінков, А. М. Коваль, В. В. Юр // Вісник інженерної академії України. — 2010. — № 1. — С. 124—127.
2. Гребенюк С. М. Технологическое оборудование сахарных заводов. — М. : Пищевая промышленность, 1985. — 520 с.
3. Ведмицький Ю. Математична і електричні моделі механічної частини шнекових дифузійних апаратів / Ю. Г. Ведмицький, В. В. Кухарчук, А. М. Коваль // Вісник інженерної академії України. — 2010. — № 1. — С. 155—160.
4. Родінков В. І. Математичні моделі системи привода похилого дифузійного апарата / В. І. Родінков, А. М. Коваль // Матеріали 78 наукової конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у 21 столітті», 2—3 квітня 2012 р. — К. : НУХТ, 2012 р. — Ч. 2. — С. 226—227.
5. Борцов Ю. А. Тиристорные системы электропривода с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. — Л. : Энергия, 1979. — 160 с.
6. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування : підруч. / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. — К. : Либідь, 1997. — 544 с. — ISBN 5-325-00805-6.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Стаття надійшла до редакції 18.04.2013

Рекомендована до друку 6.06.2013

Кухарчук Василь Васильович — завідувач кафедри, **Родінков Валерій Іванович** — доцент, **Коваль Андрій Миколайович** — асистент.

Кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця