

DOI 10.36074/logos-04.04.2025.034

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗНАКОЧУТЛИВОГО ФІЛЬТРА

Григорчук Галина Василівна<sup>1</sup>, Григорчук Любомир Іванович<sup>2</sup>,  
Чудик Вероніка Ігорівна<sup>3</sup>

- 
1. доктор філософії, доцент,  
доцент кафедри фізико-математичних наук  
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, УКРАЇНА*
  2. канд.пед.наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення  
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, УКРАЇНА*
  3. здобувач вищої освіти кафедри інженерії програмного забезпечення  
Інститут інформаційних технологій  
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, УКРАЇНА*
- 

Автоматизація цукрової промисловості забезпечує якісну, ефективну роботу всіх технологічних ділянок цукрового заводу тільки за допомогою комплексного підходу до рішення даної задачі. Вимірювання вологості цукру на виході сушильного барабану здійснюється мікрохвильовим датчиком. Мікрохвильовий датчик монтується на виході сушильної установки. Конструктивно він має бути занурений в досліджуване середовище. Тоді показники датчика вологості будуть відповідати вологості цього середовища. Однак унаслідок нерівномірності потоку цукру покази вологості будуть коливатися не залежно від вологості, а залежно від степені розміщення датчика в досліджуване середовище. Причому швидкість зміни такого сигналу буде значно більшою за корисний сигнал вологості.

Зміна сигналу на вході системи керування може призвести до нестійкості керування і невиправданими змінами в параметрах потоку теплого повітря чи кута нахилу барабану.

Покращити стабільність системи керування можна із застосуванням знакочутливої низькочастотної фільтрації вхідних сигналів. Для зменшення впливу нерівномірності проходження досліджуваного середовища повз датчик вологості було розроблено дискретний авто регресійний фільтр із різним впливом на сигнал в залежності від напряму його зміни. Аналітично такий фільтр описується наступною залежністю:



SECTION 16.  
GÉNIE INFORMATIQUE ET LOGICIEL

$$y_i = \begin{cases} (1 - \alpha_1) \cdot x_i + \alpha_1 \cdot y_{i-1} & \text{для } y_{i-1} > x_i \\ (1 - \alpha_2) \cdot x_i + \alpha_2 \cdot y_{i-1} & \text{для } y_{i-1} \leq x_i \end{cases}$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт згладжування на спадаючій ділянці сигналу,  $\alpha_2$  - коефіцієнт згладжування на наростаючій ділянці сигналу;

$x_i$  — вхідний сигнал на момент часу дії

$y_i$  — вихідний сигнал після фільтрації

$y_{i-1}$  — попереднє значення вихідного сигналу

•  $\alpha_1$  — коефіцієнт згладжування для спадаючої ділянки ( $y_{i-1} > x_i$ )

•  $\alpha_2$  — коефіцієнт згладжування для наростаючої ділянки ( $y_{i-1} \leq x_i$ )

Значочутливий фільтр пропонуємо використовувати в системах управління сушінням цукру, особливо для стабілізації вимірювань вологості. Розглянемо позитивні моменти сушки утфелю. Цей фільтр працює як дискретний авторегресійний фільтр із різним згладжуванням залежно від напрямку зміни сигналу. Розглянемо стабільність роботи значочутливого фільтра в залежності від коефіцієнта згладжування  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  рис.1.

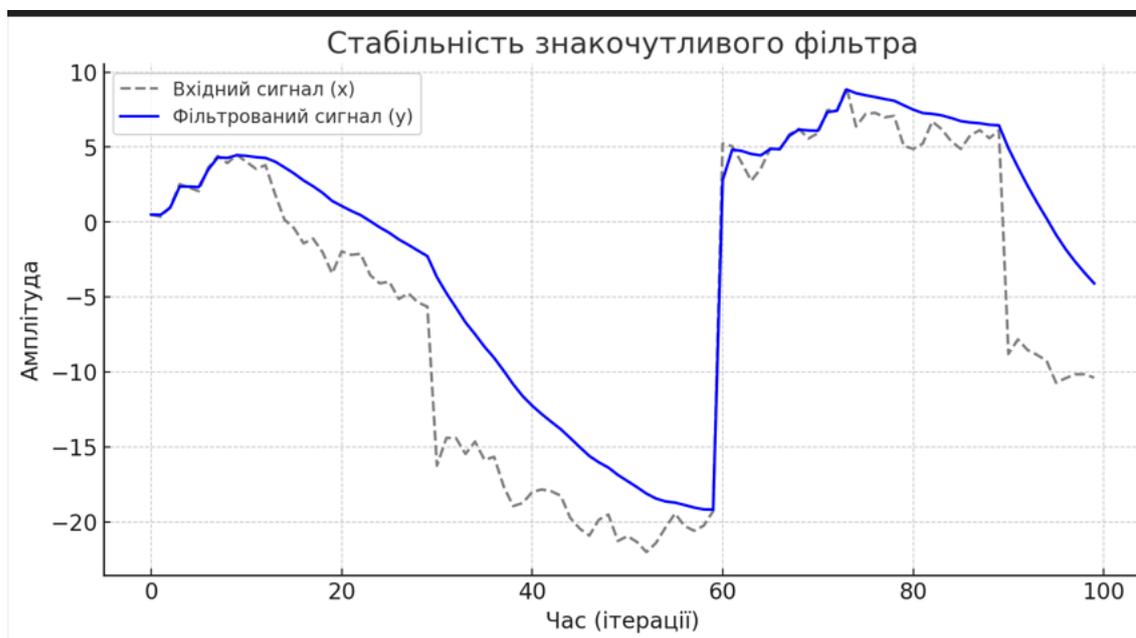


Рис. 1. Стабільність роботи значочутливого фільтра

Проведемо аналіз роботи стабільності значочутливого фільтра.

На графіку сірим пунктиром позначено вхідний сигнал  $x$ , який містить випадкові флуктуації, а також різкі зміни (спад і зростання). Синім суцільним

позначено фільтрований сигнал  $y$ , який згладжується відповідно до різних коефіцієнтів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ . При різних значеннях параметрів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  робота сушильного барабана буде відрізнятись. На процес сушіння сировини будемо мати різні витрати енерго-носіїв. На графіку 2. Зображено вплив параметрів на стабільність роботи знаочутливого фільтра.

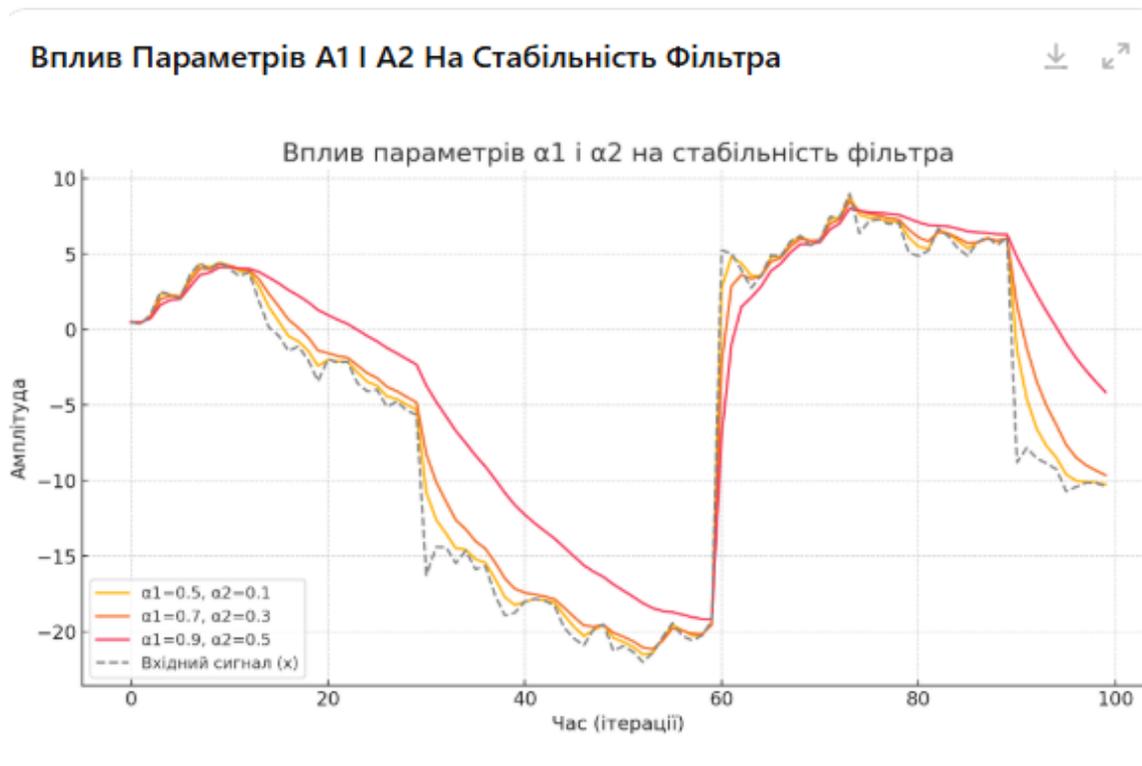


Рис. 2. Вплив параметрів на стабільність

На графіку 2. представлені три різні комбінації параметрів згладжування:

Якщо  $\alpha_1=0.5$ , а  $\alpha_2=0.1$  (показано жовтою лінією)

-помірне згладжування при спаданні сигналу

-швидке реагування на зростання сигналу

-фільтр добре слідує за сигналом, але можливі незначні коливання.

Якщо  $\alpha_1=0.7$ ,  $\alpha_2=0.3$  (помаранчева лінія)

-більш агресивне згладжування при спаданні.

менш чутливе реагування на зростання.

менше шуму, але сигнал стає трохи запізненным.

1.  $\alpha_1=0.9$ ,  $\alpha_2=0.5$  (червона лінія)

Дуже сильне згладжування при спаданні.

Повільне реагування на зростання.

**SECTION 16.**  
GÉNIE INFORMATIQUE ET LOGICIEL

Дуже стабільний вихідний сигнал, але значне запізнення та слабка адаптація до змін.

**Висновки про підбір параметрів:** при потребі швидкої реакції, варто використовувати менші значення  $\alpha_1$  (наприклад, 0.5) та малий  $\alpha_2$  (0.1); якщо важливе згладжування, краще обирати великі  $\alpha_1$  (0.9) та середні  $\alpha_2$  (0.3-0.5).

Залежно від середовища, потрібно експериментально підбирати оптимальні коефіцієнти для знаходження компромісу між згладжуванням і швидкістю реакції. Проведемо більш детальний аналіз. Це можна зробити використовуючи частотний спектр або статистику похибок роботи фільтра. Зробимо для різних значень параметрів статистику похибок. На мові програмування Python частина коду буде:

```
# Обчислення похибки для кожного варіанту параметрів
errors = {}
for a1, a2 in zip(alpha1_values, alpha2_values):
    y_opt = np.zeros(N)
    y_opt[0] = x[0]
    # Фільтрація сигналу з новими параметрами
    for i in range(1, N):
        if y_opt[i-1] > x[i]:
            y_opt[i] = (1 - a1) * x[i] + a1 * y_opt[i-1]
        else:
            y_opt[i] = (1 - a2) * x[i] + a2 * y_opt[i-1]
    # Обчислення похибки як абсолютної різниці між вхідним і фільтрованим
    # сигналом
    abs_error = np.abs(x - y_opt)
    mean_error = np.mean(abs_error) # Середня похибка
    max_error = np.max(abs_error) # Максимальна похибка
    std_error = np.std(abs_error) # Середньоквадратичне відхилення похибки
    errors[f"α1={a1}, α2={a2}"] = [mean_error, max_error, std_error]
# Формування таблиці статистики похибок
error_df = pd.DataFrame(errors, index=["Середня похибка", "Максимальна
похибка", "СКВ похибки"]).T
# Відображення таблиці
import ace_tools as tools
tools.display_dataframe_to_user(name="Статистика похибок", dataframe=error_df)
Результат роботи коду:
Середня похибка Максимальна похибка СКВ похибки
α1=0.5, α2=0.1 0.559609 7.438116 1.011377
```

$\alpha_1=0.7, \alpha_2=0.3$     1.218497    10.386586    1.730438  
 $\alpha_1=0.9, \alpha_2=0.5$     3.502316    13.584322    3.374160

Покажемо дану статистику на графіку гістограм рис.1

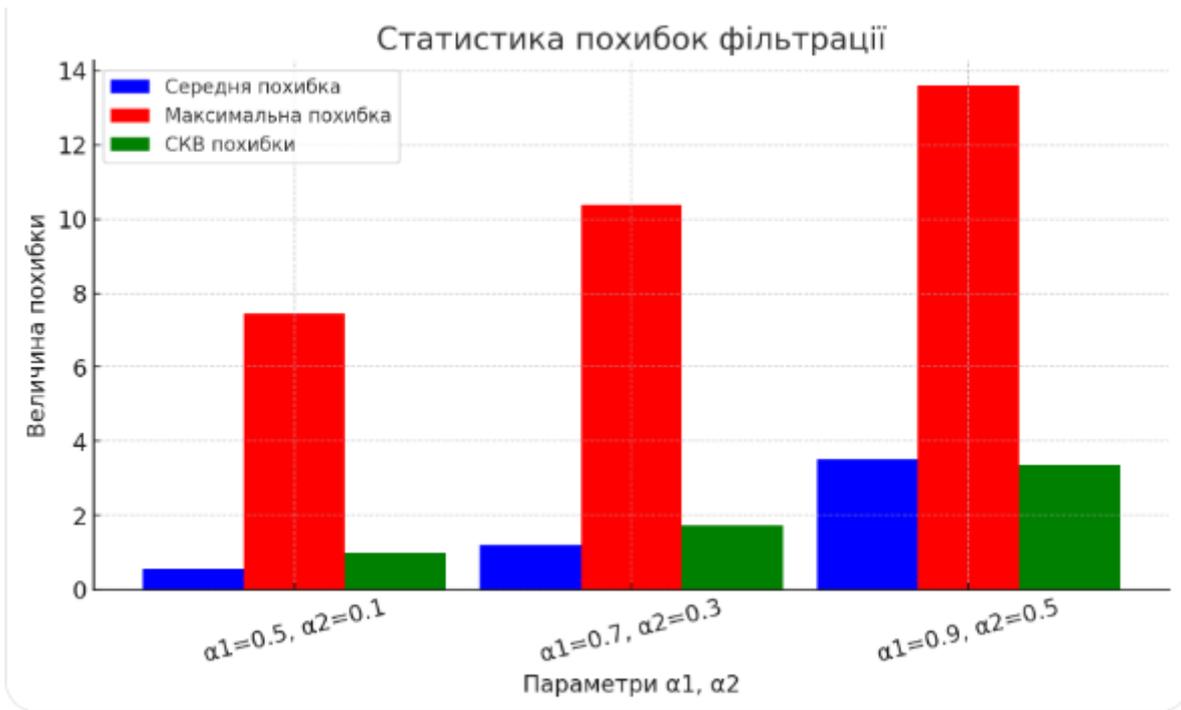


Рис. 3. Гістограма статистики похибок

На графіку зображено статистику похибок для кожного з варіантів параметрів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ : синім кольором – середня похибка (наскільки в середньому фільтрований сигнал відрізняється від вхідного). Червоним – максимальна похибка (найбільша різниця між вхідним і фільтрованим сигналом). Зелений – визначає середньоквадратичне відхилення (характеризує розкид похибок навколо середнього значення).

Оцінка величини похибки залежить від конкретного застосування фільтра. Розглянемо детальніше, що показує статистика похибок:

-середня похибка (~0.56–3.5) показує, наскільки в середньому вихідний сигнал відхиляється від вхідного.

-максимальна похибка (~7.4–13.6) вказує на найбільші відхилення – це може бути викликано різкими змінами сигналу, які фільтр не встигає згладити.

-СКВ похибки (~1.01–3.37) демонструє, наскільки значно коливається похибка: чим більше значення, тим менш передбачуваним є відхилення.

## SECTION 16.

### GÉNIE INFORMATIQUE ET LOGICIEL

Визначимо на скільки це велика похибка, і як вона використовується. У випадку якщо важлива швидка реакція, то  $\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.1$  дає найменшу середню похибку ( $\sim 0.56$ ) і найменший розкид похибок ( $\sim 1.01$ ). Це добрий варіант для ситуацій, де важливо слідкувати за змінами сигналу.

Якщо потрібно дуже згладжений сигнал, то  $\alpha_1=0.9, \alpha_2=0.5$  має велику середню похибку ( $\sim 3.5$ ) та високу максимальну ( $\sim 13.6$ ). Це означає, що фільтр надто повільно реагує на зміни. Щоб мінімізувати похибку, варто експериментувати з  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – наприклад,  $\alpha_1=0.6, \alpha_2=0.2$  може дати ще кращий баланс.

Якщо важливе швидке реагування, але без сильного шуму, можна зробити адаптивний фільтр, який змінює  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  в залежності від швидкості зміни сигналу.

Отже, залежно від твоїх цілей, похибка може бути прийнятною або великою. Ми бачимо, як змінюються результати при різних значеннях параметрів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ .

**Висновки.** Щоб визначити значення параметрів  $\alpha_1$  (згладжування при спаданні) та  $\alpha_2$  (згладжування при зростанні), які дають певний вигляд графіка, потрібно врахувати наступне:

- якщо фільтрований сигнал дуже плавний і відстає від вхідного, це означає, що  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  великі (наприклад,  $\alpha_1=0.9$ , а  $\alpha_2=0.8$ ), тоді сигнал реагує повільно, сильно згладжуючи коливання.

- якщо фільтрований сигнал швидко реагує на зміни, але трохи "шумний" це означає, що  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  малі (наприклад,  $\alpha_1=0.3$ ,  $\alpha_2=0.1$ ). Сигнал майже слідує за вхідним, але фільтрація слабка.

У випадку фільтр має асиметричну реакцію: швидко реагує на зростання і повільніше на спад: характерно для  $\alpha_1$  більше, ніж  $\alpha_2$  (наприклад,  $\alpha_1=0.8$ ,  $\alpha_2=0.2$ ). Такий випадок будемо використовувати для уникнення швидких провалів у сигналі.

Для того щоб графік виглядав оптимально згладженим, без великих запізнь найкраще вибрати компромісні значення:  $\alpha_1=0.6$ ,  $\alpha_2=0.3$ . Це дозволить фільтру зменшувати шуми, але не сильно затримувати реакцію на зміну сигналу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Grygorchuk, G., Grygorchuk, L., Bandura, V., & Tsareva, O. (2024). Study of the efficiency of automatic control systems. *Věda a perspektivy*, 6(37), 258–265. [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-6\(37\)-c.258-265](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-6(37)-c.258-265)
- [2] Grigorchuk, H. V. (2021). *Metody ta zasoby pidvyshchennia efektyvnosti avtomatyzovanoho kontroliu tekhnolohichnykh protsesiv na protyahlykh kvazitsylindrychnykh obertovykh ob'iektakh* (Doctoral dissertation). Ivano-Frankivsk: IFNTUOG.

- [3] Kudra, T., & Mujumdar, A. S. (2009). *Advanced drying technologies* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.
- [4] Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of industrial drying* (4th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- [5] Shutyuk, V. V., Levkivska, T. M., Dushchak, O. V., Rubanka, K. V., Bessaraba, O. S., & But, S. A. (2024). *Tekhnolohii sushinnia* [Technologies of Drying]. Kyiv: NUFT; Artek.
- [6] Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., & Andersen, L. B. (2008). *Principles of unit operations* (2nd ed.). New York: Wiley.
- [7] Kudra, T., & Mujumdar, A. S. (2009). *Advanced drying technologies* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.
- [8] Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of industrial drying* (4th ed.). Boca Raton: CRC Press.

