

УДК 621.316.71

**ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ ПРИВОДА ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА****В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль**

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна. E-mail: kovaljmerinka@ukr.net

Проведено дослідження динамічних режимів роботи дводвигунового приводу похилого дифузійного апарата, який використовується для екстракції соку з бурякової стружки й є ланкою безперервного виробництва цукру. Шнеки апарата приводяться в рух двома двигунами постійного струму з їх різних кінців, між якими виникає значний пружний зв'язок, що є умовою виникнення коливальних режимів. Їх причиною є неоднакове навантаження на валах двигунів, що є наслідком експлуатаційних особливостей роботи приводу. Такі режими неодноразово спостерігались у виробництві та призводили до значних збитків, і це підтверджує актуальність даної роботи. За допомогою розроблених математичних та імітаційних моделей, що описують електромагнітні та електромеханічні процеси приводу, встановлено вплив основних параметрів системи та режиму на динамічні властивості системи. Зокрема встановлено значний вплив пружного зв'язку між механічними органами на можливість виникнення коливальних процесів. Визначено зони стійкості в координатах різних параметрів системи та режиму. Отримані результати можуть бути використані для покращення динамічних властивостей приводу та забезпечення надійного та якісного виконання технологічного процесу.

**Ключові слова:** електричний привод, стійкість системи, динамічні властивості.

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИВОДА НАКЛОННОГО ДИФУЗИОННОГО АПАРАТА****В. В. Кухарчук, В. И. Родинков, А. М. Коваль**

Вінницький національний технічний університет

ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина. E-mail: kovaljmerinka@ukr.net

Проведено исследование динамических режимов работы двухдвигательного привода наклонного диффузионного аппарата, который используется для экстракции сока из свекловичной стружки и является звеном непрерывного производства сахара. Шнеки аппарата приводятся в движение двумя двигателями постоянного тока с их разных концов, между которыми возникает значительная упругая связь, ведущая к возникновению колебательных режимов. Их причиной являются разные нагрузки на валах двигателей, появляющиеся вследствие эксплуатационных особенностей работы привода. Такие режимы неоднократно наблюдались в производстве и приводили к значительным убыткам, что подтверждает актуальность данной работы. С помощью разработанных математических и имитационных моделей, описывающих электромагнитные и электромеханические процессы привода, установлено значительное влияние упругой связи между механическими органами на возможность возникновения колебательных процессов. Определены зоны устойчивости в координатах основных параметров системы и режима. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения динамических свойств привода и обеспечения надежного и качественного выполнения технологического процесса.

**Ключевые слова:** электрический привод, устойчивость системы, динамические свойства.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Експлуатація низки електромеханічних комплексів свідчить, що вплив пружних механічних зв'язків на динаміку електропривода, зносостійкість деталей і, в кінцевому рахунку, на продуктивність і якість продукції, а в деяких випадках і на виникнення аварійних ситуацій, достатньо відчутний [1]. Зокрема це стосується промислової експлуатації приводу похилого дифузійного апарата (ПДА), який є ланкою безперервного циклу цукрового виробництва.

ПДА є коритоподібним корпусом (рис. 1), який охоплює транспортує бурякову стружку шнековали, що приводяться в рух через редуктори  $P_H$  та  $P_B$  двома двигунами постійного струму незалежно збудження. З метою забезпечення на валах двигунів однакових механічних моментів їх роторні обмотки з'єднані послідовно й підключені до керуваного випрямляча, який є джерелом регульованої напруги. Система автоматичного керування містить від'ємний зворотній зв'язок за проти-ЕРС

двигуна та струмовий контур, що забезпечують стабільний рівень швидкості обертання шнеків при різній завантаженості дифузійного апарату, а також слугують захистом від перевантажень та коротких замикань у системі приводу. Сигнали зворотніх зв'язків отримуються сенсорами напруги та струму.

Контроль і оцінка експлуатаційних характеристик приводу виконується за допомогою приладів магніто-електричної системи, які вимірюють напругу та струм двигунів.

Через значну довжину шнеків між двигунами виникає суттєвий пружний зв'язок, що впливає на динамічні властивості системи. За певних режимів експлуатації виникали коливальні процеси, які супроводжувались значними незатухаючими коливаннями струму та швидкості обертання кожного з двигунів. Це явище більш детально описано в [2]. Очевидно, що такий режим не може забезпечити виконання технологічного процесу й є аварійним.

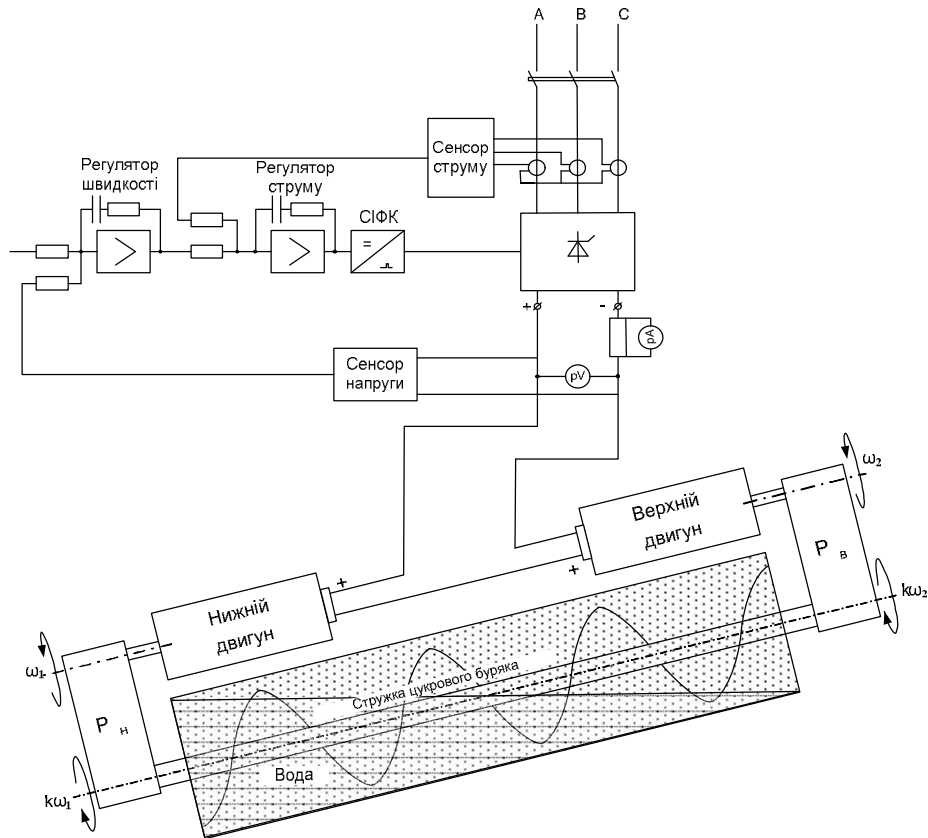


Рисунок 1 – Структурна схема приводу похилого дифузійного апарата

Тому з метою запобігання таких режимів постає завдання визначення причин виникнення подібних ситуацій шляхом дослідження впливу різних експлуатаційних параметрів ПДА на динамічні властивості системи, основною з яких є її стійкість.

Детальний опис даної системи приводу та технологічні процеси, що протікають в ПДА, наведено в [3].

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.**

**1. Структурна схема системи приводу ПДА і його імітаційна модель.**

Математичний опис даної системи був розроблений у роботах [4, 5].

Процеси в механічній частині описуються системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} J_1^* \frac{d\omega_1}{dt} + \beta_1^* \omega_1 + \zeta_{12} \phi_1 - J_{12}^* \frac{d\omega_2}{dt} - \beta_{12}^* \omega_2 - \zeta_{12} \phi_2 = M_1; \\ J_2^* \frac{d\omega_2}{dt} + \beta_2^* \omega_2 + \zeta_{12} \phi_2 - J_{12}^* \frac{d\omega_1}{dt} - \beta_{12}^* \omega_1 - \zeta_{12} \phi_1 = M_2, \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{де } \begin{cases} J_1^* = J_1 + \alpha \frac{2}{3} J_{12} k^2, & J_2^* = J_2 + (1 - \alpha) \frac{2}{3} J_{12} k^2, & J_{12}^* = -\frac{1}{6} J_{12} k^2; \\ \beta_1^* = \beta_1 + \alpha \frac{2}{3} \beta_{12} k^2, & \beta_2^* = \beta_2 + (1 - \alpha) \frac{2}{3} \beta_{12} k^2, & \beta_{12}^* = -\frac{1}{6} \beta_{12} k^2 - \end{cases}$$

еквівалентні моменти інерції, еквівалентні коефіцієнти розсіювання та еквівалентні узагальнені сили, відповідно, а також  $J_1, J_2, J_{12}$  – відповідно, моменти інерції роторів нижнього й верхнього двигунів та завантажених шнеків;  $\beta_1, \beta_2$  і  $\beta_{12}$  – коефіцієнти розсіювання енергії в обох двигунах та шнеку;  $\alpha$  – коефіцієнт, який враховує нерівномірний розподіл

моментів вздовж шнеків;  $\zeta_{12}$  – коефіцієнт пружного зв'язку шнековалу;  $\omega_1, \omega_2$  – швидкості обертання,  $\phi_1, \phi_2$  – кут повороту,  $M_1, M_2$  – механічний момент нижнього й верхнього двигунів, відповідно. Або в операторній формі:

$$\begin{cases} (J_1^* p^2 + \beta_1^* p + \zeta_{12}) \omega_1(p) - (J_{12}^* p^2 + \beta_{12}^* p + \zeta_{12}) \omega_2(p) = p M_1(p); \\ (J_2^* p^2 + \beta_2^* p + \zeta_{12}) \omega_2(p) - (J_{12}^* p^2 + \beta_{12}^* p + \zeta_{12}) \omega_1(p) = p M_2(p). \end{cases} \quad (2)$$

Електромагнітні процеси у двигунах постійного струму характеризує система:

$$\begin{cases} M_1(p) = c \Phi_1 I_r(p); \\ M_2(p) = c \Phi_2 I_r(p); \\ U(p) = c \Phi_1 \omega_1(p) + c \Phi_2 \omega_2(p) + I_r(p) R_o (T_E p + 1), \end{cases} \quad (3)$$

де  $R_o = R_{r1} + R_{r2}$  – електричний опір роторних обмоток;  $T_0 = T_{E1} + T_{E2}$  – електрична стала двигунів.

Джерелом керованої напруги для двигунів є тиристорний перетворювач (ТП), що є трифазним керованим випрямлячем (КВ), найчастіше виконаним за схемою Ларіонова. У зв'язку з неповною керованістю ТП у динаміці є складним нелінійним елементом, який описується передатною функцією:

$$W_{TP} = \frac{k_p}{T_p p + 1}, \quad (4)$$

де  $T_p = \frac{1}{N_p f}$  – стала часу ТП;  $N_p$  – число пульсацій за період;  $f$  – частота мережі живлення;  $k_p$  – статичний коефіцієнт передачі ТП, який, зале-

жно від виду опорної напруги, може бути постійною або змінною величиною.

Регулятори швидкості та струму в системі каскадного керування будуються на основі операційних підсилювачів та виконуються зазвичай пропорційно-інтегруючими. Їхні передатні функції будуть мати вигляд:

$$W_s = k_s + \frac{1}{T_s p}; \quad W_I = k_I + \frac{1}{T_I p}, \quad (5)$$

де  $k_s, k_I$  – коефіцієнти передачі регуляторів швидкості та струму, відповідно, а  $T_s, T_I$  – їх сталі часу.

Сенсори струму та напруги в системі каскадного керування повинні забезпечити гальванічну розв'язку сигналу зворотнього зв'язку від силового кола. У досліджуваному типі привода сенсором

струму виступають трансформатори струму, ввімкнені на вході ТП. Сигнал з їх вторинних обмоток випрямляється й заводиться в систему керування приводом. На виході сенсора напруги отримують напругу, пропорційну проти-ЕРС двигуна. Сенсори струму й напруги є аперіодичними елементами САК та описуються такими передаточними функціями:

$$W_{CH} = \frac{-k_{CH}}{T_{CH} p + 1}; \quad W_{CC} = \frac{-k_{CC}}{T_{CC} p + 1}, \quad (6)$$

де  $k_{CH}$  та  $k_{CC}$  – коефіцієнти передачі відповідних елементів, а  $T_{CH}$  та  $T_{CC}$  – їх сталі часу.

Використовуючи рівняння (2)–(6), можна скласти структурну схему системи привода ПДА (рис. 2), на якій вказано всі зв'язки змінних, що присутні в даній системі автоматичного керування.

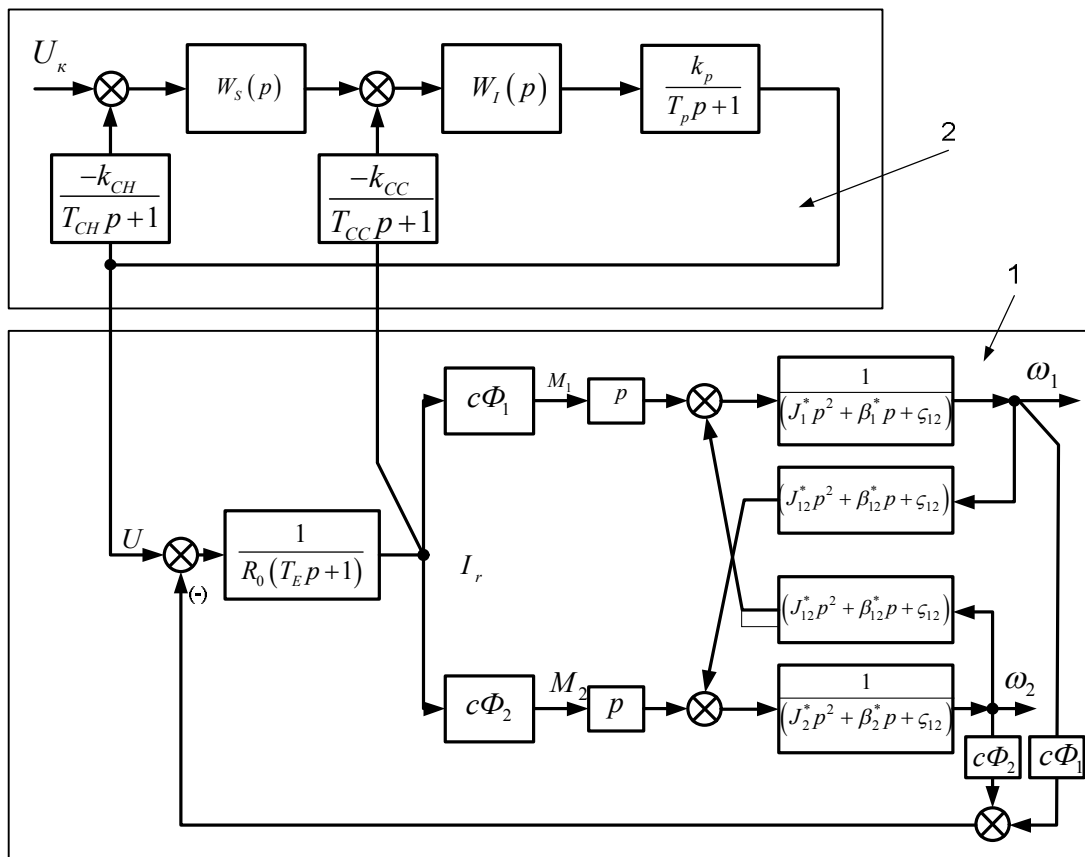


Рисунок 2 – Математичний опис системи привода похилого дифузійного апарата

Як видно з отриманої структурної схеми, дана система має складно замкнутий характер, тобто є системою високого порядку, яку можна поділити на силову частину 1 та систему керування 2.

Дослідження характеристичних поліномів такої системи з метою визначення динамічних властивостей є надзвичайно складним завданням унаслідок її високого порядку та великої кількості параметрів, які впливають на них.

Найбільш зручними для розв'язання поставлених задач виглядають чисельні методи, за допомогою яких можна розв'язати отриману вище математичну модель системи та отримати реакції відповідних величин на різні збурення. Такі методи можна зреа-

лізувати, використовуючи ПК та прикладні пакети математичних програм, зокрема Matlab. Даний пакет містить засіб імітаційного моделювання динамічних систем Simulink, який дозволяє досліджувати складні системи автоматичного керування.

Дана модель містить усі передаточні ланки структурної схеми системи привода дифузійного апарату, зображеної на рис. 3, 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 блоку осцилографа.

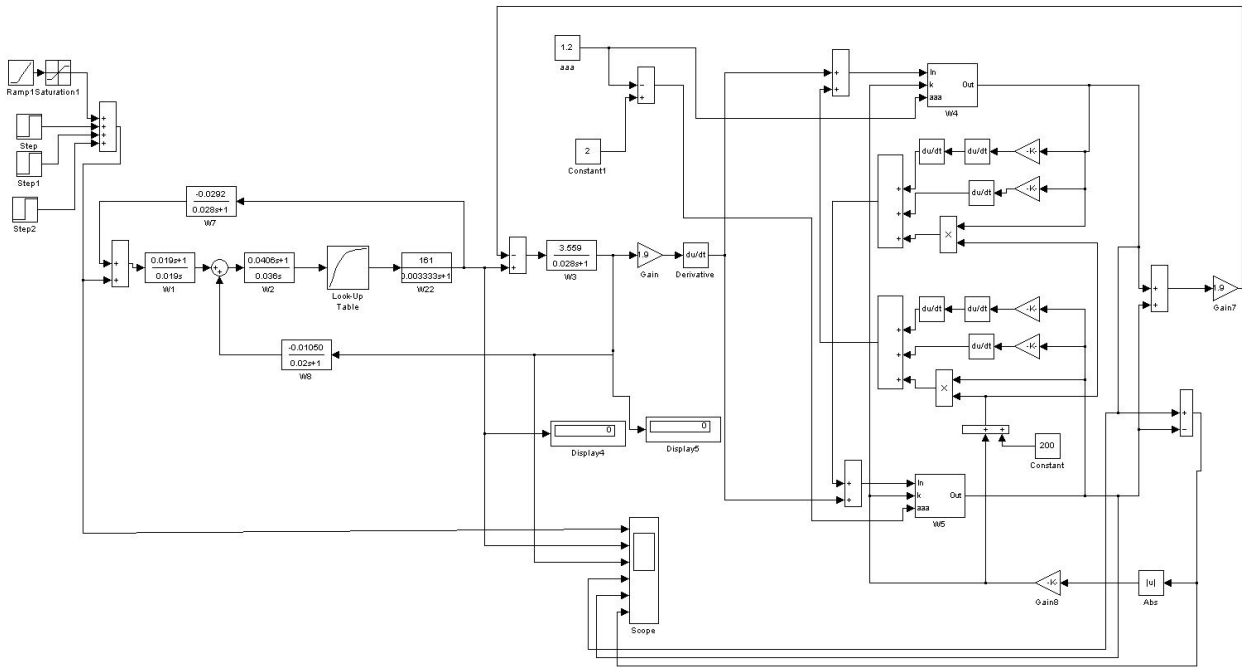


Рисунок 3 – Імітаційна модель в Simulink

2. Вплив параметрів системи на стійкість системи привода ПДА.

Вичерпну інформацію про характер перехідних процесів дають часові залежності вихідної величини, які отримуються за допомогою імітаційної моделі.

Динамічні властивості системи привода будемо оцінювати за коливальністю перехідного процесу  $\chi$ , яку оцінюють за відношенням сусідніх максимумів вихідної величини  $\frac{x_{max2}}{x_{max1}}$  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  $\chi > 1$ .

Серед параметрів системи, які найбільшим чином впливають на динамічні властивості системи, визначимо момент інерції валу  $J_{12}$ , коефіцієнт тертя шнеків  $\beta_{12}$  та коефіцієнт нерівномірності завантаження валу  $\alpha$ .

Для оцінки впливу параметрів системи проведемо моделювання перехідних режимів роботи за умови введення привода в номінальний режим роботи, що відповідає номінальним значенням напруги та струму двигунів. Змінюючи в моделі величини моменту інерції валу  $J_{12}$  та коефіцієнту тертя шнеків  $\beta_{12}$ , при сталому значенні коефіцієнту нерівномірності завантаження валу  $\alpha = 0,55$  за часовими залежностями вихідних величин будемо визначати значення коливальності  $\chi$ . Отримані результати зведемо в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення коливальності системи при  $\alpha = 0,55$

$\beta_{12}, \frac{Дж}{рад}$	$J_{12}, Н \cdot кг$						
	4	4,6	5,2	5,8	6,4	7	7,5
80	1,400	1,128	0,908	0,731	0,590	0,477	0,382
92	1,342	1,110	0,918	0,754	0,635	0,517	0,443
104	1,294	1,094	0,930	0,786	0,667	0,565	0,488
116	1,261	1,085	0,935	0,805	0,694	0,597	0,515
128	1,235	1,077	0,942	0,823	0,717	0,628	0,548
140	1,214	1,072	0,945	0,836	0,733	0,647	0,576
152	1,193	1,065	0,949	0,846	0,759	0,674	0,602

Таким чином, отримавши необхідний масив даних, побудуємо залежність коливальності  $\chi = f(J_{12}, \beta_{12})$  у вигляді поверхні, а також у вигляді сімейства залежностей  $\chi = f(\beta_{12})$  при фіксованих значеннях  $J_{12}$  (рис. 4).

З отриманого сімейства залежностей видно, що зі збільшенням коефіцієнту розсіювання енергії  $\beta_{12}$  коливальність знижується й система стає більш стійкою. Це пояснюється тим, що при зростанні втрат енергії внаслідок тертя умови для виникнення незатухаючих коливань знижуються. Залежності  $\chi = f(\beta_{12})$  мають однаковий характер при усіх значеннях моменту інерції, величина якого впливає лише на її нахил (крутість). Слід зазначити, що всі криві  $\chi = f(\beta_{12})$  мають спільну точку перетину приблизно при  $\beta_{12} = 5$  Дж/рад та значенні коливальності системи  $\chi \approx 1$ , що відповідає критичному (автоколивальному) режиму роботи САК привода. У тій

частині залежностей, де система знаходиться в стійкому стані  $\beta_{12} > 5$ , значення коливальності прямо пропорційно величині моменту інерції  $J_{12}$ .

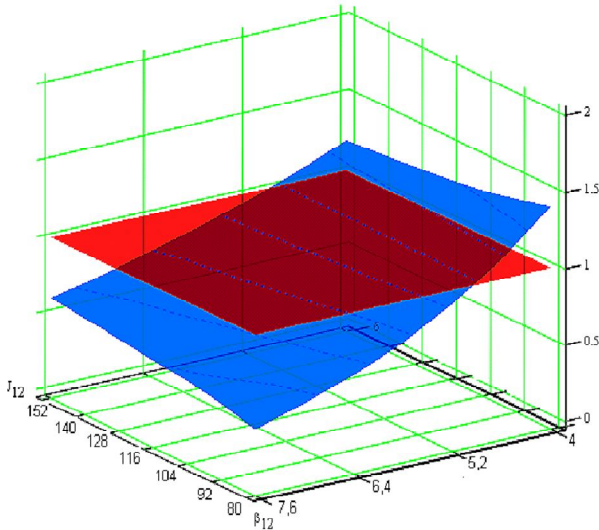
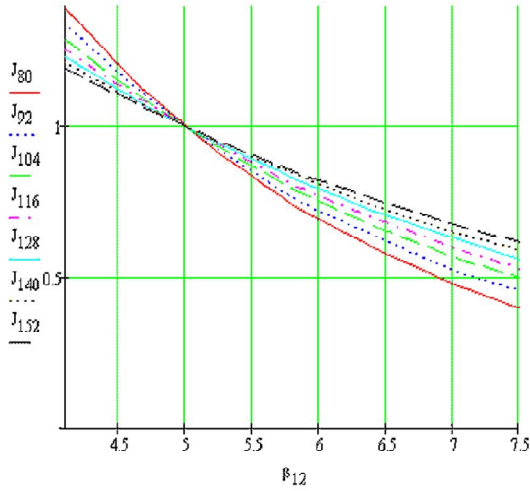


Рисунок 4 – Залежність коливальності системи від моменту інерції та коефіцієнту розсіювання енергії валу в номінальному режимі при  $\alpha = 0,55$

Побудуємо площину  $\chi = 1$  та знайдемо лінію перетину її з поверхнею  $\chi = f(J_{12}, \beta_{12})$ , яка є лінією критичного режиму. При значеннях моменту інерції  $J_{12}$  та коефіцієнту розсіювання енергії  $\beta_{12}$  валу, для яких  $\chi > 1$ , система стає нестійкою з різною швидкістю наростання амплітуди коливань.

Побудувавши проекцію лінії критичного режиму на площину  $(J_{12}, \beta_{12})$ , можна визначити зону стійкості приводу ДА у відповідній системі координат при певному значенні коефіцієнту нерівномірності завантаження валу. З метою визначення впливу цього параметру на динамічні властивості системи проведемо аналогічні операції для різних значень коефіцієнту

енту  $\alpha$  та побудуємо критичні лінії, які відмежовують зону стійкості в координатах  $(J_{12}, \beta_{12})$ . На рис. 5 зображено зони стійкості для п'яти значень коефіцієнту  $\alpha$ . Для всіх них залежності  $\chi = f(J_{12}, \beta_{12})$  мають такий самий характер, як і залежність, що зображена на рис. 3.

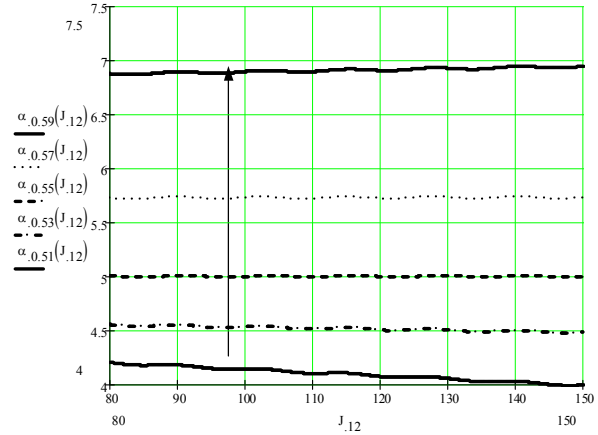


Рисунок 5 – Зміна зони стійкості в системі координат  $(J_{12}, \beta_{12})$  від коефіцієнту нерівномірності завантаження  $\alpha$

Стрілкою позначено напрямок зростання стійкості системи. Звідси добре видно, що коефіцієнт нерівномірності завантаження валу має значний вплив на стійкість системи. Зона стійкості значно зменшується за умови зростання нерівномірності завантаження валу. Це пояснюється тим, що наявність неоднакових навантажень на валах є передумовою зміни швидкостей обертання кінців валу. Це зумовлює його пружну деформацію, що є основою коливальних процесів у системах дводвигунових приводів.

Проведені дослідження показали, що вказані параметри мають значний вплив на властивості приводу ПДА в динамічних режимах роботи й можуть викликати в ньому незатухаючі електромеханічні коливання, пов'язані із втратою системою стійкості, однак визначення величин цих параметрів у ході виробництва є неможливим. Це пов'язано з тим, що вони є складними функціями конструкційних особливостей ДА, маси та технологічних особливостей завантаженої бурякової стружки, температурних режимів у різних відділах ДА. Тому на практиці оператор при керуванні приводом мусить користуватись іншими джерелами інформації про стан приводу, передусім показами технологічних сенсорів та щитових приладів, які вимірюють середнє значення випрямленої напруги (напруги на двигунах) та струму роторних обмоток двигунів.

### 3. Вплив параметрів режиму на стійкість системи приводу ПДА.

Таким чином, будемо змінювати в моделі напругу  $U_k$  та, фіксуючи величину напруги на двигунах за умови фіксованих значень коефіцієнту нерівномірності завантаження валу  $\alpha$ , визначатимемо значен-

ня коливальності  $\chi$ . Отримавши необхідний масив даних, побудуємо залежність коливальності  $\chi = f(U, \alpha)$  у вигляді поверхні (рис. 6) та знайдемо лінію її перетину з площиною  $\chi = 1$ , яка є лінією критичного режиму.

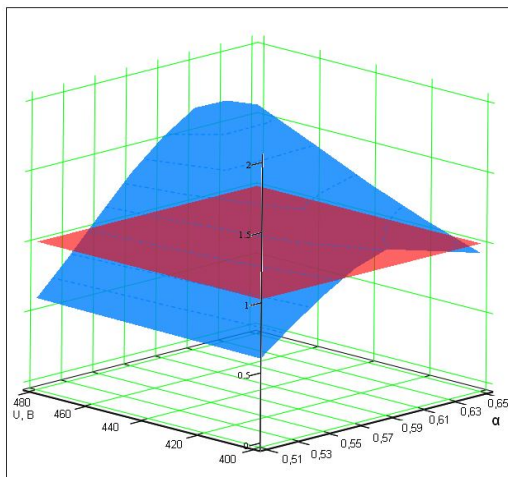
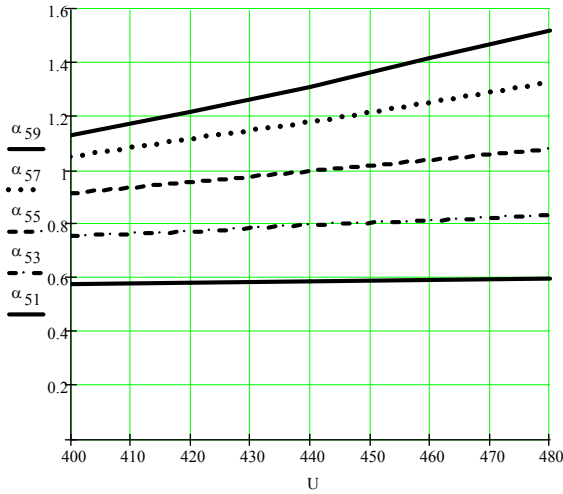


Рисунок 6 – Залежність коливальності  $\chi = f(U, \alpha)$  при  $I = I_{nom}$

При значеннях напруги  $U$  та  $\alpha$ , для яких  $\chi > 1$ , система стає нестійкою з різною швидкістю наростання амплітуди коливальностей. Узагалі на даному графіку чітко видно, що зі збільшенням напруги  $U$  стійкість системи приводу зменшується при будь-яких значеннях коефіцієнту  $\alpha$ . Оцінити запас стійкості можна за величиною коливальності  $\chi$ . Запас стійкості зростає по мірі зменшення значення коливальності.

Побудувавши проекцію лінії критичного режиму на площину  $(U, \alpha)$ , можна визначити зону стійкості приводу ПДА у відповідній системі координат (рис. 7). На даному рисунку позначено, за якими значеннями досліджуваних параметрів система є стійкою, а за якими – втрачає стійкість.

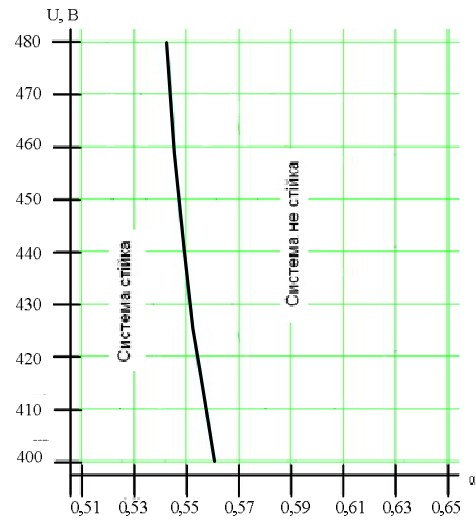


Рисунок 7 – Зона стійкості системи приводу дифузійного апарата в системі координат  $(U, \alpha)$  при  $I = I_{nom}$

З метою визначення зони стійкості за струмом (статичним моментом) побудуємо подібні графіки для різних значень струму двигунів.

На рис. 8 різними лініями відмічено границі зони стійкості для різних значень струму навантаження, вказаних у відносних до  $I_{nom}$  величинах. Правий верхній куток відповідає найнестійкішому стану системи, нижній лівий – навпаки, найстійкішому.

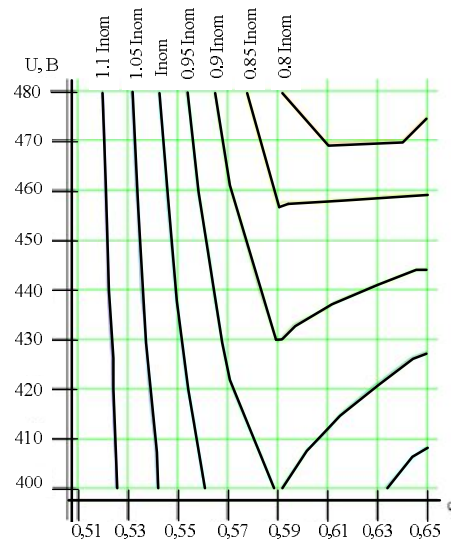


Рисунок 8 – Зміна зони стійкості системи приводу похилого дифузійного апарата в системі координат  $(U, \alpha)$  за умови зміни струму двигунів

Проведемо аналіз отриманих залежностей та визначимо, яким чином залежать властивості системи приводу ДА в перехідних режимах від досліджуваних величин.

За умови зростання напруги коливальність переходного процесу за законом, близьким до лінійного,

збільшується для будь-яких значень коефіцієнту нерівномірності завантаження валу  $\alpha$ .

Від величини  $\alpha$  залежить нахил (крутість) залежності  $\chi = f(U)$ . При збільшенні нерівномірності завантаження валу крутість залежності зменшується. Тобто за більш рівномірного завантаження валу (тобто  $\alpha \rightarrow 0,5$ ) коливальність меншим чином залежить від напруги, і навпаки, при зростанні нерівномірності завантаження валу коливальність більшим чином залежить від величини напруги на двигунах. Збільшення коливальності означає зменшення запасу стійкості.

На рис. 8 різними лініями відмічено границі зони стійкості для різних значень струму навантаження, вказаних у відносних до  $I_{nom}$  величинах. Правий верхній кут відповідає найнестійкішому стану системи, нижній лівий – навпаки, найстійкішому.

Проведемо аналіз отриманих залежностей та визначимо, яким чином залежать властивості системи приводу ДА в перехідних режимах від досліджуваних величин.

За умови зростання напруги коливальність перехідного процесу за законом, близьким до лінійного, збільшується для будь-яких значень коефіцієнту нерівномірності завантаження валу  $\alpha$ .

Від величини  $\alpha$  залежить нахил (крутість) залежності  $\chi = f(U)$ . При збільшенні нерівномірності завантаження валу крутість залежності зменшується. Тобто за більш рівномірного завантаження валу (тобто  $\alpha \rightarrow 0,5$ ) коливальність меншим чином залежить від напруги, і навпаки, при зростанні нерівномірності завантаження валу коливальність більшим чином залежить від величини напруги на двигунах. Збільшення коливальності означає зменшення запасу стійкості.

Залежність коливальності від величини статичного моменту на валу двигуна, а отже, і величини роторного струму двигунів є більш складною. Однак з рис. 8 чітко видно, що зі збільшенням струму зона стійкості системи в координатах  $(U, \alpha)$  зменшується. Таким чином, при десятивідсотковому перевищенні значення номінального струму система може втратити стійкість при напругах, значно менших  $U_{nom}$ .

Збільшення коливальності означає зменшення запасу стійкості. Тому вищесказане не лише характеризує якості перехідного процесу, а й визначає властивості стійкості системи приводу ДА. Отримані результати є дуже важливими при оцінці роботи

приводу в режимах, близьких до номінальних, оскільки вона здійснюється за значеннями тих величин, які суттєво впливають на динамічні властивості системи. Постає актуальна задача точного контролю та вимірювання даних величин, оцінки точності вимірювальних приладів, якими здійснюється вимірювання відповідних величин з урахуванням усіх специфічних особливостей роботи даного типу приводу.

**ВИСНОВКИ.** В роботі на основі розроблених імітаційних математичних моделей привода ПДА встановлено характер впливу параметрів системи (моменту інерції шнековалів, коефіцієнта тертя та нерівномірності завантаження валу) та параметрів режиму (напруги на виході тиристорного перетворювача та струму роторних обмоток двигунів) на динамічні властивості системи. Вказано на можливі причини втрати системою автоматичного регулювання стійкості в промисловому виробництві та способи попередження цього. Отримані результати можна використати для покращення динамічних характеристик привода.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. – Л.: Энергия, 1979. – 160 с.
2. 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.
3. Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1985. – 520 с.
4. Математична і електричні моделі механічної частини шнекових дифузійних апаратів / Ю.Г. Ведміцький, В.В. Кухарчук, А.М. Коваль // Вісник інженерної академії України. – 2010. – № 1. – С. 155–160.
5. Математичні моделі системи приводу похилого дифузійного апарату / 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., част. 2. – С. 226–227.
6. Теорія автоматичного керування: Підручник / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 1997. – 544 с. – ISBN 5-325-00805-6

#### DYNAMIC PROPERTIES OF THE SYSTEM DRIVE INCLINED DIFFUSION MACHINE

**V. Kukharchuk, V. Rodinkov, A. Koval**

Vinnitsa National Technical University

vul. Khmel'nitske shose, 95, Vinnitsya, 21021, Ukraine. E-mail: kovaljmerinka@ukr.net

The article is devoted to the research of dynamic modes of work of dual-engine drive of inclined diffusion machine, which is used for the extraction of juice from sugar-beet shavings and is part of the continued production of sugar. The screw of the machine is set in motion by two DC motors from their different ends, between which there is a considerable elastic communication that is a condition of emergence of oscillatory modes. Their reason are unequal loadings on shaft of engines that is a consequence of operational features of operation of the drive. Such modes were repeatedly

observed in production and led to substantial damages that confirms relevance of this work. With the help of the developed mathematical and simulation models, which describe the electromagnetic and electromechanical processes of the drive is set the main impact of the parameters of the system and the regime of on the dynamic properties of the system. In particular, the considerable influence of elastic links between mechanical parts on the possibility of oscillatory processes. Defined areas of stability in terms of various parameters of the system and mode. The results obtained can be used to improve the dynamic properties of the drive and ensure reliable and high quality implementation of the technological process.

**Key words:** electric drive, the stability of the system, dynamic properties.

## REFERENCES

1. Borcov, U.A. and Sokolovskiy, G.G. (1979), *Tiristornye sistemy elektroprivoda s uprugimi svyaziami* [Thyristor drive systems with elastic links], Energiia, Leningrad, Russia. (in Russian)
2. Rodinkov, V.I., Koval, A.M. and Yur, V.V. (2010), "The unfading electromagnetic oscillations in the DC", *Visnyk inzhenernoyi akademii Ukrayiny*, no. 1, pp. 124–127. (in Ukrainian)
3. Grebenyuk, S.M. (1985), *Tekhnologicheskoe oborudovanie sakharnykh zavodov* [The technological equipment of the sugar plants], Pishchevaia promyshlennost, Moscow, Russia. (in Russian)
4. Vedmickiy, U.G., Kukharchuk, V.V. and Koval, A.M. (2010), "Mathematical and electrical model of a mechanical part of the spiral of extractors", *Visnyk inzhenernoyi akademii Ukrayiny*, no. 1., pp. 155–160. (in Ukrainian)
5. Rodinkov, V.I. and Koval, A.M. (2012), "Mathematical model of the system of the old diffusion apparatus", *Materialy 78 naukovoï konferentsiyi molodykh uchenykh, aspirantiv ta studentiv «Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia ludstva u 21 stolitti»*, [The materials of 78 scientific conference of young scientists, post-graduate students and students «Scientific achievements of young people - the decision of problems of power supply of mankind in the 21st century»], Kiev, NUKHT, 2–3 April, 2012, pp. 226–227. (in Ukrainian)
6. Popovich, M.G. and Kovalchuk, O.V. (1997), *Teoriia avtomatichnogo keruvannia* [Theory of automatic control: Textbook], Lybid, Kiev, Ukraine. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 4.04.2013.