

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУДУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Хобін В.А., д-р техн. наук, професор, Єгоров В.Б., аспірант
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

У рамках розробки концептуальної моделі процесу екструдуювання рослинної сировини як об'єкта ефективного управління сформовано її структурну схему, виявлено принципово важливі властивості каналів перетворення управляючих впливів, обмеження на технологічні змінні, сформульовано принципи розвитку моделі, найважливіші завдання управління об'єктом.

In the context of developing of conceptual model of process of vegetative raw material extrusion as object of efficient control its structure chart is formed. fundamentally important properties of channels of transformation of managing impact and restrictions on technological variables are discovered. Principles of development of model and the major tasks of management by object are formulated.

Ключові слова: екструдуювання, рослинна сировина, ефективність, управління, концепція, модель.

1. Постановка завдання. Технологічний процес (ТП) екструдуювання рослинної сировини (ЕРС) широко розповсюджений як ефективний метод збереження корисних складових вихідного продукту та поліпшення живильних характеристик кінцевого продукту. При ЕРС температура досягає 120...200 °С, а тиск – 3...5 МПа. За рахунок цього відбуваються глибокі зміни в біохімічному складі живильних речовин сировини – крохмаль частково розщеплюється до декстринів і цукрів, протеїни піддаються денатурації, що приводить до підвищення їх живильної та кормової цінності. Крім того, після екструдуювання істотно поліпшуються механічні та смакові якості харчових продуктів і кормів, проходить інактивація інгібіторів ферментів, нейтралізація деяких токсинів і знищення їхніх продуцентів. Перераховане обумовлює розширення застосування екструзійних технологій для виробництва продуктів харчування та годування, що підтримується, у тому числі, і широкими науковими дослідженнями [1, 2].

Існуючі штатні системи автоматичного управління (САУ) процесом ЕРС, реалізують, як правило, тільки функцію регулювання (стабілізації) струму навантаження приводного електродвигуна (ПЕД) екструдера. Практика показує, що вони не можуть забезпечити стійке функціонування екструдера в енергетично ефективних режимах і, одночасно, високі показники якості готового продукту. Головні причини цього – характеристики компонентів сировини, що динамічно змінюються, їхній склад у рецептурі вироблених продуктів, зношування робочих органів, коливання напруги живильної мережі, наявність обмежень, що накладаються регламентом ведення процесу ЕРС на діапазони зміни його параметрів. Це обумовлює актуальність завдання вдосконалення САУ ЕРС. В основу такого вдосконалення повинно бути покладено сучасні досягнення з теорії автоматичного управління, інформаційних технологій і програмно-технічного забезпечення систем автоматизації. Їхнє застосування повинно дозволити підвищити якість реалізації «старої» функції – функції регулювання та реалізувати нові – функцію виміру в реальному часі деяких параметрів готового продукту на виході з екструзійної голівки, функцію гарантування та функцію оптимізації режиму ЕРС.

Підвищення якості реалізації функції регулювання повинне йти в напрямку істотного підвищення динамічної точності стабілізації струму навантаження ПЕД і запасу стійкості його контуру регулювання. Це дозволить вести ЕРС у режимі, близькому до режиму максимально припустимого навантаження на ПЕД і, отже, продуктивності, коли питомі енерговитрати (за інших рівних умов) мінімальні. Вимір у реальному часі на виході з екструзійної голівки таких параметрів готового продукту як його діаметр, колір, неоднорідність поверхні, дасть, нехай і непряму, але об'єктивну та оперативну інформацію про його якість [3]. Це може дозволити на основі цієї інформації так цілеспрямовано використовувати ресурси управління ЕРС, щоб продукт максимально відповідав необхідній якості. Функція гарантування [4] повинна забезпечити:

а) оцінювання поточних значень імовірностей порушень встановлених регламентом обмежень (у реальному часі та на його ковзних інтервалах), включаючи і перераховані вище параметри, що характеризують якість;

б) корекцію поточних режимів ЕРС, при якій значення цих імовірностей не перевищували б їхніх заданих гранично припустимих, наперед заданих, значень. Це дозволить гарантувати дотримання вимог до якості продукції та безаварійну відмовостійку роботу преса екструдера, у тому числі, і це головне – в околиці гранично припустимих навантажень ПЕД. Саме це створить необхідні умови для мінімізації пи-

томих енерговитрат на ТП. Функція оптимізації поточного режиму ЕРС повинна дозволити цілеспрямовано перерозподіляти ресурси управління процесом для досягнення максимального економічного ефекту при безумовному виконанні всіх технологічних і експлуатаційних вимог.

Варто підкреслити, що дія всіх перерахованих функцій, які повинні реалізувати САУ процесом ЕРС, істотно взаємозалежна. При цьому ефективність функціонування кожної з них багато в чому впливає на ефективність інших і навпаки. Тому розробка ефективної САУ процесом ЕРС являє собою цілісне та досить наукомістке завдання. Вихідним етапом такої розробки повинна стати побудова найбільш загальної (концептуальної) моделі преса екструдера як об'єкта управління (ОУ). Така модель, по-суті, буде першим етапом конкретизації та формалізації тих нових завдань управління ЕРС, які було сформульовано вище. Вона складе основу для розробки САУ із цільовим набором функцій, які дозволять вирішувати сформульовані завдання управління та досягти головної мети розробки такої САУ – підвищення енергетичної ефективності ТП ЕРС.

2. Структурна схема концептуальної моделі ОУ. Проведений вище короткий аналіз особливостей процесу ЕРС, визначив склад системоутворюючих функцій, див. [4], перспективної САУ цього процесу. Аналіз змін найбільш важливих властивостей преса екструдера при змінах властивостей рослинної сировини, які істотно впливають на показники якості готового продукту, енергетичну ефективність і стійкість технологічного процесу, було проведено у [5]. Доповнивши їх аналізом впливів, які доступні для цілеспрямованої зміни, тобто виявивши склад потенційних управляючих впливів, за рахунок зміни яких можна впливати цілеспрямовано на хід процесу ЕРС, реалізуючи необхідні функції управління, можна представити концептуальну модель процесу ЕРС у вигляді структурної схеми, див. рис. 1. Стрілки, якими на схемі позначено змінні, вказують на напрямок їхньої взаємодії – «від причини до наслідку», а прямокутники відображають наявність неединичних операторів перетворення цих змінних.

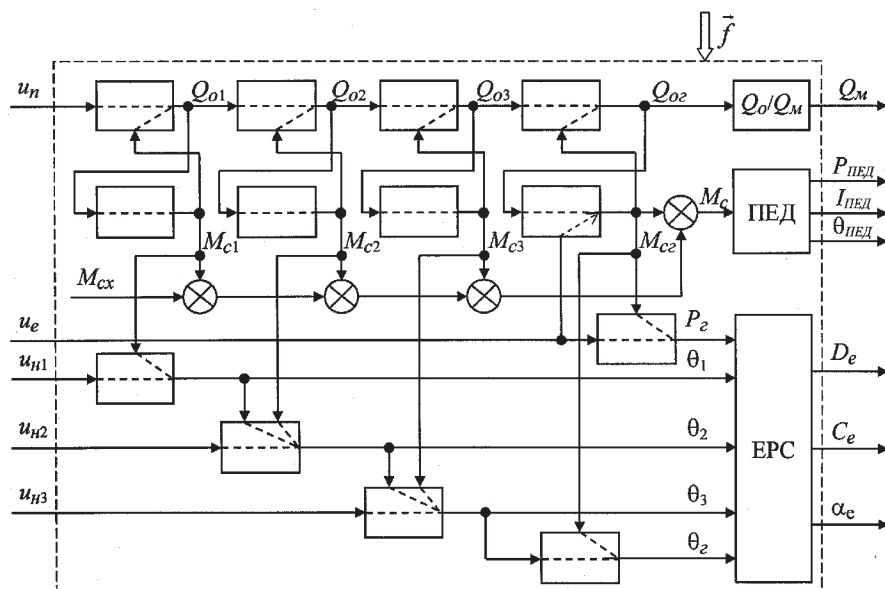


Рис. 1 – Структурна схема концептуальної моделі процесу екструдкування рослинної сировини як ОУ

На структурній схемі виділено наступні групи змінних:

— змінні, що є непрямыми показниками якості продукту, що екструдується, та доступні для виміру у реальному часі (наприклад, з використанням інтелектуального каналу відеоінформації [3]): D_e , C_e , α_e – відповідно діаметр, кольоровість та ступінь неоднорідності поверхні продукту на виході з екструзійної головки;

— змінні, що характеризують тепловий режим обробки рослинної сировини: θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_r – температури внутрішнього циліндру преса-екструдера за трьома зонами та його екструзійної головки;

— змінні, що характеризують продуктивність екструдера: об'ємна у різних зонах: Q_{o1} , Q_{o2} , Q_{o3} , об'ємна та масова після екструзійної головки Q_{o2} та Q_M (змінні $Q_{o1} \dots Q_{o2}$ недоступні для прямого виміру);

— змінні, що характеризують сили (моменти) опору, що виникають при екструдванні на валу ПЕД: M_{c1} , M_{c2} , M_{c3} , M_{c2} опору за зонами шнека, що пресує та в голівці (всі ці змінні недоступні для прямого виміру); M_{cx} – момент опору на холостому ході екструдера; P_z – тиск продукту, що екструдується в голівці; $P_{ПЕД}$, $I_{ПЕД}$ – електрична потужність та струм навантаження, які споживає ПЕД шнека; $\theta_{ПЕД}$ – темпера-

тура обмоток ПЕД;

— збурюючі впливи (у загальному випадку – невимірювані, тобто інформація про які недоступна для виміру, або її з інших причин неможливо використовувати в алгоритмі управління): \vec{f} – вектор, що відображає вплив зміни біохімічних і фізичних характеристик сировини, що екструдуються, характеристик робочих органів, мережі електроживлення та інших факторів, на зазначені вище змінні та на властивості операторів, які відображають їхні взаємодії;

— управляючі впливи, тобто змінні, доступні для цілеспрямованої зміни ходи процесу ЕРС, у частковості для компенсації наслідків збурюючих впливів: u_n – сигнал на зміну живильником подачі сировини із накопичувального бункера до шнеку екструдера (наприклад, управляюча напруга, що підводиться до перетворювача потужності, через який живиться віброживильник екструдера); u_e – сигнал на виконавчий механізм зміни робочого перетину каналу руху матеріалу в екструзійній голівці; u_{n1}, u_{n2}, u_{n3} – сигнали (управляючі напруги), що підводяться до перетворювачів потужності, через які живляться обігрівачі (ТЕНи) зон шнека екструдера.

Важливо відзначити наступне. Наявність у моделі недоступних для виміру змінних $\vec{f}, Q_{o1} \dots Q_{oe}, M_{c1}, M_{c2}, M_{c3}, M_{ca}$ відображає істотну невизначеність її властивостей щодо об'єкта-оригіналу. Цю невизначеність необхідно прагнути відобразити в математичній моделі об'єкту управління й, оскільки вона є найважливішим чинником, що значною мірою обмежує потенційні можливості САУ з ефективного ведення процесу ЕРС, враховувати її на етапі розробки цієї САУ.

3. Аналіз і формалізований опис взаємозв'язків змінних. Структурна схема не вичерпує зміст концептуальної моделі, його необхідно доповнити описом впливу вхідних впливів на виділені в структурній схемі внутрішні та вихідні змінні ОУ. Характер цього впливу, тобто характер взаємозв'язків вхідних і вихідних змінних каналів, буде визначатися фізичною сутністю їхніх властивостей. Зробимо це послідовно, розглядаючи зміни змінних, які спочатку викликаються змінами управляючих впливів, враховуючи при цьому вплив збурень.

Канали перетворення управляючого впливу u_n . Зміна u_n призводить до зміни подачі живильником сировини, що екструдуються із накопичувального бункера до шнеку екструдера. Величина цієї подачі може бути визначена як об'ємна продуктивність Q_{o1} живильника. Продуктивність Q_{o1} пов'язана з масовою продуктивністю через об'ємну масу (натуру) сипучої сировини Q_m . Слід підкреслити, що масові продуктивності преса-екструдера в сталому режимі в усіх перетинах шнека та екструзійної головки однакові та визначаються продуктивністю живильника. Об'ємна продуктивність преса-екструдера, навпаки, самим істотним образом змінюється по мірі просування матеріалу (сировини), що екструдуються по довжині шнека. Найбільші зміни об'ємної продуктивності відбуваються після проходження матеріалом спеціальних звужень, наприклад, виконаних у вигляді підірних шайб або кілець, і екструзійної голівки. При цьому величина цих змін буде залежати (істотно нелінійно) від сил тиску на матеріал, які проявляються на валу шнека у формі моментів опору $M_{c1} \dots M_{ca}$.

Значення об'ємних продуктивностей на виході зазначених елементів позначені $Q_{o1} \dots Q_{o3}, Q_{oa}$. Формально залежність цих змінних від u_n можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} Q_{o1}(t) &= Q_{o1} \left(k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, \vec{f}), u_i, k_{M_{c1}-Q_{o1}}(\vec{d}_\theta, \vec{f}), M_{c1}, t \right); \\ Q_{o2}(t) &= Q_{o2} \left(k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, \vec{f}), Q_{o1}, k_{M_{c2}-Q_{o2}}(\vec{d}_\theta, \vec{f}), M_{c2}, t \right) = \\ &= Q_{o2} \left(k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, \vec{f}), k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, \vec{f}), u_i, k_{M_{c2}-Q_{o2}}(\vec{d}_\theta, \vec{f}), M_{c2}, t \right); \\ Q_{o3}(t) &= Q_{o3} \left(k_{Q_{o2}-Q_{o3}}(\Delta S_3, \vec{f}), Q_{o2}, k_{M_{c3}-Q_{o3}}(\vec{d}_\theta, \vec{f}), M_{c3}, t \right) = \\ &= Q_{o3} \left(k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, \vec{f}), k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, \vec{f}), k_{Q_{o2}-Q_{o3}}(\Delta S_3, \vec{f}), u_i, k_{M_{c3}-Q_{o3}}(\vec{d}_\theta, \vec{f}), M_{c3}, t \right); \\ Q_{oa}(t) &= Q_{oa} \left(k_{Q_{o3}-Q_{oa}}(\Delta S_{\vec{a}}, \vec{f}), Q_{i3}, k_{M_{ca}-Q_{oa}}(\vec{d}_{\vec{a}}, \vec{f}), M_{ca}, t \right) = \\ &= Q_{oa} \left(k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, \vec{f}), k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, \vec{f}), k_{Q_{o2}-Q_{o3}}(\Delta S_3, \vec{f}), k_{Q_{o3}-Q_{oa}}(\Delta S_{\vec{a}}, \vec{f}), u_i, k_{M_{ca}-Q_{oa}}(\vec{d}_{\vec{a}}, \vec{f}), M_{ca}, t \right), \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Delta S_1 \dots \Delta S_r$ – зміни площ прохідних перетинів матеріалу, що екструдуються у зазорах підірних шайб та екструзійної голівки;

$k_{u_i-Q_{o1}}, k_{Q_{oi}-Q_{o(i+1)}}(Q_i, \vec{f}), \dots, k_{Q_{o3}-Q_{oa}}(Q_i, \vec{f})$ – коефіцієнти перетворення об'єму матеріалу, що екструдуються у зонах пресування та екструзії;

$k_{M_{ci}-Q_{oi}}(\vec{d}_\theta, \vec{f}), k_{M_{ca}-Q_{oa}}(\vec{d}_{\vec{a}}, \vec{f})$ – коефіцієнти впливу моментів опору продукту у зонах пресування та екструзії на його об'єм;

$\bar{d}_\theta, \bar{d}_{\bar{a}}$ – конструктивні параметри шнеку та екструзійної голівки.

Важливо відзначити, що введені до виразів (1) коефіцієнти перетворення обсягу відображають здатність матеріалів змінювати свій обсяг при впливі на них сил стиску. Вони є нелінійними функціями невідомо великої кількості аргументів. До числа цих аргументів входять швидкість обертання шнека, характеристики матеріалу, ступінь зношування робочих органів преса-екструдера, які в загальному виді відображаються вектором \vec{f} .

Зміна обсягів матеріалу, що екструдується при проходженні підпірних шайб, його просування уздовж осі шнекового преса та протискування через робочий отвір екструзійної голівки викликає моменти опору $M_{c1} \dots M_{c2}$ на валу преса та його ПЕД. Загальний момент опору на валу шнека екструдера преса представляє собою суму всіх моментів опору. Формально він може бути представлений у виді:

$$M_c(t) = M_{cx}(\vec{f}) + \sum_{i=1}^3 M_{ci}(t) + M_{c\bar{a}}(t);$$

$$M_{ci}(t) = M_{ci}(k_{Q_{oi}-M_{ci}}(\bar{d}_\theta, Q_i, \vec{f}), Q_{oi}, t); \quad (2)$$

$$M_{c\bar{a}}(t) = M_{c\bar{a}}(k_{Q_{o\bar{a}}-M_{c\bar{a}}}(\bar{d}_{\bar{a}}, Q_i, \vec{f}), Q_{o\bar{a}}, k_{u_y-M_{c\bar{a}}}(\bar{d}_{\bar{a}}, Q_i, \vec{f}), u_{yt}),$$

де $k_{Q_{oi}-M_{ci}}(\bar{d}_\theta, \vec{f}), i = 1, 3, k_{Q_{o\bar{a}}-M_{c\bar{a}}}(\bar{d}_{\bar{a}}, \vec{f}), k_{u_y-M_{c\bar{a}}}(\bar{d}_{\bar{a}}, \vec{f})$ – коефіцієнти перетворення моментів опору на валу шнека в зонах пресування та екструзії.

Коефіцієнти перетворення моментів відображають здатність матеріалу чинити опір його переміщенню шнеком та деформаціям, що призводять, у тому числі, до змін Q_{oi} . В остаточному підсумку ці сили опору зводяться до сил тертя матеріалу об поверхні робочих органів і внутрішнього тертя шарів матеріалу. Коефіцієнти $k_{Q_{oi}-M_{ci}}$ і $k_{Q_{o\bar{a}}-M_{c\bar{a}}}$ є нелінійними функціями конструктивних параметрів шнека та голівки,

а також невідомо великої кількості аргументів, що входять до \vec{f} .

З урахуванням виразів (1) змінні $M_{ci}(t)$ та $M_{c\bar{a}}(t)$ можуть бути описані через управляючий вплив u_n :

$$M_{c1}(t) = M_{c1}(k_{Q_{o1}-M_{c1}}(\bar{d}_\theta, Q_1, \vec{f}), k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, Q_1, \vec{f}), k_{M_{c1}-Q_{o1}}(\bar{d}_\theta, Q_1, \vec{f}), M_{c1}, u_i, t);$$

$$M_{c2}(t) = M_{c2}(k_{Q_{o2}-M_{c2}}(\bar{d}_\theta, Q_2, \vec{f}), k_{u_i-Q_{o2}}(\Delta S_1, Q_2, \vec{f}), k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, Q_2, \vec{f}), k_{M_{c2}-Q_{o2}}(\bar{d}_\theta, Q_2, \vec{f}), M_{c2}, u_i, t);$$

$$M_{c3}(t) = M_{c3}(k_{Q_{o3}-M_{c3}}(\bar{d}_\theta, Q_3, \vec{f}), k_{u_i-Q_{o3}}(\Delta S_1, Q_3, \vec{f}), k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, Q_3, \vec{f}), \dots$$

$$\dots k_{Q_{o2}-Q_{o3}}(\Delta S_3, Q_3, \vec{f}), k_{M_{c3}-Q_{o3}}(\bar{d}_\theta, Q_3, \vec{f}), M_{c3}, u_i, t); \quad (3)$$

$$M_{c\bar{a}}(t) = M_{c\bar{a}}(k_{Q_{o\bar{a}}-M_{c\bar{a}}}(\bar{d}_{\bar{a}}, Q_i, \vec{f}), k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, Q_i, \vec{f}), k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, Q_i, \vec{f}), \dots$$

$$\dots k_{Q_{o2}-Q_{o3}}(\Delta S_3, Q_i, \vec{f}), k_{M_{c\bar{a}}-Q_{o\bar{a}}}(\Delta S_{\bar{a}}, Q_i, \vec{f}), k_{u_y-M_{c\bar{a}}}(\bar{d}_{\bar{a}}, Q_i, \vec{f}), M_{c\bar{a}}, u_i, u_y, t).$$

Відзначимо, що M_{ci} та $M_{c\bar{a}}$ входять до складу аргументів відповідних функцій. Це відображає наявність в структурі моделі зворотних зв'язків.

Електрична потужність та струм навантаження, які споживає ПЕД шнека із мережі, визначаються характеристиками самого ПЕД, схемою його включення, сумарним моментом опору на його валу та характеристиками живильної мережі: напругою $U_{мережі}$ та частотою $\omega_{мережі}$. Дві останніх змінних належать і компонентам \vec{f} . Формально ці взаємозв'язки можна представити у виді:

$$P_{ПЕД}(t) = P_{ПЕД}(k_{M_c-P}(M_c, \bar{d}_{ПЕД}), M_c, U_{мережі}, \omega_{мережі}, t);$$

$$I_{ПЕД}(t) = I_{ПЕД}(k_{M_c-I}(M_c, \bar{d}_{ПЕД}), M_c, U_{мережі}, \omega_{мережі}, t), \quad (4)$$

де $k_{M_c-P}(M_c, \bar{d}_{ПЕД})$ – коефіцієнти перетворення M_c в споживані потужність або струм ПЕД;

$\bar{d}_{ПЕД}$ – вектор параметрів, що відображає конструктивні особливості ПЕД у формі його робочих характеристик.

Проаналізуємо роботу ПЕД преса-екструдера для різних моментів M_c , [6]. У тому випадку, якщо сумарний момент опору на валу ПЕД менший моменту перекидання його ротора $M_{IE\bar{A}}^{ie\bar{d}}$, тобто $M_c(t) < M_{IE\bar{A}}^{ie\bar{d}}$, то ПЕД працює у сталому режимі з частотою обертання на величину ковзання менше, чим синхронна частота його живильної мережі. При $M_c(t) < M_{IE\bar{A}}^{ie\bar{d}}$ значення поточного моменту обертання ПЕД

завжди дорівнює значенню поточного моменту опору $M_c(t)$. Підтримка такої рівності здійснюється ПЕД за рахунок зміни ним величини ковзання ротора, і, як наслідок – споживання електричної потужності $P_{\text{ПЕД}}$ із живильної мережі при струмі $I_{\text{ПЕД}}$. При номінальних значеннях напруги та частоти мережі ($U_{\text{мережі}} = U_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$, $\omega_{\text{мережі}} = \omega_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$), та номінальному значенні моменту опору $M_c(t) = M_c^{iii}$, значення споживаних ПЕД потужності та струму також дорівнюють номінальним: $P_{\text{ПЕД}}(U_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}, M_c^{iii}) = P_{i\dot{A}\dot{A}}^{iii}$, $I_{\text{ПЕД}}(U_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}, M_c^{iii}) = I_{i\dot{A}\dot{A}}^{iii}$.

У тому випадку, коли $M_c(t)$ перевищить $M_{i\dot{A}\dot{A}}^{ie\dot{d}}$, тобто при $M_c(t) > M_{i\dot{A}\dot{A}}^{ie\dot{d}}$, то ПЕД переходить до нестійкого режиму – режиму перекидання ротора. У цьому режимі ковзання ротора двигуна буде швидко та невідворотно зростати, одночасно буде зростати споживана із мережі $P_{\text{ПЕД}} \gg P_{i\dot{A}\dot{A}}^{iii}$ та струм його навантаження $I_{\text{ПЕД}} \gg I_{i\dot{E}\dot{A}}^{iii}$ впритул до струму короткого замикання $I_{i\dot{E}\dot{A}}^{e\dot{c}} \approx (6 \dots 8) I_{i\dot{E}\dot{A}}^{iii}$. Запобігаючи перегрів обмоток двигуна цим великим струмом підводячих кабельних трас та обмоток живильного трансформатора, тобто переростання аварійної ситуації в аварію, струмовий захист двигуна екстрено відключає його від мережі [7].

Перекидання ротора ПЕД може відбуватися тільки у випадку, коли $M_c(t)$ наростає дуже швидко, наприклад, коли значення хоча б одного з коефіцієнтів $k_{u_i-Q_{o1}}$, $k_{Q_{oi}-Q_{o(i+1)}}(Q_i, \vec{f})$, ..., $k_{Q_{o3}-Q_{oa}}(Q_i, \vec{f})$ виходить на своє обмеження. Це означає, що в одній із зон преса або в екструдуючій голівці виходить на обмеження масова продуктивність. При цьому, якщо ріст подачі, тобто ріст Q_m буде тривати, то в цій зоні преса відбувається нагромадження продукту та заклинювання ним шнека. Позначимо виникнення такої аварійної ситуації як подію $S(I_{\text{ПЕД}} > I_{i\dot{E}\dot{A}}^{\dot{a}\dot{d}+}) \equiv S_I^+$.

Змінну « $I_{\text{ПЕД}}$ » (альтернативи M, P) в позначенні аварійної ситуації використано з міркувань зручності розрахунку імовірності виникнення цієї S в реальному часі. Саме $I_{\text{ПЕД}}$ є найбільш легко вимірюваною та достатньо інформативною змінною для управління процесом. Останнє обумовлено тим, що величина $I_{\text{ПЕД}}$ визначає кількість теплоти, яка виділяється в обмотках ПЕД, і, в кінцевому підсумку – їхню температуру. Верхній індекс у змінній тут та далі буде позначати особливості встановленої межі, порушення якої призводить до « S ». У даному випадку індекс « gr^+ » означає, що порушується «верхня» межа $I_{\text{ПЕД}}$, тобто $I_{\text{ПЕД}} > I_{i\dot{E}\dot{A}}^{\dot{a}\dot{d}+}$.

Аварійне відключення ПЕД від мережі може відбуватися і при відсутності S_I^+ . У тих випадках, коли ПЕД працює з відносно невеликим перевантаженням по $I_{\text{ПЕД}}$ (звичайно більше 10 %), зокрема з періодичним перевантаженням, то обмотки двигуна поступово перегріваються (їхня температура $\theta_{\text{ПЕД}}$ вище припустимої температури $\theta_{i\dot{E}\dot{A}}^{\dot{a}\dot{d}+}$). У такій аварійній ситуації (позначимо її $S(\theta_{\text{ПЕД}} > \theta_{i\dot{E}\dot{A}}^{\dot{a}\dot{d}+}) \equiv S_{\theta}^+$) захист двигуна забезпечує тепловий захист, відключаючи ПЕД від мережі [7, 8]. Перевантаження двигуна такого типу може виникнути за наступними причинами:

- а) $M_c > M_c^{iii}$ при $U_{\text{мережі}} = U_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$, $\omega_{\text{мережі}} = \omega_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$;
- б) $U_{\text{мережі}} < U_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$ при $M_c = M_c^{iii}$, $\omega_{\text{мережі}} = \omega_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$;
- в) $\omega_{\text{мережі}} < \omega_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$ при $M_c = M_c^{iii}$, $U_{\text{мережі}} = U_{i\dot{a}\dot{d}\dot{a}e^3}^{iii}$.

Очевидно, що можливе одночасне сполучення декількох причин.

Слід відзначити, що безпосередній вимір $\theta_{\text{ПЕД}}$ та реалізацію на основі отриманої інформації теплового захисту ПЕД здійснюють рідко. Тим більше, що це завдання непросте не тільки технічно, але і методично, так як обмотка ПЕД як об'єкт виміру температури є об'єктом з розподіленими параметрами. Типовим технічним рішенням реалізації теплового захисту двигунів широкого промислового застосування є застосування теплових реле [7, 8]. Чутливий елемент теплових реле, по суті, є фізичною моделлю із зосередженими параметрами теплових характеристик ПЕД за каналом « $I_{\text{ПЕД}} - \theta_{\text{ПЕД}}$ ». Іноді, наприклад, при застосуванні частотного приводу або в ситуаціях, коли вирішується завдання досягнення максимальної енергетичної ефективності ПЕД, зазначену фізичну модель доповнюють (або заміняють) моделлю математичною [9]. У другому випадку на основі цієї моделі вдається оцінювати у реальному часі імовірність спрацьовування теплового захисту, прогнозувати момент часу її спрацьовування та з урахуванням цього цілеспрямовано управляти процесом.

Робота сил (моментів), що необхідна для переміщення матеріалу, обробки його тиском та екструдування перетвориться, в кінцевому підсумку, у тепло. За рахунок притока цього тепла відбувається нагрів

матеріалу, в частковості води, яка входить до його складу, всіх конструктивних елементів преса екструдера та навколишнього середовища. Енергія для здійснення цієї роботи береться із електричної мережі та перетворюється у механічну ПЕД. Такий енергетичний баланс відображається рівністю:

$$\int_{t_1}^{t_2} M_c(t) \omega_\theta(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} P_{IEA}(t) \cos(t) \eta(t) dt, \quad (5)$$

де $\omega_\theta(t)$, $\cos\varphi(t)$, $\eta(t)$ – відповідно частота обертання шнека, коефіцієнти потужності та корисної дії ПЕД у момент часу $t \in [t_1, t_2]$.

Відзначимо, що вираз (5) коректний для такого інтервалу часу $t_2 - t_1$, на якому устигають затухнути всі перехідні складові у електромеханічній системі преса-екструдера.

Коефіцієнти потужності та корисної дії для кожного конкретного ПЕД є нелінійними функціями трьох аргументів:

$$\begin{aligned} \cos\varphi(t) &= \cos\varphi(M_c / M_c^{iii}, U_{мережі} / U_{i\dot{a}d\dot{a}e^3}^{iii}, \omega_{мережі} / \omega_{i\dot{a}d\dot{a}e^3}^{iii}); \\ \eta(t) &= \eta(M_c / M_c^{iii}, U_{мережі} / U_{i\dot{a}d\dot{a}e^3}^{iii}, \omega_{мережі} / \omega_{i\dot{a}d\dot{a}e^3}^{iii}). \end{aligned} \quad (6)$$

Завданням управління, що реалізується за рахунок змін u_n повинне стати завдання регулювання (стабілізації) $I_{ПЕД}$ в околиці I_{IEA}^{iii} при дотриманні обмежень на інші змінні процесу, у тому числі ті, які будуть розглянуті нижче.

Канали перетворення управляючих впливів u_{ni} . Зміна u_{ni} призводить до зміни температурного поля θ_i , $i = 1, n$, та θ_Γ уздовж осі шнека, що пресує та головки екструдера. Важливо відзначити наступні особливості ресурсів управління за цими каналами. По-перше, вони істотно обмежені. Величина обмеження визначається потужністю встановлених ТЕНів, а вона, як правило, не перевищує 10...15 % від встановленої потужності ПЕД (P_{IEA}^{iii}). По-друге, ці ресурси можуть працювати тільки у режимі підведення тепла до матеріалу. Відвід тепла, що, наприклад, забезпечується у пресах-екструдерах, які використовуються у виробництві продукції на основі пластмас [10], конструкцією преса-екструдера не передбачений. Обидва цих фактори істотно обмежують можливості цих управляючих впливів.

Разом з тим, безпосереднє електропідігрівання зон пресування і, як наслідок, екструзійної голівки, дозволить:

а) швидше здійснити управляєме виведення преса-екструдера із режиму холостого ходу на робоче навантаження;

б) розширити припустиму область характеристик сировини, яка подається на екструдювання і, отже, область, у якій можна оптимізувати процес.

Прикладом таких характеристик може бути вологість (ступінь зволоження) сировини. Оскільки вода у процесах тертя виконує роль змащення та, одночасно, є досить теплоємним компонентом сировини, то тепло, яке виділяється за рахунок сил тертя, може виявитися недостатнім для забезпечення заданого температурного режиму пресування $\theta_i^{c\dot{a}}$, $i = 1, n$ і (або) екструдювання $\theta_{\dot{a}}^{c\dot{a}}$. Крім того, як правило, якість готового продукту при ЕРС підвищується з ростом значень усього поля температур за умови, що ці значення не виходять за межі, де починають проявлятися їх негативні наслідки.

Важливо відзначити, що, по крайній мірі, у сталому режимі роботи преса-екструдера основний потік тепла спрямовано у напрямку переміщення матеріалу. Інші потоки істотно менш значимі, і тут ми їх не розглядаємо.

З урахуванням викладеного, формально, залежності θ_i і θ_Γ від факторів, що впливають на них, можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} \theta_1(t) &= \theta_1(k_{u_{i1}-\theta_1}(Q_i, \vec{f}), u_{i1}, k_{M_{c1}-\theta_1}(Q_i, \vec{f}), M_{c1}, t); \\ \theta_2(t) &= \theta_2(k_{u_{i2}-\theta_2}(Q_i, \vec{f}), u_{i2}, k_{M_{c2}-\theta_2}(Q_i, \vec{f}), M_{c2}, \dots, k_{\theta_1-\theta_2}(Q_i, \vec{f}), \theta_1, t); \\ \theta_3(t) &= \theta_3(k_{u_{i3}-\theta_3}(Q_i, \vec{f}), u_{i3}, k_{M_{c3}-\theta_3}(Q_i, \vec{f}), M_{c3}, \dots, k_{\theta_2-\theta_3}(Q_i, \vec{f}), \theta_2, t); \\ \theta_{\dot{a}}(t) &= \theta_{\dot{a}}(k_{M_{c\dot{a}}-\theta_{\dot{a}}}(Q_i, \vec{f}), M_{c\dot{a}}, k_{\theta_3-\theta_{\dot{a}}}(Q_i, \vec{f}), \theta_3, t), \end{aligned} \quad (7)$$

де $k_{u_{i1}-\theta_1}(Q_i, \vec{f})$, $k_{M_{c1}-\theta_1}(Q_i, \vec{f})$, $k_{\theta_1-\theta_2}(Q_i, \vec{f})$, $k_{M_{c\dot{a}}-\theta_{\dot{a}}}(Q_i, \vec{f})$, $k_{\theta_3-\theta_{\dot{a}}}(Q_i, \vec{f})$ – коефіцієнти перетворення відповідних змінних.

Порушення припустимих меж температурного режиму ЕРС будемо розглядати як виникнення аварійних технологічних ситуацій. Такі аварійні ситуації можуть бути двох типів, що пов'язані:

а) з перегрівом продукту $S(\theta_i > \theta_i^{\dot{a}d+}) \equiv S_{\theta_i}^+$ і $S(\theta_r > \theta_{\dot{a}}^{\dot{a}d+}) \equiv S_{\theta_{\dot{a}}}^+$;

б) з недогрівом продукту $S(\theta_i < \theta_i^{\dot{a}d-}) \equiv S_{\theta_i}^-$ і $S(\theta_r < \theta_{\dot{a}}^{\dot{a}d-}) \equiv S_{\theta_{\dot{a}}}^-$.

Значення, які визначають припустимі межі температурних режимів ЕРС, тобто значення $\theta_i^{\dot{a}d+}$, $\theta_{\dot{a}}^{\dot{a}d+}$, $\theta_i^{\dot{a}d-}$, $\theta_{\dot{a}}^{\dot{a}d-}$, будуть залежати від виду сировини та мети його екструдуювання. Одним із завдань управління пресом-екструдером повинне бути завдання запобігання порушень зазначених обмежень, у тому числі, за рахунок змін u_{ni} .

Канали перетворення управляючого впливу u_e . Зміна u_e призводить до зміни робочого перетину каналу в екструзійній голівці, через який проходить матеріал безпосередньо перед його виходом із преса-екструдера. Там відбуваються завершальні пластичні деформації матеріалу, що екструдується, і, отже, формуються крайні значення полів тиску (P_2) та температур (θ_r) матеріалу уздовж осі його переміщення. Формальний опис зміни змінної θ_r відображено в (7). Зміни P_2 можна описати наступним чином:

$$P_{\dot{a}}(t) = P_{\dot{a}}(k_{u_e-P_{\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), u_e, k_{M_{\dot{n}\dot{a}}-P_{\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), \dot{I}_{\dot{n}\dot{a}}, t) = \\ = P_{\dot{a}}(k_{u_e-P_{\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), u_e, k_{M_{\dot{n}\dot{a}}-P_{\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), k_{Q_{o\dot{a}}-M_{c\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), k_{u_i-Q_{o1}}(\Delta S_1, Q_i, \bar{f}), \dots \\ \dots k_{Q_{o1}-Q_{o2}}(\Delta S_2, Q_i, \bar{f}), k_{Q_{o2}-Q_{o3}}(\Delta S_3, Q_i, \bar{f}), k_{M_{c\dot{a}}-Q_{o\dot{a}}}(\Delta S_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), k_{u_e-M_{\dot{n}\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f}), M_{c\dot{a}}, u_i, u_e, t). \quad (8)$$

де $k_{u_e-P_{\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f})$, $k_{M_{\dot{n}\dot{a}}-P_{\dot{a}}}(\bar{d}_{\dot{a}}, Q_i, \bar{f})$ – коефіцієнти перетворення для тиску матеріалу, що екструдується, в голівці.

Принципово важливо, що на тиск матеріалу в голівці преса-екструдера P_2 та його температуру впливає не тільки u_e , але і, причому вельми істотно, u_n . Одночасно, зміна u_e , як і зміна u_n , істотно впливає на величину навантаження ПЕД, що відображається на значеннях змінних $P_{ПЕД}$, $I_{ПЕД}$, $\theta_{ПЕД}$ та інших, взаємопов'язаних з ними. Таким чином, зміни значень одного з управляючих впливів для досягнення конкретної мети цього каналу управління, наприклад, стабілізації (регулювання) $I_{ПЕД}$ в околиці заданого значення $I_{ПЕД}^{c\dot{a}}$ для u_n , або стабілізації P_2 в околиці $P_{\dot{a}}^{c\dot{a}}$ для u_e , одночасно буде сприйматися як збурення для досягнення мети іншого каналу управління. Це свідчить про наявність сильних взаємних перехресних зв'язків між цими каналами. Причому динамічні властивості і прямих і перехресних каналів будуть сумірними, що обумовлює велику складність в ефективній реалізації ними однакових функцій, в частковості функцій регулювання [11].

Потенційно важливою альтернативою застосування u_e як регулюючого впливу для стабілізації P_2 є його застосування як оптимізуючого впливу [12]. Перспективою такого підходу, тобто вирішення завдання оптимізації, обумовлюється досить істотним впливом значення P_2 , і, отже, u_e на показники якості готового продукту, і, в частковості, їхні показники D_e , C_e , α_e , та, одночасно, на величину $P_{ПЕД}$.

Канали формування показників якості готового продукту. У якості таких показників тут розглядаються тільки непрямі показники якості D_e , C_e , α_e , інформація про які пов'язана з оцінкою зовнішнього вигляду продукту на виході із екструзійної голівки та може бути отримана оперативно в квазіреальному часі. Це можливо, оскільки всі процеси, що відбуваються при ЕРС, і коротко описані на початку статті, супроводжуються змінами зовнішнього вигляду продукту. Так, у частковості, при екструдуюванні порушується цілісність білкових оболонок крохмалю, що забезпечує доступ до нього вологи та її тепла. При такій обробці гранули крохмалю набухають, а на виході із екструзійної голівки вибухають перегрітою парою, що різко підвищує пористість та площу зовнішньої поверхні екструдата, знижує його щільність і, отже, змінює D_e та α_e . Надмірна денатурація білка може супроводжуватися меланізацією продукту, тобто процесом, при якому між його молекулами утворюються ковалентні зв'язки, що приводять до потемніння екструдата, і, отже, до зміни значення C_e [12, 13].

У самому загальному вигляді зміну змінних, що характеризують якість, може бути описано наступними залежностями:

$$D_e(t) = D_e(P_2, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_r, \bar{f}, t); \\ C_e(t) = C_e(P_2, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_r, \bar{f}, t); \quad (9) \\ \alpha_e(t) = \alpha_e(P_2, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_r, \bar{f}, t).$$

Вирази (9) можна було б в певному ступені конкретизувати, підставивши замість змінних $P_2 \dots \theta_r$ їхні вирази із (1) – (8). Це краще підкреслило б і без того очевидний факт, що показники якості продукту обумовлюються, у кінцевому підсумку (при інших рівних умовах) величиною управляючих впливів u_n , u_e , u_{ni} . Залежності (9) могли б бути розглянуті і раніше – при аналізі каналів перетворення управляючих

впливів. Однак це не робилося з тієї причини, що ЕРС, безпосередньо як процесор перетворення вхідних змінних в зазначені вихідні, має принципово важливі особливості:

а) істотно більше високий рівень невизначеності в (9), тобто велика залежність від \vec{f} , чим в раніше розглянутих процесах;

б) дуже сильні та слабо вивчені із-за \vec{f} перехресні зв'язки каналів управління змінними D_e, C_e, α_e .

Ці особливості визначають практичну неможливість розглядати ці змінні, принаймні, одночасно, як регульовані. Для розгляду їх, або однієї з них, як оптимізуємих (оптимізуємої) так само немає скільки-небудь істотних підстав. Разом з тим на значення цих змінних накладаються обмеження. Порушення припустимих меж цих змінних будемо розглядати як виникнення аварійних технологічних ситуацій. Загалом, аварійні ситуації можуть бути двох типів, пов'язані з порушеннями обмежень «зверху» $S_{D_e} (D_e > D_e^{\tilde{a}\tilde{d}+}) \equiv S_{D_e}^+, S_{\tilde{N}_e} (C_e > \tilde{N}_e^{\tilde{a}\tilde{d}+}) \equiv S_{\tilde{N}_e}^+, S_{\alpha_e} (\alpha_e > \alpha_e^{\tilde{a}\tilde{d}+}) \equiv S_{\alpha_e}^+$ та «знизу» $S_{D_e} (D_e < D_e^{\tilde{a}\tilde{d}-}) \equiv S_{D_e}^-, S_{\tilde{N}_e} (C_e < \tilde{N}_e^{\tilde{a}\tilde{d}-}) \equiv S_{\tilde{N}_e}^-, S_{\alpha_e} (\alpha_e < \alpha_e^{\tilde{a}\tilde{d}-}) \equiv S_{\alpha_e}^-$. Значення, що визначають припустимі межі змінних, тобто значення $D_e^{\tilde{a}\tilde{d}+}, \tilde{N}_e^{\tilde{a}\tilde{d}+}, \alpha_e^{\tilde{a}\tilde{d}+}, D_e^{\tilde{a}\tilde{d}-}, \tilde{N}_e^{\tilde{a}\tilde{d}-}, \alpha_e^{\tilde{a}\tilde{d}-}$ будуть залежати від виду сировини та мети його екструдуювання. Дотримання цих обмежень є одним із завдань управління процесом ЕРС.

4. Висновок. Аналіз процесу екструдуювання рослинної сировини, проведений у рамках розробки концептуальної моделі цього процесу як об'єкта управління дозволяє зробити наступні висновки.

1. Концептуальна модель процесу ЕРС є першим етапом розробки моделі цього процесу як об'єкта управління, мета якої скласти об'єктивну основу розробки ефективної САУ процесом. Розвиток моделі припускає конкретизацію властивостей каналів управління (прямих та перехресних), тобто конкретизацію виразів (1) – (8). В [14], судячи з назви роботи, розпочиналась спроба вирішити таке завдання на основі аналітичних методів. Однак, назва роботи погано відображає її фактичний зміст, тому що отримані моделі є моделями статистики з більшою кількістю допущень і для окремого випадку. Конструктивно використовувати їх для розробки САУ ЕРС неможливо. Візьмемо на себе відповідальність затверджувати, що більш-менш коректно описати динамічні властивості зазначених каналів ОУ можливо тільки на основі експериментальних методів.

2. У силу досить значущих для процесу ЕРС факторів, які відображаються в \vec{f} , математичні моделі каналів управління, отримані будь-якими методами, у тому числі й експериментальними, завжди будуть відображати лише окремі випадки реальних властивостей ОУ. При цьому із практичної точки зору безглуздо прагнути розширити набір моделей для конкретних наборів компонентів \vec{f} . Конструктивний вихід зі сформованої ситуації – застосування для управління алгоритмів з підвищеним запасом стійкості, зокрема, що включають пасивну [15] або активну [16] адаптацію (самонастроювання) і пошукових алгоритмів оптимізації, що не вимагають для своєї роботи моделей ефективності.

3. Кількість регламентованих змінних процесу ЕРС досить істотно перевищує кількість доступних для реалізації управляючих впливів. Це означає, що стабілізувати процес за всіма регламентованими змінними неможливо, і класичні підходи до побудови ефективних, і, отже, інтелектуально не примітивних, САУ, тут не застосовні. Перспективний варіант САУ – системи гарантуючого управління [17], які можуть дозволити управляти процесом, забезпечуючи виконання всіх встановлених технологічним регламентом обмежень на значення змінних і забезпечити взаємозв'язок різних функцій системи управління процесом.

Література

1. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с: ил.
2. Ковбаса В.М. Наукове обґрунтування високотемпературної екструзії природних біополімерів та розроблення раціональних технологій харчоконцентратів і хлібопродуктів поліпшеної якості: Автореф. ... докт. техн. наук. – Київ, 1998 р. – 41 с.
3. Хобин В.А., Егоров В.Б. Повышение эффективности процесса экструдирования комбикормов средствами автоматического управления // Зерновые продукты и комбикорма. – Одесса, 2008. – № 3 (31). – С. 53 – 54.
4. Хобин В.А. Функция гарантирования в системах автоматического управления // Автоматизация производственных процессов. – Київ, 2002. № 1(14). – С. 145 – 150.
5. Хобин В.А., Егоров В.Б. Процесс экструдирования растительного сырья как объект управления: особенности, задачи управления, структура // Мат. XV міжнарод. конф. з автоматичного управління

- (Автоматика – 2008). – Одеса: ОНМА, 2008. – Мат. в 2-х т. – Т. 2. – С. 643 – 646.
6. Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины: Асинхронные машины. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
 7. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты. – М.: Колос, 1979. – 112 с.
 8. Богаенко И.Н., Сердюк Ю.В., Шатунов М.А. Температурная защита асинхронных электродвигателей. – К.: Техніка, 1987. – 94 с.
 9. Хилал М. Прогнозирование перегрева приводных электродвигателей в задачах управления нагрузкой технологического оборудования: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.07. – Одесса, 1996. – 147 с.
 10. Володин В.П. Экструзия профильных изделий из термопластов. – СПб.: Профессия, 2005. – 480 с.
 11. Янушевский Р.Т. Теория линейных оптимальных многосвязных систем управления. – М.: Наука, 1973. – 464 с.
 12. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 3, часть 2. Теория нестационарных, нелинейных и самонастраивающихся систем автоматического регулирования // Под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1969. – 367 с.
 13. Магопец А.С. Исследование эффективности влаготепловой обработки зернового сырья в процессе экструзии: Автореф. ... канд. техн. наук. – Одесса, 1980. – 25 с.
 14. Насыров А.Ш. Моделирование процесса экструдирования как объекта управления при переработке материалов растительного происхождения: Дисс. ... канд. техн. наук. – Оренбург, 2004. – 162 с.
 15. Хобин В.А. Регулятор переменной структуры для объектов технологического типа // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: Херсонский гос. техн. университет, 2004. – № 1 (13). – С. 190 – 196.
 16. Самонастраивающиеся системы. Справочник // А.Г. Ивахненко, П.И. Чинаев, П.И. Чумаков, В.И. Костюк и др. – К.: Наукова думка, 1969. – 528 с.
 17. Хобин В.А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения / Монография: Одесса: «ТЭС», 2008. – 304 с.

УДК 681.51:[621.576:66.048.913]

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ АДХМ

Хобін В.А., д-р техн. наук, професор, Тіглова О.О., аспірант
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна

Для підвищення ефективності експериментальних досліджень АДХМ як об'єкту управління і процесів управління нею розроблено спеціалізоване автоматизоване робоче місце (АРМ). Запропоноване АРМ реалізує функції збору інформації і графічного представлення ходу технологічного процесу, зберігання і первинну обробку отриманої інформації, а також формування команд оператора-дослідника по зміні параметрів процесу й автоматичне управління на основі вибраного алгоритму.

For the increase of the efficiency absorption-diffusional refrigeration vehicles (ADRV) experimental researches as management object and its management processes the specialized workstation is developed. Offered workstation realize the functions of information collection and graphic presentation of the technological process conduct, storage and roughing-out of the got information, and also forming operator-researcher commands of on the process parameters change and automatic control on the basis of the chosen algorithm.

Ключові слова: АДХМ, дефлегматор, температура, вимір, перетворення, управління, АРМ.

Традиційним і найбільш поширеним джерелом виробництва холоду є компресійні холодильні машини (КХМ). Їх істотні недоліки: а) проблеми з переходом на екологічно безпечні хладагенти; б) безальтернативне джерело енергії — змінна напруга промислової частоти з ГОСТірованими характеристиками; в) низький ресурс роботи компресора КХМ в умовах нестабільних характеристик живлячої напруги, його висока вартість та необхідність заміни при ремонті.

Альтернативою КХМ є абсорбційно-дифузійні холодильні машини (АДХМ). Їх робоче тіло — водоміачний розчин (ВАР) з інертним газом екологічно безпечний. Відсутність компресора підвищує їх ресурс і надійність, робить роботу АДХМ безшумною. Дуже важливо, що джерелами теплової енергії АДХМ можуть бути як електрична енергія, у тому числі, низької якості, наприклад, що генерується про-