



ОСОБЛИВОСТІ ЕФЕКТИВНОГО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ АДАПТАЦІЇ РЕГУЛЯТОРА В САУ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРОМ

Для дослідження властивостей технологічних об'єктів управління використовується розширений метод типової статистичної ідентифікації. Розроблений за його допомогою алгоритм адаптації об'єкту у замкнутому контурі дає більш ефективний результат управління, якщо правильно моделюються та ідентифікуються вхідні впливи на САУ.

Ключові слова: процес гранулювання, типова статистична ідентифікація, додатковий сигнал, кореляційна функція, адаптивне управління.

Features of effective solution of the problem controller adaptation in the ACS press granulator. To investigate the properties of technological objects of control applied the expanded method of typical statistical identification. Designed with it help the algorithm of adaptation controller gives more efficient results in control, if properly identified and modeled input effects on ACS.

Keywords: granulation process, a typical statistical identification, additional signal, correlation function, adaptive control.

Вступ

Гранулювання є технологічним процесом, який може забезпечити поліпшення практично всіх показників якості розсипних комбікормів. За рахунок обробки парою і високим тиском у розсипних комбікормах відбуваються зміни структурно-механічних властивостей, перетворення складних високомолекулярних сполук в простіші, руйнування токсичних сполук. В результаті гранулювання виходить продукт з більш високим санітарним якістю, який легше засвоюється організмом тварин. Крім того, гранульовані комбікорми мають суттєву перевагу перед розсипними при зберіганні, перевезенні та застосуванні.

Прес-гранулятори (ПГ) є складними об'єктами управління, а процес гранулювання вельми енергоємним за витратами електричної енергії і пари. Це робить актуальною стратегію управління, орієнтовану на енергозбереження. Дослідження показують, що вимога мінімізації енерговитрат призводить до необхідності забезпечення максимальної продуктивності ПГ. Тому розробка і реалізація алгоритмів управління, що забезпечують експлуатацію пресів в найбільш ефективних режимах відповідно до стратегії, яка орієнтована на енергозбереження, є вельми нетривіальним завданням.

Мета і завдання дослідження

Набутий досвід показує, що цього можна досягти, нарощуючи алгоритми гарантуючого управління навантаженням ПЕД пресуючого вузла (матриці) можливістю самонастроювання і пошуку поточних оптимальних режимів обробки розсипного комбікорму парою. Тому метою статті є розробка і дослідження більш ефективних алгоритмів управління процесом гранулювання, а завдання полягає у виявленні тих особливостей, які на це істотно впливають.

Матеріали і методи

Відомо, що ПГ мають екстремум функції ефективності їхнього функціонування, розташований в області виникнення аварійної ситуації (АС). Причому межу області виникнення АС для конкретних типів ПГ може бути чисельно визначено. Так для пресу типу Б6-ДГЕ температура розсипного комбікорму не повинна перевищувати 85 °С, а струм навантаження

приводу електродвигуна (ПЕД) матриці – 200 А.

Це обмеження виражається в наявності граничного значення ступеня прогину біметалічної пластини теплового реле захисту привода матриці δ^{PP} , перевищення якого неприпустимо. Найбільш ефективні режими роботи преса досягаються при найбільш значеннях струму навантаження привода матриці I , тобто перебувають в області гранично-припустимих. Для зазначених умов доцільне застосування алгоритмів гарантуючого управління – СГУ [1]. Причому, оскільки АС викликає перевищення значення I^{PP} , саме цей параметр необхідно підтримувати на рівні, який гарантує безаварійність. У якості управляючого впливу на I обрано параметр u_V – швидкість обертання шнека живильника, що визначає об'ємну витрату продукту на вході змішувача.

Непрямим, але досить об'єктивним показником якості продукту є його температура після гідротермічної обробки θ . Цей параметр також використовується як регульована змінна, а управляючим впливом на θ обрано параметр u_G – витрата пари, яка подається до змішувача

Такі СГУ забезпечують досить високу ефективність функціонування в умовах, які характеризуються наявністю певної інформації про властивості об'єкту. Однак варто враховувати, що ПГ, який розглядається як ОУ, характеризується неповнотою початкової інформації, а також можливістю зміни своїх властивостей у процесі функціонування. Тому для забезпечення більш високої якості управління доцільне застосування нових інтелектуальних алгоритмів, зокрема, алгоритмів адаптації регуляторів та оптимізації режиму роботи ПГ.

З огляду на проблеми, які підлягають вирішенню і ті можливості, які дозволяють це зробити, можна сформулювати поточні задачі даної статті:

- 1) обрати в ОУ динамічні канали, які підлягають ідентифікації;
- 2) реалізувати в обраних каналах розроблену процедуру ідентифікації;
- 3) провести моделювання роботи СГУ із застосуванням цифрової імітаційної моделі ПГ та використанням алгоритму адаптації регулятора.

З використанням математичної моделі ПГ [2] з'являється можливість розробки та дослідження адаптивної СГУ в лабораторних умовах. Тому що алгоритм адаптації засновано на процедурі ідентифікації динамічного каналу моделі ОУ, а ПГ є багатоканальним ОУ, то необхідний вибір такого каналу.

З попередніх досліджень відомо, що управління ПГ здійснюється за каналом «швидкість живильника – струм навантаження привода матриці, що пресоє» ($u_v - I$), тому що струм навантаження найбільшою мірою визначає продуктивність, енергоспоживання та, відповідно, ефективність ведення технологічного процесу. У той же час цей канал піддається інтенсивним параметричним збуренням, які знижують якість регулювання та змушують зменшувати задане значення струму навантаження ПЕД матриці. Всі ці фактори свідчать про можливість та необхідність застосування розробленого алгоритму адаптації [3, 4] у СГУ за зазначеним каналом.

Структурну схему такої СГУ представлено на рис. 1. Всі розрахунки, необхідні для виконання процедури ідентифікації типових моделей та визначення оптимальних налаштувань регулятора струму, здійснюються в обчислювальному пристрої ОП.

У цій статті розглядається один з алгоритмів самоналаштування (адаптації), що дозволяє вести ідентифікацію моделі ОУ в режимі реального часу в складі замкнутого контуру САУ. Істотною відмінністю даного алгоритму є використання поетапного підходу при вирішенні задачі типової ідентифікації [3]. Він був розроблений і досліджений на прикладі СГУ (рис. 1) для контуру регулювання струму навантаження ПГ. Представимо його у вигляді блок-схеми на рис. 2.

Результати дослідження та їх обговорення

Дослідження показали, що зміни $I^{3Д}(t)$ (рис. 1) не повною мірою відповідають умовам по можливості ідентифікації контуру регулювання САР по каналу завдання. Причини цього наступні:

а) змінна $u^{3Д}(t)$ тільки в самих несприятливих умовах роботи СГУ або при поганому (за основними критеріями ефективності СГУ) налаштуванні контуру регулювання має ширину спектра достатню для якісної ідентифікації моделі системи. В «штатних»

умовах спектр $I^{3Д}(t)$ є істотно більш низькочастотним, ніж смуга пропускання САР;

б) змінні $I^{3Д}(t)$ і $I(t)$ не є повністю незалежними, хоча «перетворювач» з $I(t)$ в $I^{3Д}(t)$ є істотно не лінійним і інерційним.

Це не дозволяє скористатися безпосередньо методом двох-етапної параметричної ідентифікації об'єкта регулювання, що описан в [2]. Разом з тим зберігаються певні переваги СГУ для ідентифікації, в порівнянні із звичайними САР, про які йшлося вище. Компроміс між ефективністю роботи контуру гарантуючого управління та ефективністю ідентифікації моделі САР, на основі якої проводиться параметрична адаптація його регулятора, був знайдений в наступному. На вхід САР, адитивно $I^{3Д}(t)$ подається «додатковий» випадковий сигнал (ДВС) $I^Д(t)$ відносно невеликої інтенсивності. Основні вимоги ДВС зводяться до наступного:

1. Дисперсія ДВС повинна відповідати 10–30% від значення дисперсії вихідного сигналу $I(t)$. Чим вона більше, тим кращими стають результати ідентифікації. Однак при цьому погіршуються показники якості СГУ. Тому при виборі значення дисперсії ДВС варто йти на компроміс та враховувати обидва фактори.

2. Спектральна щільність ДВС повинна бути більш широкою за своїм складом, чим амплітудно-частотна характеристика САУ. Тому для його реалізації варто використовувати малоінерційний формуючий фільтр.

3. ДВС повинен бути стаціонарним ергодичним процесом. Для цього необхідно застосовувати «проріджування» сигналу, що надходить на формуючий фільтр.

В умовах нашого експерименту ДВС $u^Д(t)$ формувався з використанням базового генератора *Band Limited White Noise* (пакет Simulink) та фільтру $W_{\delta\delta}(p) = k/(Tp + 1)$.

Особливу увагу треба звернути на визначення властивостей ДВС в ході виконання алгоритму адаптації регулятора. Проведені імітаційні експерименти підтвердили важливість та вірність наведеної нижче методики створення моделі ДВС.

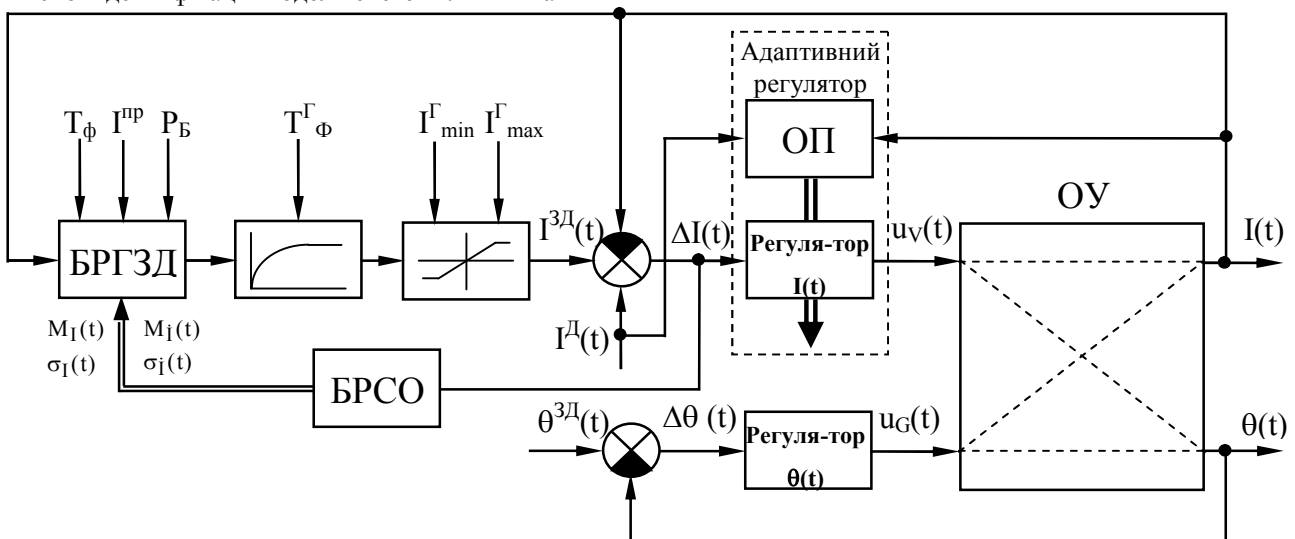
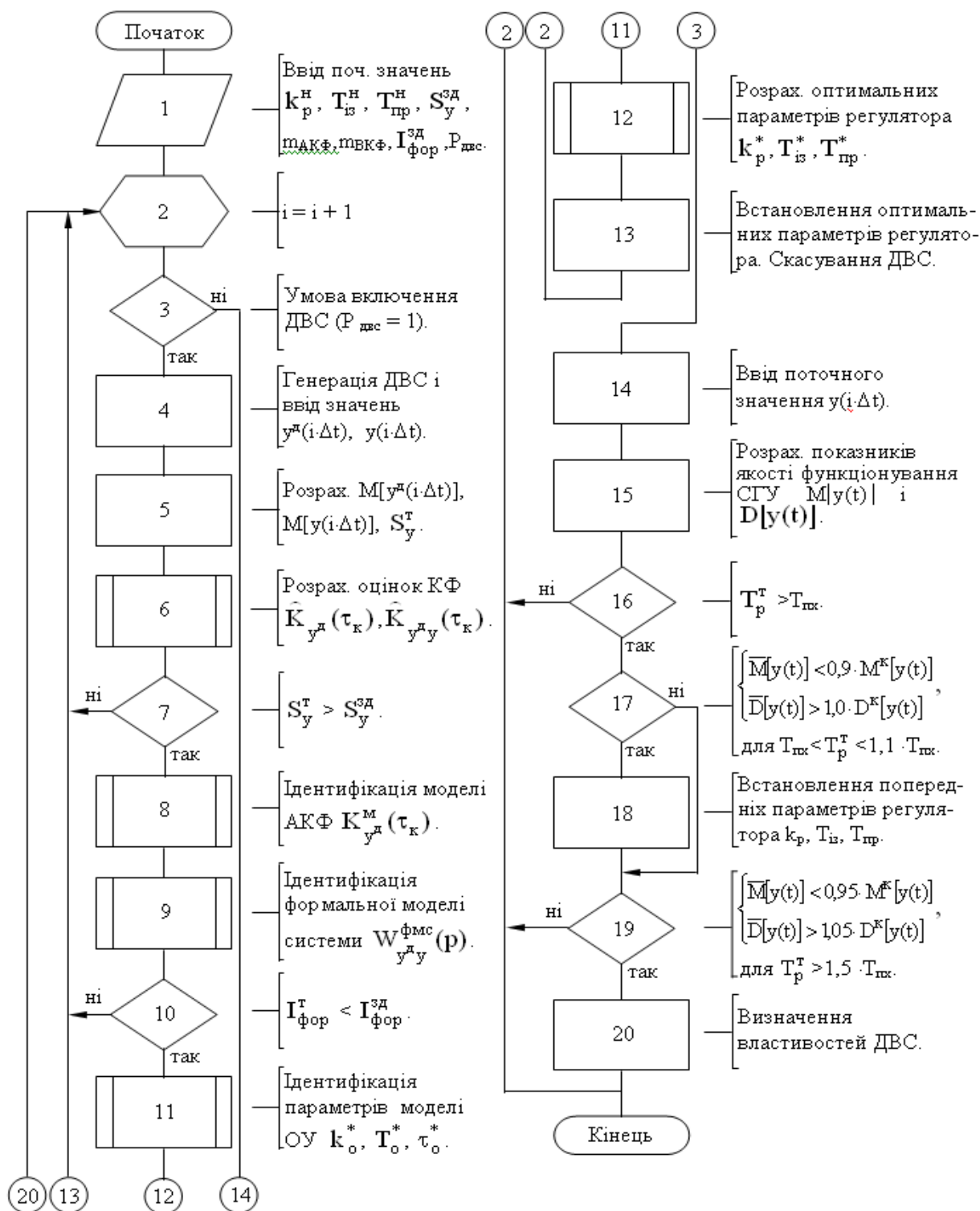


Рис. 1. Структурна схема адаптивної СГУ



ПРОЦЕСИ, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Рис. 2. Блок-схема алгоритму адаптації с ДВС

Таблиця 1

№	Кореляційна функція	Спектральна щільність
1	$R_f(\tau_{\hat{\epsilon}}) = D_f e^{-\alpha \tau_{\hat{\epsilon}} }$	$S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha}{\omega^2 + \alpha^2}$
2	$R_f(\tau_{\hat{\epsilon}}) = D_f e^{-\alpha \tau_{\hat{\epsilon}} } \cdot (1 - \alpha \tau_{\hat{\epsilon}})$	$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}$
3	$R_f(\tau_{\hat{\epsilon}}) = D_f e^{-\alpha \tau_{\hat{\epsilon}} } \cdot \cos(\beta \tau_{\hat{\epsilon}})$	$S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$

Якщо задана модель стохастичного процесу (СП), яку треба відтворити на ЕОМ, це означає, що задані математичні моделі кореляційної функції та спектральної щільності. Їх приклади наведені в таблиці 1.

Визначення формуючих фільтрів (ФФ). Для моделювання СП із заданими властивостями спочатку треба визначити передатну функцію ФФ $W_{\text{фф}}(p)$.

Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ та вихідного $f(t)$ сигналів взаємозв'язані

$$|W_{\text{фф}}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\text{фф}}(j\omega) \cdot W_{\text{фф}}(-j\omega). \quad (1)$$

Якщо СП $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована по формулі $S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_a}{3}$, де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_a - крок генерації СП.

Визначимо передатну функцію ФФ, якщо модель СП №1. Для цього в (1) підставимо вирази для спектральної щільності вхідного $x(t)$ та вихідного $f(t)$ сигналів як комплексні функції, тобто введемо змінну j :

$$\begin{aligned} |W_{\text{фф}}(j\omega)|^2 &= \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\text{фф}}(j\omega) \cdot W_{\text{фф}}(-j\omega) = \\ &= \frac{D_f 2\alpha}{-(j\omega)^2 + \alpha^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Після цього отриману частотну передатну функцію розподілимо на частину з $+j\omega$ та частину з $-j\omega$:

$$\begin{aligned} |W_{\text{фф}}(j\omega)|^2 &= \frac{1}{a} \cdot \frac{D_f 2\alpha}{(\alpha - j\omega)(\alpha + j\omega)} = \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}}{\alpha + j\omega} \right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}}{\alpha - j\omega} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

В операторній формі, після заміни $j\omega = p$, передатна функція буде мати такий вид:

$$W_{\text{фф}}(p) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}}{\alpha + p} = \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}}{\sqrt{a}(\alpha + p)} = \frac{\sqrt{2D_f/(a \cdot \alpha)}}{\alpha + p}. \quad (4)$$

Така передатна функція нам добре знайома, тому що є типовою динамічною ланкою:

$$W_{\text{фф}}(p) = \frac{k}{T_p + 1}, \text{ де } k = \sqrt{\frac{2D_f}{a \cdot \alpha}}, \quad T = \frac{1}{\alpha}. \text{ Саме вона і є}$$

ФФ для СП заданого моделлю №1. Для інших моделей СП можна провести такий ж самий розрахунок.

Моделювання СП та оцінювання його характеристик. Наведемо, для прикладу, основні вхідні дані, які потрібні для цього: $M_f=0$; $G_x=5.3$; $G_f=10.6$; $p(x)$ - для нормального (гаусового) СП; $\alpha=0.15$ для моделі №1.

Базовий випадковий сигнал (БВП) будемо реалізовувати за допомогою блоку **Band-Limited White Noise**, який формує процес у виді частотно-обмеженого білого шуму (рис. 3). В параметрах цього блоку можна налаштувати: **Noise power** - значення

інтенсивності (потужності) білого шуму, що є значенням спектральної щільності на нульовій частоті; **Sample time** - значення дискретності часу, або інтервал кореляції через який два вимірних значення стають некорельовані (також визначає верхнє значення частоти процесу); **Seed** - початкове значення послідовності випадкових чисел, які використовуються для побудови сигналу.

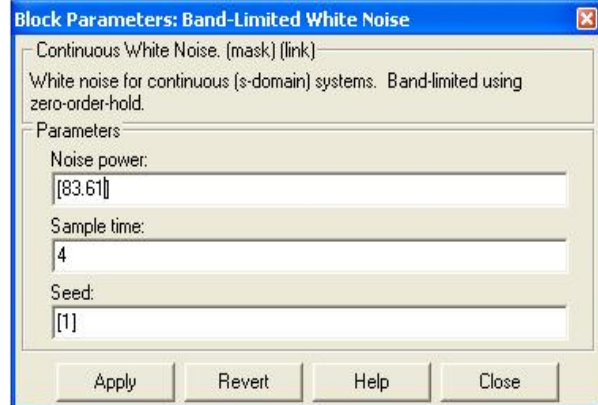


Рис. 3. Параметри блоку **Band-Limited White Noise**

Значення **Sample time** в цьому блоці визначає найбільшу частоту у спектрі вихідного сигналу. Вона дорівнює величині (у герцах), яка є оберненою до значення параметру **Sample time**. Тому останній не може дорівнюватися нулю.

Для вдалого моделювання СП із заданими властивостями слід правильно визначити крок генерації БВП Δt . Під кроком генерації у блоці **Band-Limited White Noise** будемо вважати значення **Sample time**.

Далі треба визначити крок моделювання Δt та крок запису dt у файл для обробки. Крок моделювання задається у вкладці **Simulation parameters** \rightarrow **Fixed step size**. А крок запису у блоці **To File SP** (рис.4).

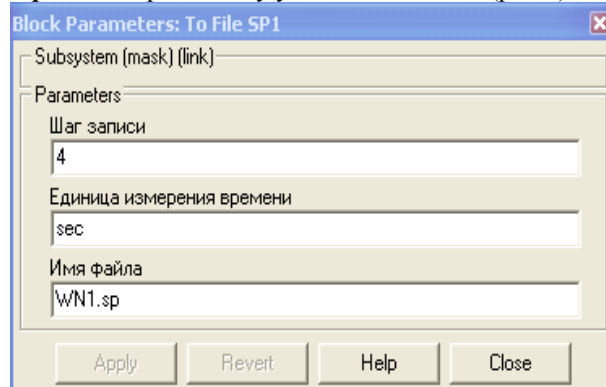


Рис. 4. Параметри блоку **To File SP**

Введемо створені рекомендації:

1. Крок генерації повинен бути пов'язаний з параметром α моделі кореляційної функції (спектральної щільності): $\Delta t_a = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot \alpha}$.

2. Крок моделювання повинен бути не більше кроку генерації ($\Delta t \leq \Delta t_a$) та обов'язково кратним йому ($\frac{\Delta t_a}{\Delta t}$ - ціле число).

3. Крок запису у файл повинен бути таким самим, як крок генерації $dt = \Delta t$.

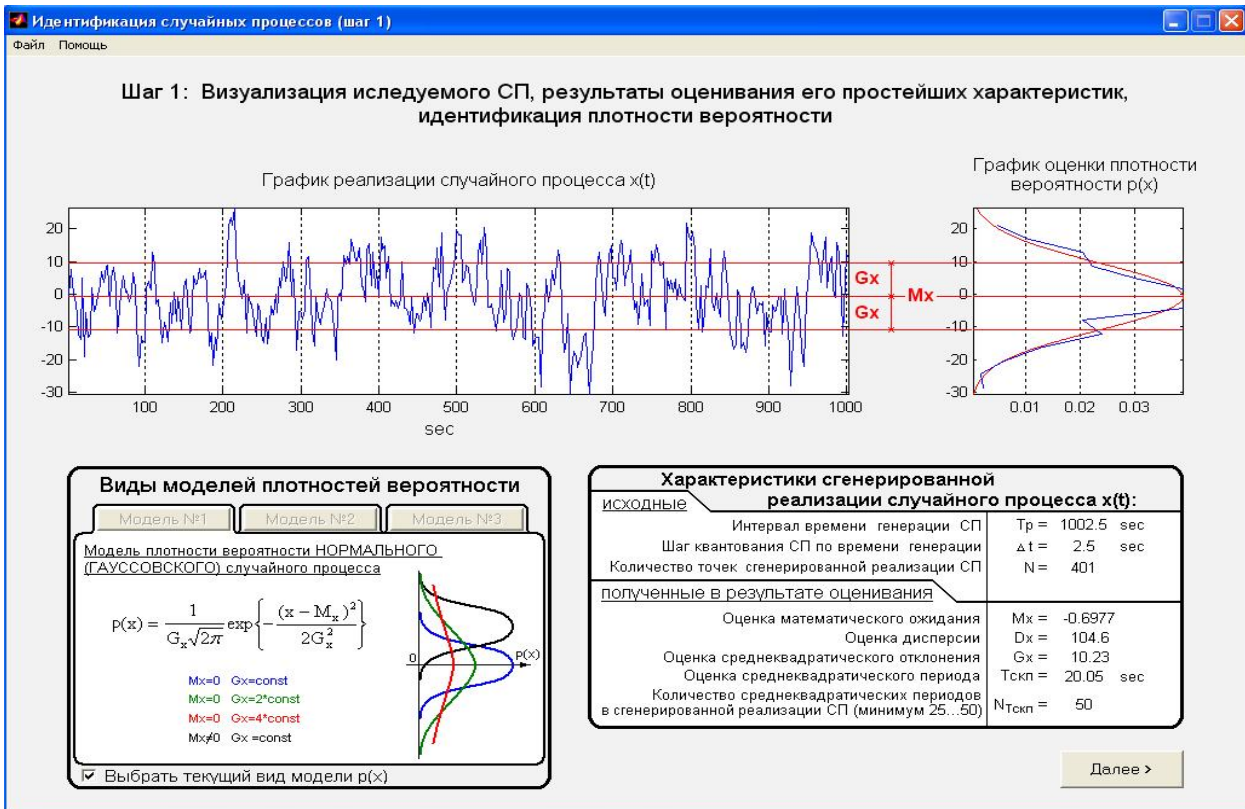


Рис. 4. Идентификация СП (крок 1)

Враховуючи рекомендації отримуємо: $\Delta t_2 = 2.22...3.33$. Далі оберемо $\Delta t_2 = 2.5$ та знайдемо $S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_a}{3} = 5.3^2 \frac{2 \cdot 2.5}{3} \approx 46.8$. Тоді для відтворення СП з моделлю №1 потрібен формуючий фільтр: $W_{\delta\delta 1}(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}$, де $k_1 = \sqrt{\frac{2D_f}{a \cdot \alpha}}$,

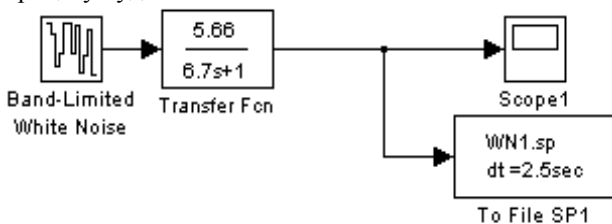
$$T_1 = \frac{1}{\alpha}$$

Так як $D_f = G_f^2 = 10.6^2 = 112.36$, то

$$k_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 112.36}{46.8 \cdot 0.15}} \approx 5.66, \text{ а } T_1 = 1/0.15 \approx 6.7.$$

В параметрах блоку БВП встановимо: **Noise power** – значення $S_x(\omega) = 46.8$; **Sample time** – значення $\Delta t_2 = 2.5$; **Seed** – значення 1. Моделювання будемо вести при фіксованому кроці $\Delta t = 0.5$, а інтервал часу моделювання оберемо 1000сек. Інтервал часу моделювання треба змінити, якщо кількість пересічень СП з лінією математичного очікування буде менше ніж 25, або значно більше 50.

Файл запису назвемо **wn1.sp**, а крок запису встановимо $dt = 2.5$. Схема моделювання заданого процесу буде така:



Файл СП **wn1.sp** треба обробити, знайти оцінки його характеристик, моделі якими його можна

описати, та їх параметри. Для цього треба скористатися програмою ідентифікації моделей СП **IDsoft**, яка створена на кафедрі АВП ОНАХТ.

На першому кроці роботи з програмою **IDsoft** проводиться візуалізація змодельованого СП та виводяться результати оцінювання його найпростіших характеристик (рис.4). А також ідентифікується модель щільності вірогідності.

На другому кроці роботи з програмою **IDsoft** проводиться структурна ідентифікація моделей автокореляційної функції (АКФ) та спектральної щільності (СЩ) СП (рис. 5). По графікам оцінок АКФ та СЩ вибираємо із запропонованих семи типових, такі моделі АКФ та СЩ, які б були максимально схожі на них. В цьому випадку це модель №1.

На третьому кроці роботи з програмою **IDsoft** проводиться параметрична ідентифікація моделей АКФ та СЩ (рис. 6). Її ціль - визначення параметрів моделей. Параметр дисперсії вже ми маємо $D_f = 104.6$. А значення параметру α буде знайдено завдяки оптимізаційній процедурі, яка дозволяє моделі АКФ описати її оцінку максимально точно. Початкове наближення слід вводити рівним заданому значенню оптимізуемого параметру.

Результати оптимізації: $\alpha^0 = 0.14$. Воно відрізняється від заданого α на 4.4%. Це досить точний результат, який не потребує корегування параметрів ФФ. Такі самі, по точності, виявилися результати ідентифікації для інших моделей СП.

Висновки.

Правильно генерований ДВС дає можливість проводити більш точну ідентифікацію динамічних властивостей каналу регулювання, а за цей рахунок збільшувати ефективність роботи алгоритму адаптації регулятора.

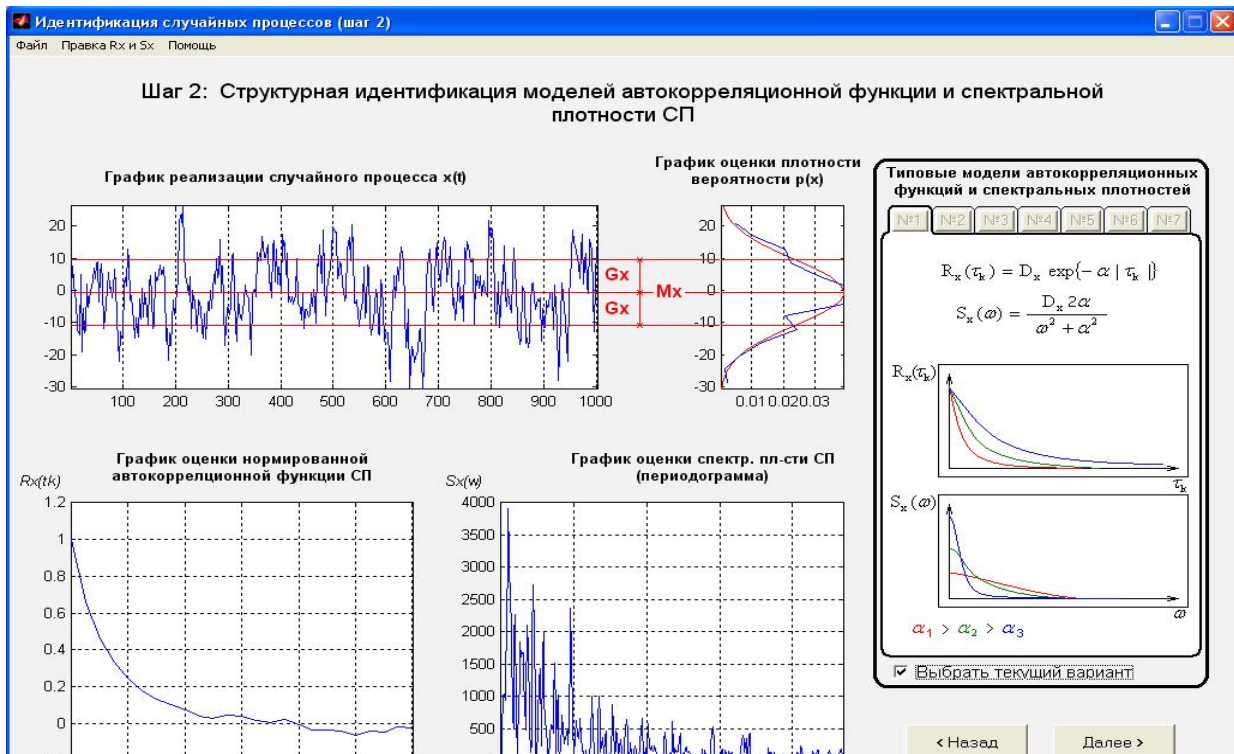


Рис. 5. Ідентифікація СП (крок 2)

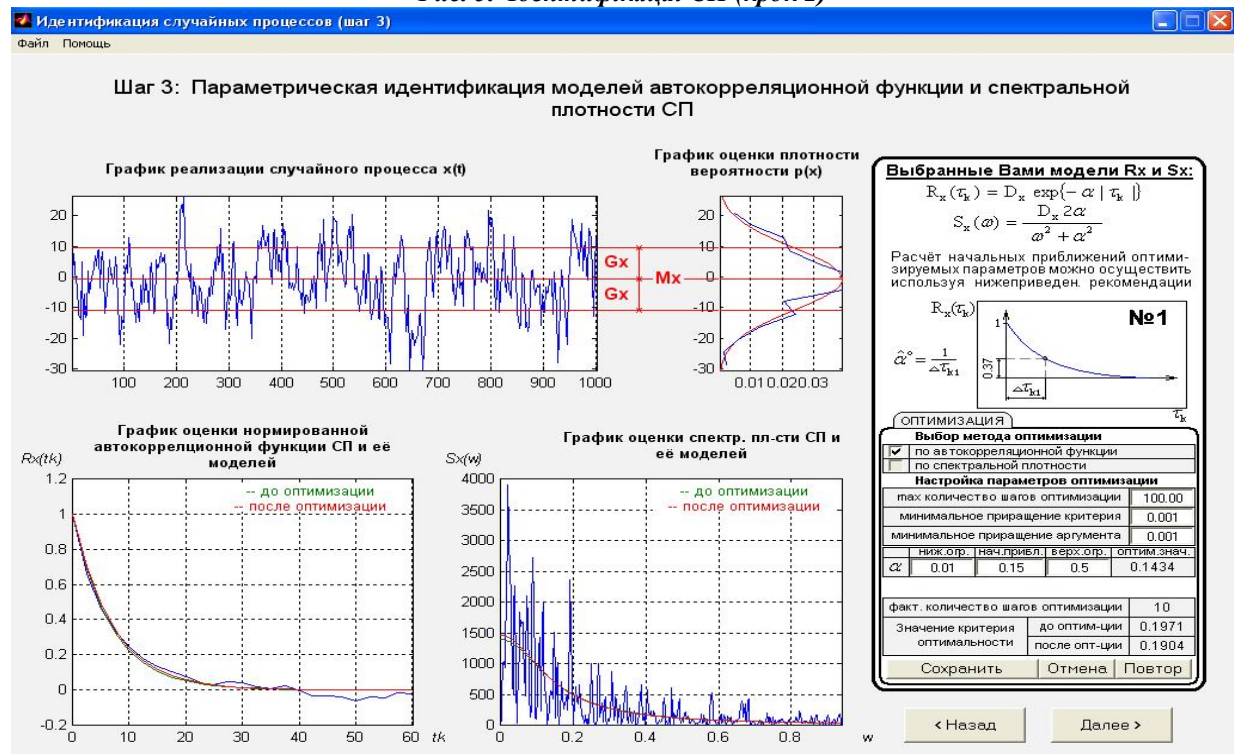


Рис. 6. Ідентифікація СП (крок 3)

ЛИТЕРАТУРА

1. Жигайло О. М., Хобін В. А. Повышение эффективности управления процессом гранулирования комбикормов // *Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти України.* – Одеса, 2006. – Вип. 29. – Т.2. – С. 230-235.
2. Хобін В.А., Парамонов А.И. Имитационная модель процесса гранулирования // *Моделирование в прикладных научных исследованиях: Материалы семинара / Одес. госуд. полит. ун-вер.* - Одесса, 1997. - С. 29-34.
3. Жигайло О. М. Рішення задачі адаптації регулятора при ідентифікації об'єкта управління в замкнутому контурі // *Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.* – Одеса: 2012. – Вип.42. – Т.1, С. 291-297.
4. Жигайло О. М., Хобін В. А. Алгоритм самоналаштування регулятора в САУ процесом гранулювання комбикормів // *Обладнання та тех-гій харчових вироб.: тем. зб.наук пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського.* - 2013 – Вип. 30. С. 233-241.

Надійшла 10.03.2014

Адреса для переписки:

вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

