

обирається за запропонованим критерієм режиму гірничих робіт, який в максимальній мірі буде наближений до продуктивності кар'єру з кожного з видів корисних копалин, визначених за економічними умовами;

відповідно до динаміки коливань об'ємів технологічних сортів руд та розкривних порід визначається рівень максимально можливої стійкої продуктивності кар'єру з кожного виду корисної копалини;

за методом О.І. Арсентьєва визначається доцільність відкритого способу розробки. При позитивному результаті перевірки умов розрахункового принципу намічається контур кар'єру другого етапу, для умов якого всі графо-аналітичні роботи повторюються.

#### *Список літератури*

1. Пижик М. М. Сучасні підходи до визначення оптимальних проектних рішень при комплексному освоєнні родовищ корисних копалин із застосуванням критерію максимуму прибутку в умовах ринкової економіки / М. М. Пижик, В. В. Терещенко, Ю. І. Григор'єв // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 37. – С. 273–276.
2. **Норми технологічного проектування** гірничовидобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. - К.: Мінпромполітики, 2007.
3. Открытые горные работы. Справочник. - М.: Горное бюро, 1994.
4. **Ю.И. Анистратов.** Технологические процессы открытых горных работ - М.: Недра, 1995.
5. **Ю.И. Анистратов.** Проектирование карьеров - М.: МГИ, 1983.
6. **А.И. Арсентьев.** Определение производительности и границ карьеров. - М.: Госгортехиздат, 1961.
7. **А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков.** Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений. - М.: Недра, 1994.
8. **Астахов А.С.** Динамические методы оценки эффективности горного производства. - М. Недра, 1973.
9. Теория и практика открытых разработок. Под ред. Н.В. Мельникова. - М.: Недра, 1973.
10. **Хохряков В.С.** Автоматизированное проектирование карьеров. - М.: Недра, 1985.

Рукопис подано до редакції 19.03.2021

УДК 004.451.25:[622.788:621.867]

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,  
А.М. ТИХАНСЬКА, асист., Криворізький національний університет

### **НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА**

**Мета.** Головною метою цієї роботи є вирішення актуального завдання підвищення ефективності процесу шихтування і покращення якості продуктів збагачення за рахунок автоматизації процесу шихтування шляхом побудови автоматизованої системи керування з використанням засобів нечіткої логіки.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використані методи математичного моделювання для аналізу якості перехідних процесів і швидкодії розробленої системи управління процесом підготовки агломераційної шихти з моделями нечіткої логіки, теорії ідентифікації систем для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування. А також методи розроблені в теорії автоматичного керування, механіці, методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, а також, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

**Наукова новизна.** Пропонується автоматичне керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості руху конвеєрних живильників та за рахунок врахування параметрів які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме хімічного складу матеріалів, вологості, крупності тощо.

При цьому керування відбувається за рахунок використання нечіткого регулятора, налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів в залежності від збурюючих факторів. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора.

**Практична значимість.** Керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості стрічкового конвеєра з урахуванням параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме якості складових компонентів агломераційної шихти.

Авторами запропонована автоматизована система з використанням нечіткого регулятора, що покращує якість перебігу процесу підготовки шихти до спікання.

**Результати.** Автоматичне управління конвеєрними установками для підготовки агломераційної шихти до спікання з використанням засобів нечіткої логіки дозволяє враховувати збурюючі впливи зумовлені вимірюваними та невимірюваними збуреннями та підтримувати показники якості управління в заданих межах.

**Ключові слова:** автоматизація, керування, агломерація, агломераційна шихта, стрічковий конвеєр, нечітка логіка, нечіткий регулятор.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-33-41

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Широке впровадження систем автоматизації у агломераційному виробництві пов'язано зі зростанням виробництва агломерату, та підвищенням вимог до його якості. Важливе значення мають такі операції, як підготовка, дозування та завантаження шихти у приймальні бункери агломашин, а також дозування окремих компонентів, змішування, зволоження і огрудкування. Рівномірне заповнення приймальних бункерів спікального відділення шихтою забезпечує підтримку висоти шару шихти на аглострічці кожної агломашини.

Виконання заданих вимог до якості агломерату можливо тільки при автоматизації керування параметрами технологічного процесу всього агломераційного комплексу, а також залежить від якості агломераційної шихти. Огляд та аналіз існуючих засобів автоматизації показав, що існуючі системи враховують не усі збурюючі фактори, які важливі для конкретного підприємства. Тому в роботі розглянуто впровадження засобів нечіткої логіки при розробці систем керування, що при формуванні керуючої дії враховує перешкоди, які заважають процесу керування.

Таким чином якісна підготовка шихти є одним з найважливіших етапів виробничого процесу.

В стратегії покращення ефективності агломераційного виробництва важливе місце займає стабільність хімічного складу шихти, що забезпечується впровадженням автоматичних систем підготовки, дозування та завантаження шихти у приймальні бункери з використанням засобів нечіткої логіки, тому питання модернізації процесу підготовки шихти є актуальним.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Питаннями автоматизації процесів агломерації займається цілий ряд вітчизняних та закордонних вчених [1-6]. Вони розглядають окремі підсистеми загальної системи керування, стандартне обладнання автоматизації та модернізують існуючі системи. Розглянемо ряд відомих досліджень з питань автоматизації огрудкування агломераційної шихти, сучасних методів аналізу для визначення елементного складу аглошихти та вдосконалення конструкції системи завантаження шихти.

В роботі [7] розроблено автоматизовану систему управління огрудкуванням агломераційної шихти, а також досліджено ефективність запропонованої системи за допомогою моделювання процесів у середовищі Matlab/Simulink.

Принцип роботи запропонованої АСУ (автоматизована система управління), базується на алгоритмі формування структури шихти, що завантажується на агломераційну стрічку, який розроблено на основі запропонованих моделей [8].

Згідно розроблених в роботі моделей, виконується прогноз фрикційного складу шихти на виході огрудковувача, а після цього – на виході проміжного бункера і на агломераційній стрічці.

За допомогою розробленої в роботі [7] моделі було проведено імітаційне моделювання процесу огрудкування для умов аглофабрики ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»» при відсутності АСУ, що пропонується і з її застосуванням. За результатами моделювання розроблена система дозволяє знизити різницю між ідеальним гранулометричним складом і гранулометричним складом огрудкованої шихти на 24,5%, при цьому знижено дисперсію даної величини на 68,5%.

Проте, запропонована система не є адаптивною, тобто її структура розроблена під функціонування в умовах конкретної аглофабрики, що ставить під сумнів її переваги для інших об'єктів.

На аглофабриці компанії ThyssenKrupp у м. Дуйсбург (Німеччина) впроваджена система «СВ Omni» на основі методу гамма-нейтронно-активаційного аналізу (PGNAA) для визначення елементного складу аглошихти. Даний метод аналізу має технічно прогресивний потенціал для оптимізації процесу агломерації за трьома параметрами одночасно [9].

Результати 4-річної експлуатації показали, що можливо визначити склад аглошихти в потоці з точністю порівняною з лабораторними даними. На основі даних, отриманих за допомогою аналізатора в режимі реального часу відбувається коригування дозування вапняку.

На практиці виконання таких вимог вимагає досить частого відбору проб для хімічного аналізу компонентів, що доволі складно при дозуванні багатокomпонентної шихти. Однак, даний спосіб передбачає індивідуальне коригування, але не забезпечує досить високої якості і точності стабілізації основності агломерату.

У роботі [10] пропонується нова конструкція складового завантажувального лотка. Це є вдосконаленням конструкції системи завантаження шихти і сприятиме підвищенню ефективності агломераційних машин та якості агломерату.

Запропонований завантажувальний лоток пройшов випробування на ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»», встановлений і успішно експлуатується на п'яти з шести агломераційних машин аглофабрики даного підприємства.

Ефективність методу [11] відносно нещодавно була підтверджена для умов аглофабрики ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Підпресуванню піддавалася шихта, взята перед подачею в огрудкуючий барабан. Незважаючи на істотне руйнування пресовок в ході подальшої обробки, тривалість спікання такої шихти зменшилася в порівнянні з ординарною шихтою в 1,84 рази при збільшенні товщини шару на 13%, а вихід фракції агломерату менше 5 мм знизився на 7,9% [12]. Недоліком такого способу є обробка підпресуванням всієї шихти, що веде до значних капітальних витрат на реалізацію даного способу.

На маріупольському заводі «Азовсталь» і на НКГОК впроваджена САК (система автоматичного керування) дозуванням шихти, що розроблена лабораторією автоматизації агломераційного виробництва Інституту автоматики [13]. Система забезпечує безперервний потік шихти, при цьому вимагається здійснення автоматичного повернення та автоматизація систем розподілу агломераційної шихти по машинам, без чого автоматичне керування дозуванням є малоефективним.

**Постановка задачі.** Аналіз існуючих систем процесу агломерації в Україні та за кордоном показав, що процес достатньо автоматизований, однак, існуючі системи управління мають суттєві недоліки, що не дозволяє забезпечити сталість високої якості вихідного продукту. Пов'язано це з тим, що збурення, в основному, відносяться до якісних характеристик компонентів шихти, які прямо не вимірюються.

Застосування засобів нечіткої логіки в розробці систем керування дозволяє виділити істотні переваги цього підходу та застосувати досвід операторів і технологів для управління процесами. Це дозволяє систематизувати емпіричні знання і застосувати їх для управління процесами в разі труднощів із використанням класичних методів управління. Методи нечіткої логіки не замінюють традиційні підходи до створення систем управління, а навпаки, доповнюють їх.

Проведений аналіз застосування нечіткої логіки в системах керування показав, що її використання доцільно в системах підготовки агломераційної шихти. Тому дослідження питання автоматизації підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора є актуальним завданням.

Для вирішення цього завдання необхідно обґрунтувати вибір та обрати тип регулятора, який забезпечить оптимальні показники якості агломерату, виконати модернізацію існуючої системи підготовки агломераційної шихти за рахунок використання обраного регулятора, що дозволить підвищити якість агломераційної шихти і, відповідно, готового продукту.

**Викладення матеріалу та результати.** Агломераційний процес можна поділити на такі операції (ділянки): поточно-транспортні операції; вагове дозування компонентів шихти; зволоження і огрудкування шихти; завантаження шихти на аглострічку; запалювання шихти; спікання шихти. Відповідно до цих ділянок будуються локальні системи автоматичного регулювання та керування.

Основним завданням ділянки транспортування і завантаження шихтових матеріалів є безперебійне постачання відділення спікання шихтою в кількості, що дорівнює споживанню її агломашин.

У зв'язку з технологічними особливостями процесу транспортування, а також впливів збурюючих факторів, відбуваються коливання величини потоку матеріалу, що надходить на стрічку конвеєра. Тому необхідно виконувати регулювання ваги матеріалу, який завантажують

на конвеєр, а далі у бункер на заданому (необхідному) рівні. Цього можна досягти регулюванням продуктивності (швидкості) стрічкового конвеєра. Контроль і зворотний зв'язок по продуктивності здійснюється за допомогою конвеєрних ваг, розташованих на деякій відстані від місця завантаження.

Виконаємо математичний опис системи підготовки агломераційної шихти, а саме керування швидкістю конвеєра.

Структурна схема САУ швидкістю конвеєра представлена на рис.1. Розрахункова передаточна функція об'єкта регулювання має такий вигляд

$$W_{OP}(p) = W_{зк}(p) \cdot W_{мех}(p) \cdot W_{ваз}(p),$$

де  $W_{зк}(p)$  – передаточна функція замкнутого контуру швидкості;  $W_{мех}(p)$  – передаточна функція конвеєра;  $W_{ваз}(p)$  – передаточна функція конвеєрних ваг.

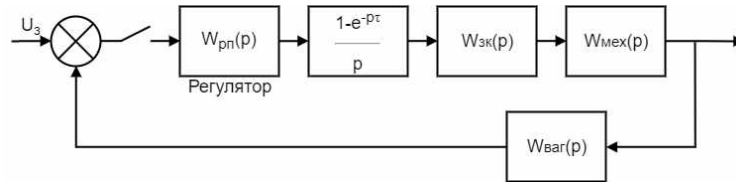


Рис. 1. Структурна схема САУ швидкістю конвеєра

Передаточні функції елементів системи мають вигляд

$$W_{зк}(p) = k_{зк} / (T_c p + 1);$$

$$W_{мех}(p) = k_{мех} \cdot e^{-p \cdot \tau_{мех}};$$

$$W_{ваз}(p) = k_{ваз} / (T_{ваз} \cdot p + 1).$$

Для того, щоб проаналізувати системи керування завантаженням аглошихти у бункери виконаємо розрахунок і аналіз системи керування завантаженням аглошихти з ПІД - регулятором та з застосуванням засобів нечіткої логіки, а саме, з нейрорегулятором.

Проведемо аналіз динамічних режимів САУ з ПІД - регулятором продуктивності (рис.2). Моделювання виконується відповідно до структурної схеми, наведеної на рис.1.

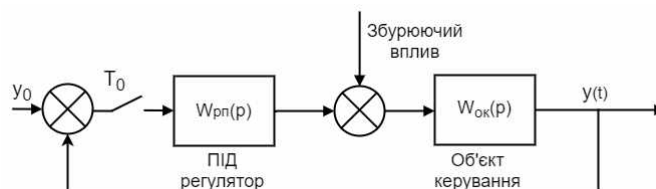


Рис. 2. Структурна схема САК з використанням ПІД-регулятора

Передавальна функція об'єкта, а саме конвеєра, що завантажує бункери відповідними складовими агломераційної шихти, має вигляд

$$W_{ок}(p) = \frac{1 - e^{-p\tau}}{p} \cdot W_{зк}(p) \cdot W_{мех}(p) \cdot W_{ваз}(p).$$

Передавальна функція ПІД - регулятора має вигляд

$$W_p(z) = k_p \cdot \left[ 1 + \frac{T(1+z^{-1})}{2T_i(1-z^{-1})} + \frac{T_d(1-z^{-1})}{T} \right].$$

Розглянемо динамічні процеси в об'єкті регулювання із застосуванням ПІД-регулятора. Для оптимізації протікання перехідного процесу (ПП) в систему необхідно ввести регулятор. Структурна схема системи з ПІД-регулятором, побудована в Simulink, представлена на рис.3.

Процедура налаштування ПІД-регулятора починається з експериментального дослідження системи, що складається з визначення коефіцієнта передачі. Для чого коефіцієнт передачі регулятора збільшується до тих пір, поки на виході системи не встановляться коливання з постійною амплітудою коливань, тобто система не опиниться на межі стійкості. Такий коефіцієнт, фіксується та позначається через  $K_{КР}$ , при якому система знаходиться на межі стійкості. Вимірюється період  $T_{КР}$  встановлених у системі коливань.

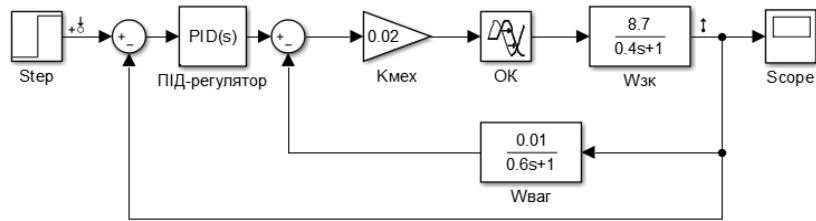


Рис. 3. Simulink-модель САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням ПІД-регулятора

Недоліком цього варіанту методу Зіглера–Нікольса є необхідність виводити систему на межу стійкості, що для багатьох об'єктів управління робити не рекомендується.

Розрахуємо параметри передавальних функцій

$$k_{зк}=8,7; T_c=0,4, \text{ с};$$

$$k_{мех} = Q/\omega = 2000/89,9 = 0,02; \tau = L/v = 9,99/2 = 4,5, \text{ с},$$

де  $Q$  - продуктивність стрічкового живильника;  $\omega$  - максимальна швидкість обертання валу двигуна;  $\tau$  - час запізнення, що враховує проходження вантажу від точки завантаження до місця установки вагів;

$$k_{ваг} = \frac{U_{max\text{ваг}}}{Q_{ваг}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ В/(м/ч)},$$

де  $U_{max\text{ваг}}$  - максимальна напруга на виході вагів, що відповідає максимальній вимірюваній продуктивності  $Q_{ваг}$ ;  $U_{max\text{ваг}} = 10 \text{ В}$ ;  $T_{ваг} = 0,6 \text{ с}$ .

Прийmemo період квантування для регулятора  $T_0 = 0,01 \text{ с}$ . При такому періоді квантування характеристики дискретного регулятора наближаються до характеристик безперервного регулятора.

Керуючий вплив на виході дискретного ПІД - регулятора має вигляд

$$u(n) = u(n-1) + k_p \cdot \left(1 + T_0 T_i + \frac{T_d}{T_0}\right) \cdot e(n) +$$

$$+ k_p \cdot \left(T_0 T_i - 2 \frac{T_d}{T_0} - 1\right) \cdot e(n-1) + \left(k_p \cdot \frac{T_d}{T_0}\right) \cdot e(n-2),$$

де  $e(n)$  - поточне відхилення регульованої величини від завдання регулятора (сигнал на вході регулятора);  $T_i$  - постійна часу інтегрування;  $T_d$  - постійна часу диференціювання;  $k_p$  - коефіцієнт підсилення ПІД - регулятора.

Коефіцієнт підсилення та постійні часу обчислюються за формулами

$$k_p = \frac{(T_c + T_{ваг})}{(k_{ваг} + k_{мех} + k_{зк})} = \frac{(0,04 + 0,06)}{(78,7 + 1,16 + 0,01)} = 0,00125 ;$$

$$T_i = T_c + T_{ваг} = 0,04 + 0,06 = 0,1, \text{ с};$$

$$T_d = \frac{T_c \cdot T_{ваг}}{T_c + T_{ваг}} = \frac{0,06 \cdot 0,04}{0,06 + 0,04} = 0,00024, \text{ с}.$$

Для визначення якості процесу побудуємо графіки ПП та ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням ПІД регулятора та визначимо основні показники якості (рис. 4).

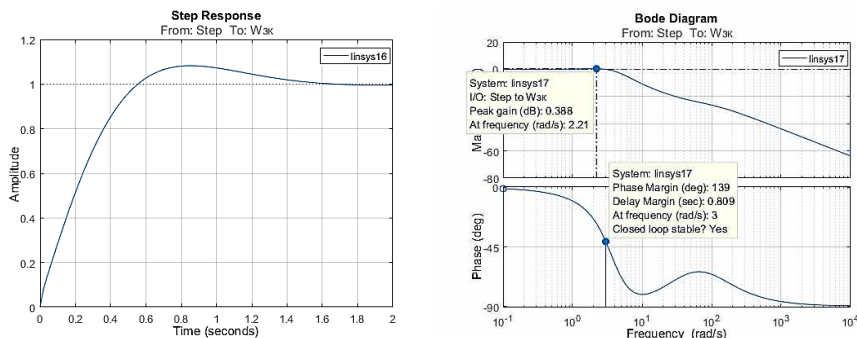


Рис. 4. Графіки ПП та ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням ПІД регулятора

В порівнянні з системою без регулятора, у системі з ПД – регулятором характер протікання перехідного процесу більш наближений до аперіодичного. Покращилася швидкодія системи, а також показник перерегулювання, що відтепер знаходиться в допустимих межах. Можна вивести такі показники якості:  $T_{III} = 2$  с,  $t_n = 1,39$  с;  $\sigma = 8,23\%$ ;  $t_n = 0,413$  с;  $h_{MAX} = 1,08$ ;  $t_m = 0,854$  с.

У більшості додатків автоматизації технологічних процесів, що використовуються в даний час, НЛ (нечітка логіка) дозволяє застосувати досвід операторів і технологів для управління процесами [14]. Теорія нечіткої логіки описує методи управління, які нескладно застосувати для реальної системи. Використання нечіткої логіки дозволяє описувати окремі частини виробничого процесу, такі як ініціалізація, завдання параметрів і т.д [14].

НЛ логіка, яку ще називають "fuzzy control", може бути корисна при недостатньо точному знанні об'єкта управління. Нечіткі методи дозволяють будувати відносини введення-виведення на основі знань експерта без необхідності створення складної математичної моделі.

Розглянемо динамічні процеси в об'єкті регулювання із застосуванням нечіткого регулятора.

Нечітке керування (управління на основі методів теорії нечітких множин) [15] використовується при недостатньо точному знанні об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним, в нелінійних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка, а також у випадках, коли за умовами задачі необхідно використовувати знання експерта.

Нечітке управління ефективно у випадках, коли параметри об'єктів не є детермінованими, коли існує певний досвід експертів з керування і налаштування автоматизованої системи регулювання (АСР). Теорія нечіткої логіки дозволяє використовувати знання фахівців з метою поліпшення процесів управління і надання допомоги з налаштування типових регуляторів [16].

Для оптимізації ПП необхідно ввести в систему регулятор на базі нечіткої логіки, що буде визначати оптимальні налаштування ПД-регулятора для його адаптації до об'єкта керування. Структурна схема системи, побудована в Simulink, представлена на рис.5. Наступним кроком є створення системи нечіткого виводу в Matlab (рис.6).

Після цього проводиться фазифікація вхідних і вихідних лінгвістичних змінних (ЛЗ). Фазифікація вхідних значень (помилки регулювання (E), її інтеграла і похідної) проводиться відповідно до рекомендацій [17]. Приклади графіків функцій належності вхідних ЛЗ представлені на рис. 7.

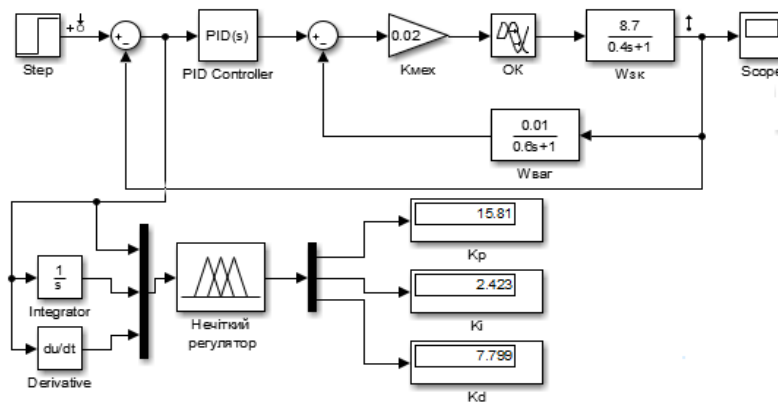


Рис.5. Simulink-модель САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням регулятора на базі нечіткої логіки

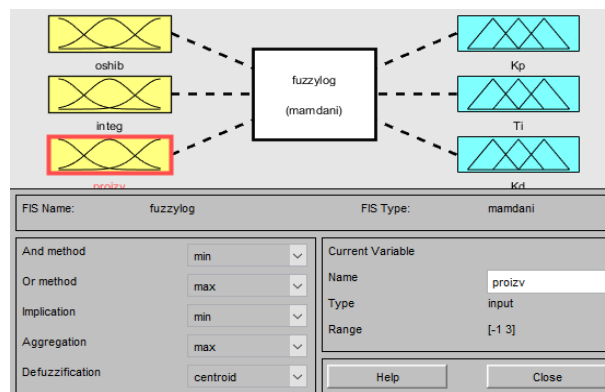


Рис. 6. Структура нечіткого регулятора в редакторі FIS

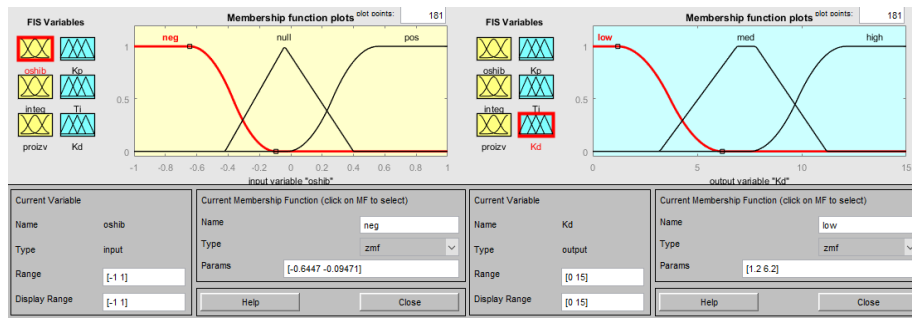


Рис. 7. Функції належності: величина помилки та вихід похідної

Наступний етап полягає у створенні бази правил виду «ЯКЩО ... ТО». Виходячи з рекомендацій зі спеціалізованої літератури [18], проведених експериментів в редакторі FLT пропонуються наступні правила (рис.8).

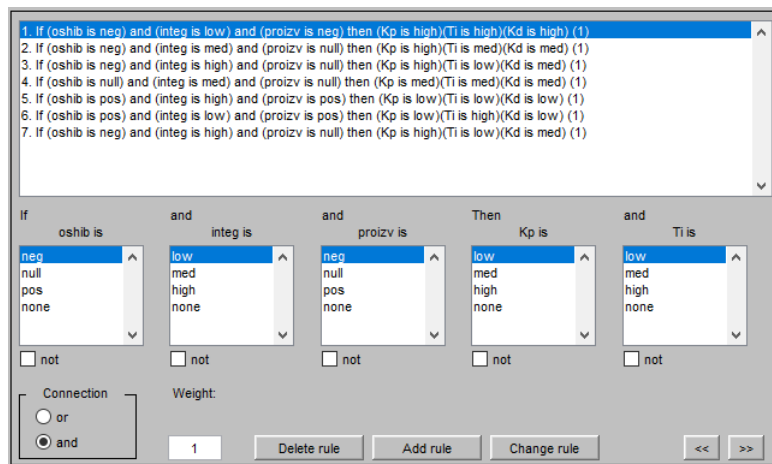


Рис. 8. База правил, за якими формується вихідний сигнал нечіткого регулятора

Після цього, спочатку виконується моделювання з ПІД-регулятором, що має налаштування коефіцієнтів. В результаті нечіткий регулятор видав коефіцієнти для адаптації ПІД-регулятора. Робота алгоритму нечіткого регулятора представлена на рис. 9. Поверхня залежності вихідної змінної від вхідних представлена на рис. 10. Отримані ПП та частотні характеристики представлені на рис. 11, 12.

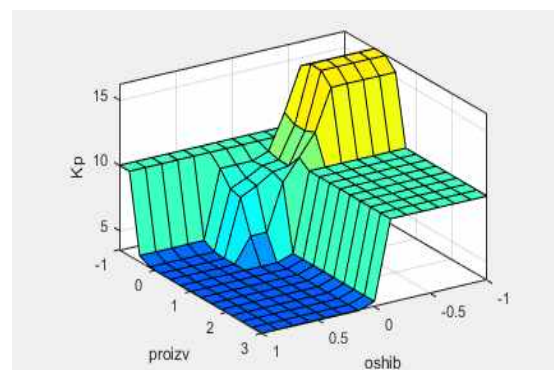
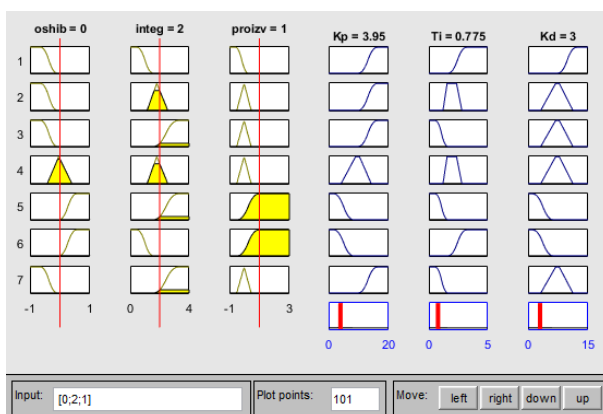


Рис. 9. Демонстрація роботи алгоритму нечіткого регулятора

Рис. 10. Поверхня «входи - вихід» нечіткої системи

Згідно з графіком (рис.10) отримали аперіодичний ПП. В системі зникли коливання, покращилася швидкодія та інші показники якості: час перехідного процесу, який відповідає 5% відхиленню від установленого значення –  $T_{III} = 0,4$  с; перерегулювання -  $\sigma = 0\%$ ; перше максимальне відхилення –  $h_{MAX} = 0,774$ ; час досягнення першого максимуму –  $t_M = 0,0194$  с. Стійкого стану досягнуто при значенні амплітуди – 1.

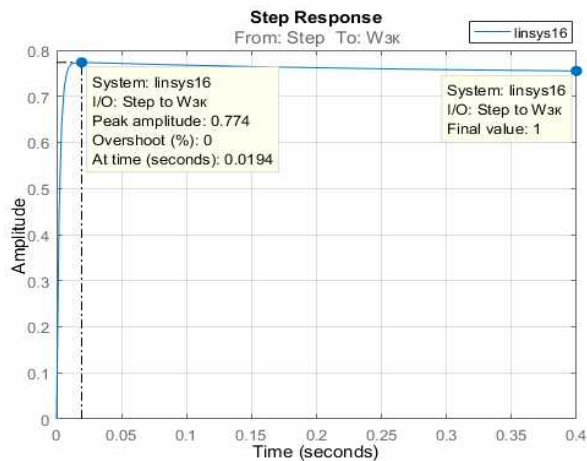


Рис. 11. Графік ПП САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням нечіткого регулятора

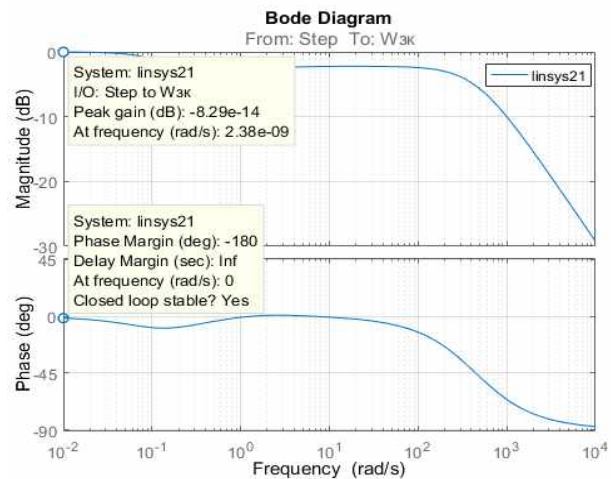


Рис. 12. Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням нечіткого регулятора

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Нечітке керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок використання нечіткого регулятора, дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва. Виходячи з аналізу технологічного процесу, визначено основні параметри і впливи системи керування. Основним регульованим параметром є швидкість руху стрічки конвеєра, що забезпечує оптимальну продуктивність процесу підготовки та завантаження аглошихти.

Використання автоматизованого регульованого приводу надає додаткові можливості для керування підготовкою агломераційної шихти. У роботі проаналізовано математичну модель процесу агломерації. За результатами моделювання можна зробити висновок, що використання в системі нечіткого регулятора забезпечує найкращу швидкодію системи, а також маємо кращі показники якості, що забезпечить більш стабільний хімічний склад агломерату на виході та зменшить витрати палива.

Однак потенційні можливості автоматизованого управління вичерпані не повністю. Продовжують залишатися актуальними наступні завдання: зниження трудомісткості обслуговування автоматизованого агломераційного виробництва, ймовірності відмов в роботі і часу простоїв лінії в результаті відмови.

#### Список літератури

1. **Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н.** Агломерация рудных материалов. Научное издание. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
2. **Коротич В.И., Фролов Ю.А., Каплун Л.И.** Теоретические основы технологий окускования металлургического сырья. Агломерация: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 417 с.
3. Змішування і огрудкування шихти. Режим доступу: вільний. URL: [https://studopedia.ru/20\\_83657\\_zmIshuvannya-I-ogrudkuvannya-shihti](https://studopedia.ru/20_83657_zmIshuvannya-I-ogrudkuvannya-shihti) (дата звернення: 15.09.2019). – Мова: укр.
4. **Базилевич С.В., Вегман Е.Ф.** Агломерация. Москва: Металлургия, 1967. 368 с.
5. Справочник агломератчика / А.Г. Астахов и др. Киев: Техника, 1964. 448 с.
6. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д.: Східний видавничий дім. 2004 - 2013 pp.
7. **Рахуба В.О.** Разработка и исследование АСУ формированием гранулометрических характеристик агломерационной шихты при подготовке к спеканию. Академический вестник Криворожского территориального отделения МАКНС. Кривой Рог: КрТо МАНКС. 2009. С. 5-9.
8. **Рахуба В.О., Пазюк М.Ю.** Функциональная структура АСУ качественными характеристиками агломерационной шихты в процессе ее подготовки к спеканию. Академический вестник Криворожского территориального отделения МАКНС. Кривой Рог: КрТо МАНКС. 2007. № 20. С. 11-14.
9. Paper ECIC 2011, Christoph Delwig, Hans Fettweis, Thomas Schnitzler, Stefan Wienströer (Thyssen Krupp Steel Europe, Duisburg, Germany).
10. **Овчинникова И.А.** Совершенствование системы загрузки шихты на агломерационную ленту. Запорожская государственная инженерная академия. 2009.
11. **Вегман Е.Ф.** Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974. 288 с.
12. **Учитель А.Д., Засельский В.И., Пополов Д.В.** Технологическая апробация подготовки агломерационной шихты к спеканию подпрессовкой. Металлургические процессы и оборудование. 2011. № 1. С. 42-47.
13. Автоматизация агломерационного и доменного производства. Сборник. К.: Техника, 1969. 206с.
14. Schneider Electric. Нечёткая логика // Техническая коллекция Schneider Electric. Вып. 31, 2009. с. 4-6.



15. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / под ред. Н.Д. Егупова, 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 744 с.

16. Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Методы настройки нечеткого адаптивного ПИД-регулятора. ААЭКС, 2009. №2 (24)

17. Ротач В.Я., Клюев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1984. 272 с.

18. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат, 1991. 234 с

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 624.131.23:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,  
Т.А. БАРОН, магістрант, Криворізький національний університет

## ВЛАШТУВАННЯ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ НА ПРОСІДАЮЧИХ ҐРУНТАХ

**Мета.** Вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

**Методи дослідження.** В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування. Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології. Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу за глибиною тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і навантаження від сил тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються зміни в лесовому масиві за його глибиною. При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати: виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів та конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань. Зведення будівель на просідаючих ґрунтах займає особливе місце в теорії і практиці будівництва. Це пояснюється, з одного боку, досить чутливою реакцією просідаючих ґрунтів на зовнішні впливи (зміна вологості, додаткового тиску від споруджуваних будинків і споруд та ін.), з іншого – розширюється спектр об'єктів, що будуються (висотні будівлі житлового та громадського призначення, великі виробничі та фабричні споруди, будівельні комплекси та ін.).

**Наукова новизна.** Вибір раціональної схеми усунення просідаючих властивостей основи в залежності від типу просідання.

**Практична значимість.** Від прийнятого проектного рішення залежать в значній мірі вартість і матеріаломісткість об'єкта, терміни будівництва, а також його експлуатаційна надійність.

**Результати.** Раціональні рішення з конструкції основ і фундаментів досягаються на основі сумісного врахування особливостей ґрунтових умов майданчика, закономірностей розвитку просідань, конструкційних особливостей будівель, умов їх експлуатації, наявності можливих джерел замочування.

**Ключові слова:** просідаючі ґрунти; пальовий фундамент; група граничних станів, будівля.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-41-46

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** На конструкції будівель і споруд діє комплекс несприятливих факторів, а окремі з них мають вирішальний вплив на їх несучу здатність і довговічність. Передчасне вичерпання їх експлуатаційних якостей і порушення технологічного процесу призводить до значних матеріальних витрат.

При будівництві часто стикаються зі складними інженерно-геологічними умовами (просідаючі, насипні і слабкі водонасичені ґрунти) з впливом агресивного середовища. Внаслідок помилок, допущених на етапах досліджень, проектування, будівництва та експлуатації, термін служби будинків і споруд в ряді випадків значно коротше проектного. Наявність тріщин, локальних руйнувань порушує нормальну експлуатацію будівель. Витрати на відновлювальні роботи найчастіше співрозмірні з вартістю нового будівництва. Все це вимагає більш обґрунтованого підходу до врахування особливих умов при проектуванні і будівництві.

**Аналіз досліджень і публікацій.** На просідаючих ґрунтах при складних деформаціях основи не завжди можливо використовувати відомі технічні рішення, так як вони непридатні до цих умов роботи. Перші нормативні документи, що регламентують проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах, з'явилися на початку 30-х років ХХ-го століття. Основна роль в становленні науки про будівництво на просідаючих ґрунтах на цьому етапі належить Ю.М.