НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЕКОНОМІКО-ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Автори: Боряк Б.Р., Захарченко Р.В., Лактіонов О.І., Черв’як А.В.

Полтава 2022

Актуальність теми дослідження

Тема досліджень відповідає напрямам науково-технічної політики держави в галузі цифровізації реального сектора економіки згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції забезпечення національної безпеки у фінансовій сфері» № 569-2012-р від 15 серпня 2012 року, основним напрямам цифрової трансформації Полтавської області, які визначено в регіональній програмі інформатизації «Цифрова Полтавщина» на 2021-2023 роки та Стратегії розвитку Полтавської області на 2021-2027 роки.

Недостатнє підвищення ефективності ЕВС у питанні забезпечення якості продукту діяльності на верстатах з числовим програмним керуванням та продуктивності праці актуалізує проблему ефективності та точності інформаційної технології оцінювання якості підготовки операторів верстатів з числовим програмним керуванням, що забезпечується формуванням професійної компетентності особистості.

Дослідження точності відбору операторів верстатів у ЕВС з числовим програмним керуванням, як елементів соціальної підсистеми «Оператор-Оброблювальний центр-Керуюча програма продукт діяльності», на основі індексних оцінок передбачає обов’язкове вивчення міри взаємозв’язків різних груп оцінок, що проявляється у взаємодії усіх елементів відкритої змішаної системи

Розробці ефективної системи забезпечення економічної безпеки ЕВС необхідно приділяти значну увагу, оскільки їх безпечна діяльність – це запорука конкурентоспроможності та надійності. Використання у системі забезпечення економічної безпеки виробничих систем дієвого інструментарію та методів аналізу всіх аспектів діяльності дозволить вчасно виявляти загрози та мінімізувати їх вплив на економічну безпеку ЕВС.

Мета та завдання дослідження

Мета дослідження

розробка моделей й методів для забезпечення ефективної цифрової трансформації економіко-виробничих систем та забезпечення їх економічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети було визначено ряд завдань:

1. Розробити модель автоматизованої системи керування процесом сушіння як технологічний засіб цифрової трансформації.
2. Розробити адаптивні методи цифрової обробки сигналів як інструмент цифрової трансформації економіко-виробничої системи.
3. Запропонувати інноваційні методи оцінювання якості продуктів діяльності як організаційних засобів удосконалення процесу керування економіко-виробничих систем.
4. Розробити стратегію цифрової трансформації засобів керування процесами економіко-виробничих систем з метою забезпечення їх економічної безпеки.

ЕКОНОМІКО-ВИРОБНИЧА СИСТЕМА (ЕВС)			
Напрям 1 Цифрова трансформація відкритої підсистеми складної ЕВС	Напрям 2		Напрям 3 Економічна складова
	Автоматизована система керування технологічним процесом	Адаптивні методи цифрової обробки сигналів ЕВС	
Загальний кінцевий результат ЕВС: продовольча незалежність країни, енергоефективність, цифровізація виробничих процесів, економічна ефективність. Загальна кінцева мета ЕВС: поліпшення процесу оцінювання й відбору операторів, ефективні обґрунтування прийняття рішень			

Структура економіко-воробничої системи

Наукова новизна одержаних результатів

Уперше розроблено стратегію економічної безпеки виробничих систем цифрової трансформації виробничих систем та запропоновано до використання математичні моделі прогнозування для визначення можливого економічного ефекту на майбутній період, за результати якого доцільно модифікувати стратегію.

Уперше розроблено методи об’єднання трьох і більше елементів підсистем ЕВС у індекс якості взаємодії елементів підсистем (ІЯВ1), (ІЯВ2), (ІЯВ3), (ІЯВ4), що враховують синергетичний ефект від взаємодії підсистем та одиничну, подвійну і потрійну взаємодію інтегрованих показників ЕВС.

Уперше розроблено модель процесу цифрової обробки сигналів систем автоматичного керування ЕВС, що передбачає можливості фільтрації й прогнозування даних в умовах нестачі апріорної інформації про характеристики сигналів, що відслідковуються, та шумів, з інтегрованими методами адаптації параметрів алгоритму обробки даних до зміни параметрів інтенсивності шумів.

Уперше отримано незміщені та ефективні оцінки параметрів передавальних функцій об’єкта керування ЕВС завдяки застосуванню методів конфлюентного аналізу в умовах зашумленості вхідних і вихідних сигналів. Удосконалено автономну адаптивну систему керування технологічним процесом ЕВС, яка забезпечує оптимальні режими роботи в умовах невизначеності та не стаціонарності параметрів об’єкта і середовища.

Удосконалено методичні засади інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки виробничих систем. Визначено основні завдання інформаційно-аналітичного забезпечення та послідовності етапів його реалізації для ефективної роботи ЕВС.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблено методичні засади інформаційно-аналітичного забезпечення оцінювання впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на ефективність впровадження технологічних змін у ЕВС.

Програмно реалізовано модель фільтрації та прогнозування сигналів систем автоматичного керування ЕВС з використанням мови програмування Matlab і в середовищі програмування мікроконтролерів Arduino IDE.

За рахунок впровадження адаптивної системи керування процесом ЕВС зернових культур й використання сучасної цифрової техніки отримано функціонально надійну систему стабілізації оптимальних значень температури і вологості зерна. Проведені експериментальні дослідження дають змогу за допомогою незначних капіталовкладень забезпечити роботу промислового сушильного агрегату з високими показниками якості. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленої системи автоматичного керування процесом сушіння зернових культур складає 561,7 тис. грн.

Проведено експериментальну верифікацію технології індексного оцінювання ЕВС, де порівнювалися значення середньоквадратичного відхилення відомих індексів S(I)=0,947; S(I)=0,833; S(I)=0,594 із запропонованими S(ІЯВ1)=0,812; S(ІЯВ2)=0,271; S(ІЯВ3)=0,675; S(ІЯВ4)=0,57 відповідно. Вказана верифікація підтверджує ефективність запропонованого програмного засобу, котрий реалізовує технологію індексного оцінювання.

Техніко-економічні показники

Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом обчислений з урахуванням усього обладнання, яке необхідне для виробництва.

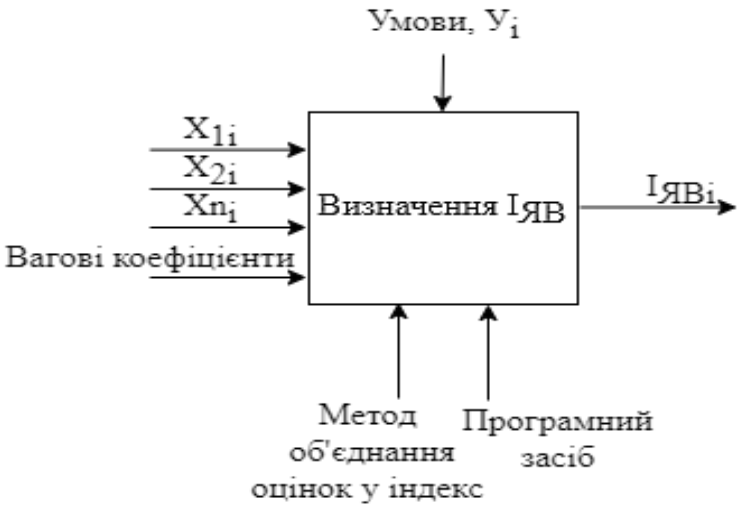
Установлено, що при впровадженні нової автоматизованої системи керування технологічним процесом витрати на заробітну плату робітників, які експлуатують систему, зменшилися на 10 %. Разом з тим витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт зменшилися на 35,5 %, вартість машино-години роботи знижена на 2,5 %, вартість технологічної операції для одиниці продукції знижена на 20,45 %. Економічний ефект від впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом склав 561,7 тис. грн. на рік. За отриманими розрахунками термін окупності витрат склав 5 місяців.

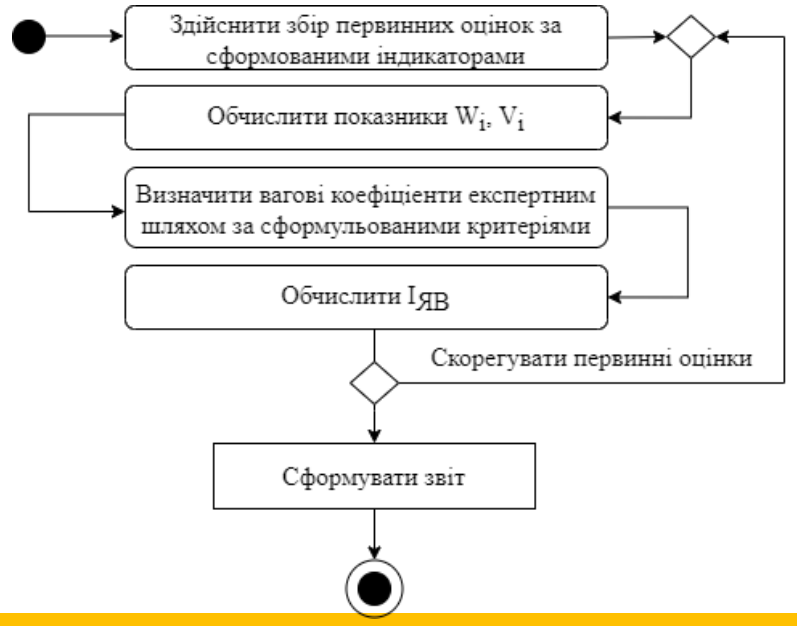
За рахунок використання сучасної цифрової техніки вдосконалено систему керування. Аналіз характеристик моделювання показав, що розроблена система керування технологічним процесом задовольняє показники якості при визначених параметрах об’єкта керування.

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ДІЯЛЬНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ЕВС

Логічні схема дослідження

1. Формування рядів первинних оцінок, котрі об’єднуватимуться у індекси.
2. Розробка методів об’єднання оцінок у індекси.
3. Перевірка адекватності індексів.
4. Доведення переваги запропонованих моделей індексів.
5. Технологія індексного оцінювання трьох і більше елементів підсистем складної системи.
6. Експериментальна верифікація запропонованого підходу індексного оцінювання.





Функціональна модель та типова схема розробки індексу якості взаємодії декількох елементів ЕВС

Запропоновані методи визначення індексів

Індекс якості взаємодії елементів підсистем з врахуванням одиничної, подвійної та потрійної взаємодії інтегрованих показників ($I_{ЯВ}1$) визначено в (1):

$$I_{ЯВ}1 = \sum_{i=1}^{n} (\lambda_1 \cdot I_{1i} + \lambda_2 \cdot I_{2i} + (1 - \lambda_1 - \lambda_2) \cdot I_{3i}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

Індекс якості взаємодії трьох елементів підсистем, що враховує синергетичний ефект ($I_{ЯВ}2$) визначено в (2):

$$I_{ЯВ}2 = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \lambda_3 X_3 + \lambda_4 W_1 + \lambda_5 W_2 + \lambda_6 W_3 + \lambda_7 W_4, \quad (2)$$

Індекс якості взаємодії чотирьох елементів підсистем, що враховує синергетичний ефект ($I_{ЯВ}2$) визначено в (3):

$$I_{ЯВ}3 = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \lambda_3 X_3 + \lambda_4 X_4 + \lambda_5 W_1 + \lambda_6 W_2 + \lambda_7 W_3 + \lambda_8 W_4 + \lambda_9 W_5 + \lambda_{10} W_6 + \lambda_{11} W_7, \quad (3)$$

Модель індексу якості взаємодії з п'ятьма елементами підсистем ($I_{ЯВ}4$) визначено в (4):

$$\begin{aligned} I_{ЯВ}4 = {} & \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \lambda_3 X_3 + \lambda_4 X_4 + \lambda_5 X_5 + \lambda_6 W_1 + \lambda_7 W_2 + \lambda_8 W_3 + \\ & + \lambda_9 W_4 + \lambda_{10} W_5 + \lambda_{11} W_6 + \lambda_{12} W_7 + \lambda_{13} W_8 + \lambda_{14} W_9 + \lambda_{15} W_{10} + \lambda_{16} W_{11}, \end{aligned} \quad (4)$$

де λ_i – вагові коефіцієнти інтегрованих показників I_{1i}, I_{2i}, I_{3i} відповідно;
I_{1i}, I_{2i}, I_{3i} – інтегровані показники;
X_i – первинні оцінки підсистем;
W_i – показники, які належать до множини [1, 5].

Порівняльний аналіз запропонованих методів визначення індексів якості взаємодії декількох елементів підсистем з відомими за ознакою середньоквадратичного відхилення, середньої квадратичної похибки та міжквартильного розкиду

Досліджувана кількість елементів підсистем	Якість взаємодії трьох елементів підсистем складної системи	
Назва індексу	Запропонований індекс якості взаємодії трьох елементів підсистем	Відомий індекс якості взаємодії трьох елементів підсистем
Значення середньоквадратичного відхилення	0,817	0,819
Значення середньої квадратичної похибки	2,653	3,109
Значення міжквартильного розкиду	1,155	1,333
Досліджувана кількість елементів підсистем	Якість взаємодії чотирьох елементів підсистем складної системи	
Назва індексу	Запропонований індекс якості взаємодії чотирьох елементів підсистем	Відомий індекс якості взаємодії чотирьох елементів підсистем
Значення середньоквадратичного відхилення	0,695	0,707
Значення середньої квадратичної похибки	2,6	3,08
Значення міжквартильного розкиду	0,965	1,0
Досліджувана кількість елементів підсистем	Якість взаємодії п'яти елементів підсистем складної системи	
Назва індексу	Запропонований індекс якості взаємодії п'яти елементів підсистем	Відомий індекс якості взаємодії п'яти елементів підсистем
Значення середньоквадратичного відхилення	0,618	0,633
Значення середньої квадратичної похибки	2,553	3,065
Значення міжквартильного розкиду	0,8	0,8

Отримані результати дослідження інноваційних методів оцінювання якості продуктів діяльності ЕВС

Блок-схема алгоритму індексного оцінювання

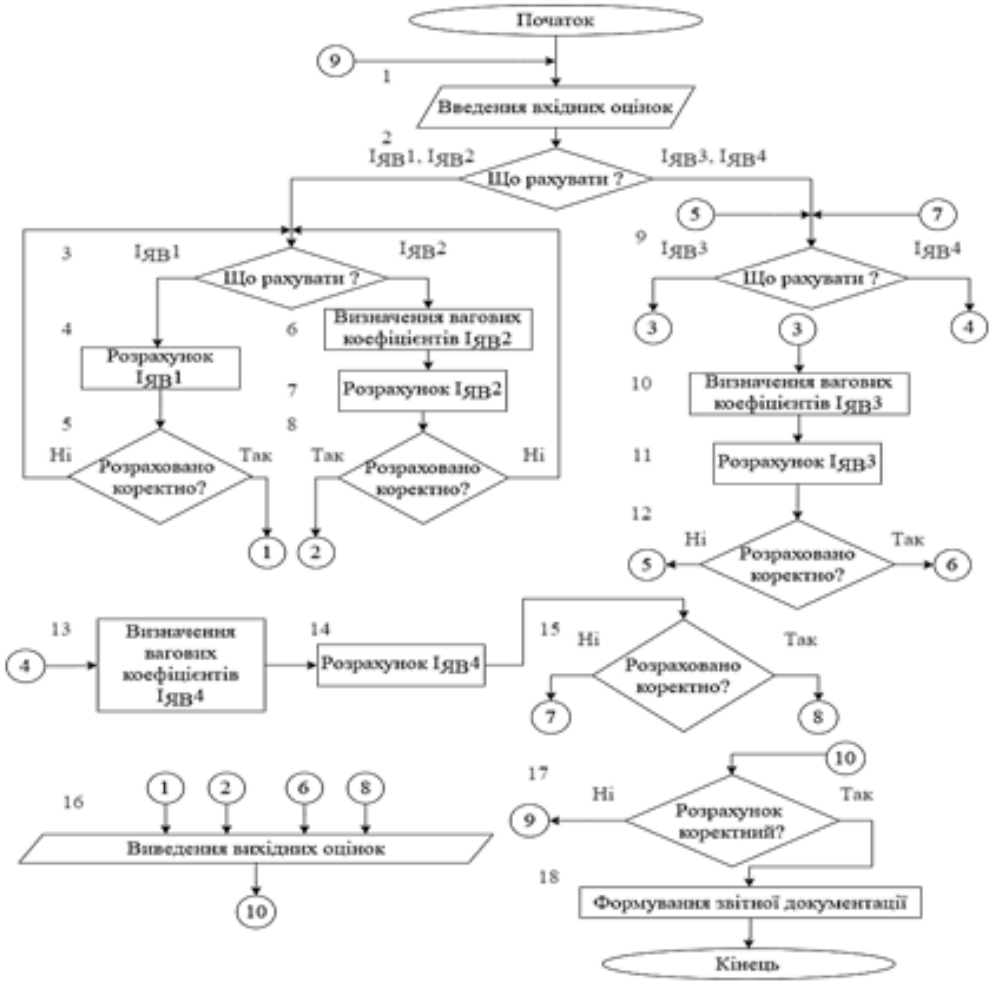
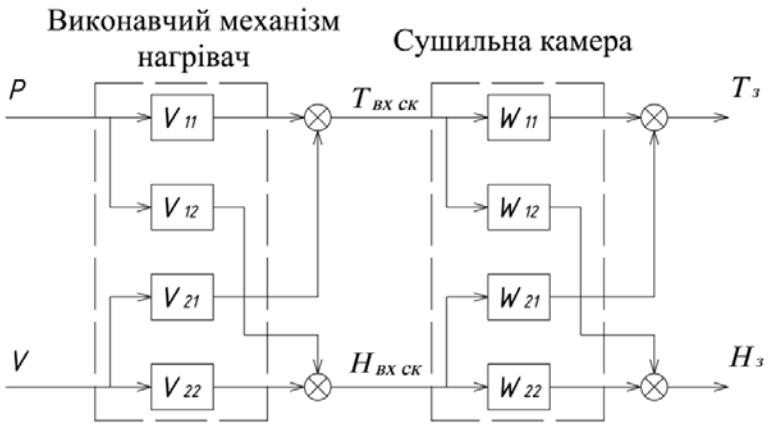


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритму індексного оцінювання

Результати експериментальної верифікації

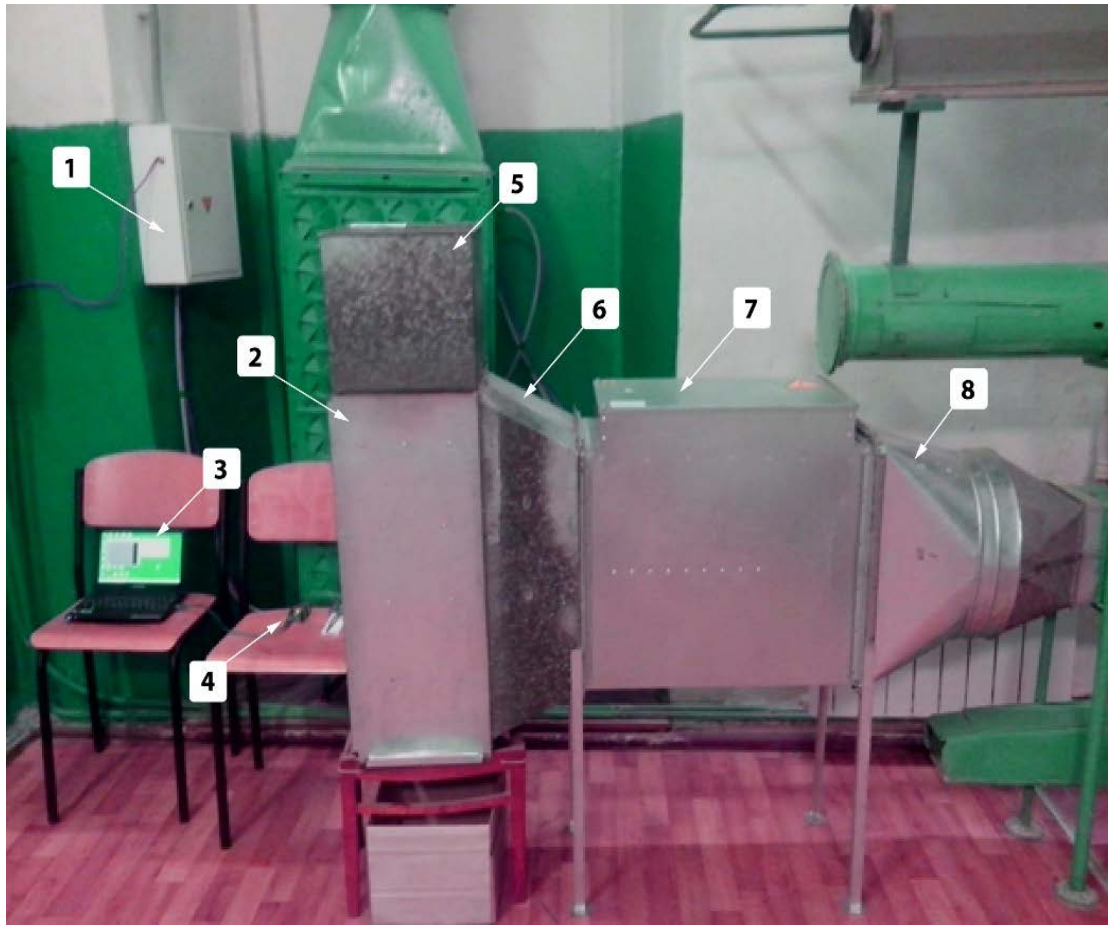
Назва індексу	S
Відомий індекс, розрахований на основі методу лінійної згортки	S=0,947
Індекс якості взаємодії елементів підсистем з врахуванням одиничної, подвійної та потрійної взаємодії інтегрованих показників ($I_{яв}1$)	S=0,812
Індекс якості взаємодії елементів підсистем системи, що враховує синергетичний ефект ($I_{яв}2$)	S=0,271
Відомий індекс, що описує взаємодію чотирьох підсистем, розрахований на основі методу лінійної згортки	S=0,833
Індекс якості взаємодії чотирьох елементів підсистем ($I_{яв}3$)	S=0,675
Відомий індекс, що описує взаємодію п'яти підсистем, розрахований на основі методу лінійної згортки	S=0,594
Індекс якості взаємодії п'яти елементів підсистем ($I_{яв}4$)	S=0,57

Модель зерносушарки



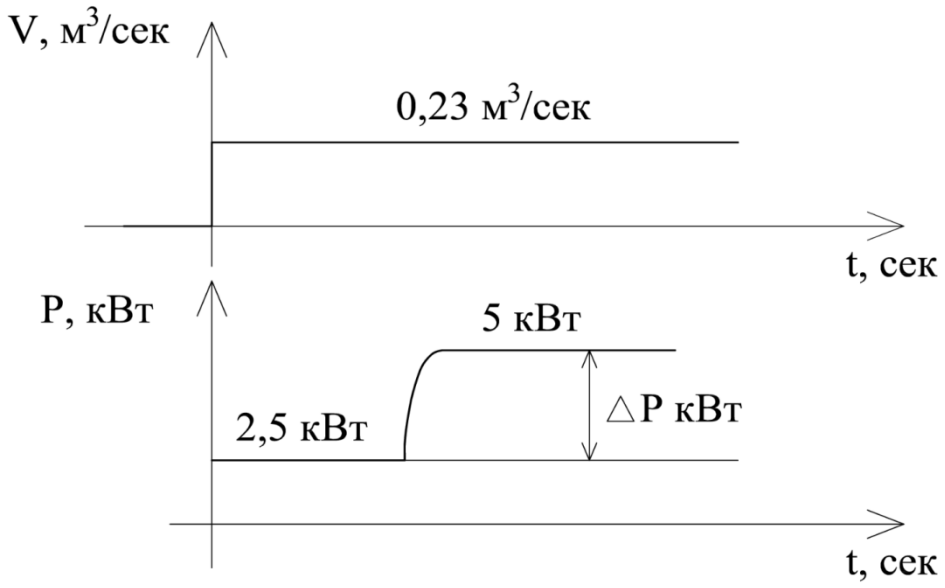
P – потужність нагрівача;
V – об’єм повітря, що проходе через нагрівач;
Твх ск, Нвх ск – температура та вологість сушильного агента;
Тз, Нз – температура та вологість зерна;
V11 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни температури сушильного агента від потужності нагрівача;
V12 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни вологості сушильного агента від потужності нагрівача;
V21 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни температури сушильного агента від об'єму повітря, що проходе через нагрівач;
V22 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни вологості сушильного агента від об'єму повітря, що проходе через нагрівач;
W11 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни температури зерна від температури сушильного агента;
W12 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни вологості зерна від температури сушильного агента;
W21 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни температури зерна від об'єму сушильного агента, що проходе через сушильну камеру;
W22 – передавальна функція, що характеризує залежність зміни вологості зерна від об'єму сушильного агента, що проходе через сушильну камеру;

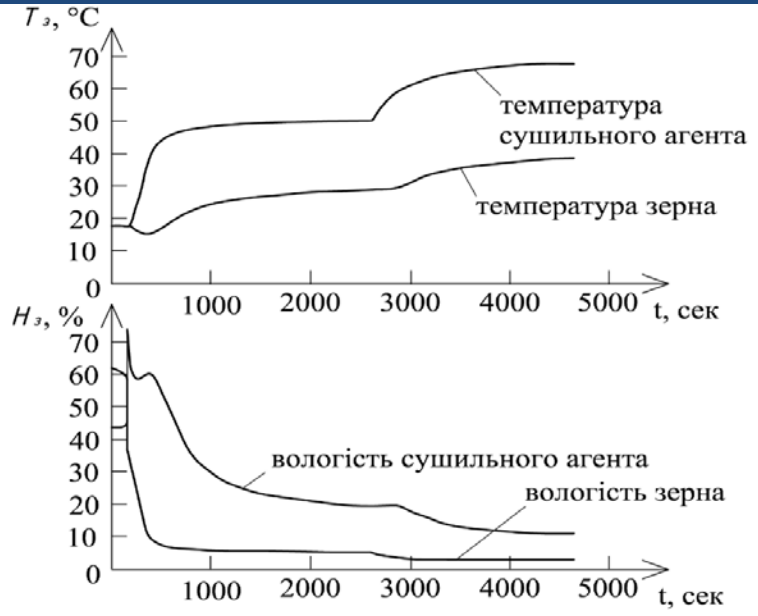
Дослідний зразок зерносушарки



1 – щит живлення
2 – сушильна камера
3 – ноутбук
4 – контролер
5 – надсушильний бункер
6 – дифузор
7 – нагрівач
8 – дифузор

Експеримент та його результати





Визначення передавальних функцій моделі

$$\hat{\alpha}_{12} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta H_{\text{вх ск}}(i) \cdot \Delta P(i)}{\sum_{i=1}^{N} (\Delta P(i))^2}$$ – МНК-оцінка статичного коефіцієнту передавальної функції V_{12}

$$\hat{K}_{21} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta T_з(i) \cdot \Delta H_{\text{вх ск}}(i)}{\sum_{i=1}^{N} (\Delta H_{\text{вх ск}}(i))^2}$$ – МНК-оцінка статичного коефіцієнту передавальної функції W_{21}

Передавальні функції моделі

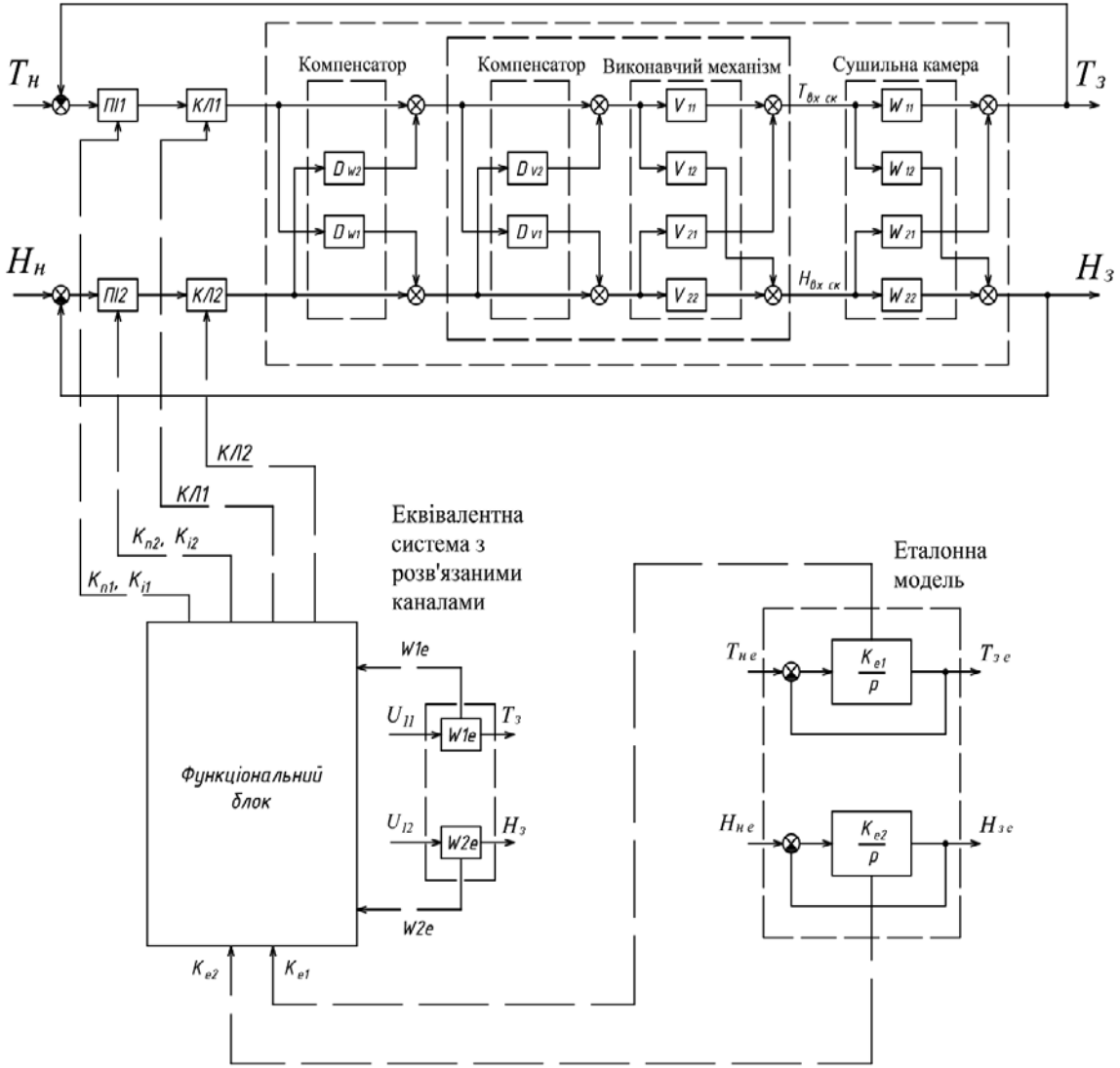
$$V_{11}(p) = \frac{6{,}7}{490 \cdot p + 1}; \quad V_{12}(p) = \frac{-0{,}9}{310 \cdot p + 1}$$

$$V_{21}(p) = \frac{-28}{160 \cdot p + 1}; \quad V_{22}(p) = \frac{-8{,}7}{150 \cdot p + 1}$$

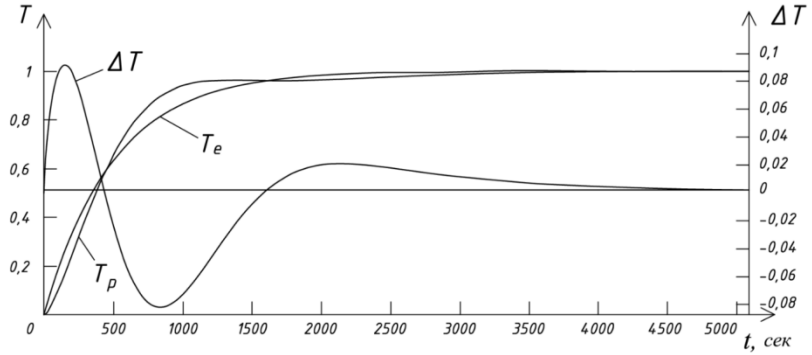
$$W_{11}(p) = \frac{0{,}6}{380 \cdot p + 1}; \quad W_{12}(p) = \frac{-0{,}58}{525 \cdot p + 1}$$

$$W_{21}(p) = \frac{-0{,}3}{337 \cdot p + 1}; \quad W_{22}(p) = \frac{0{,}4}{390 \cdot p + 1}$$

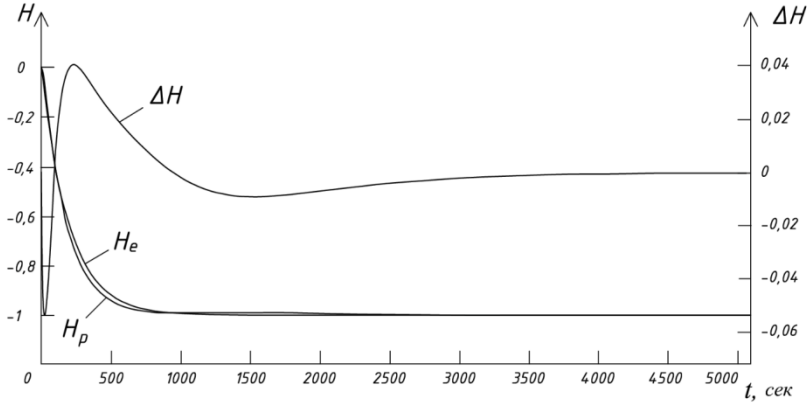
Система керування процесом сушіння зернових культур при відомих передавальних функціях моделі виконавчого механізму та сушильної камери



Реакція системи керування процесом сушіння зерна на одиничний східчастий вплив по каналу температури (T_p) і еталонної моделі (T_e), а також похибка між еталонною та реальною моделями по каналу температури (ΔT)



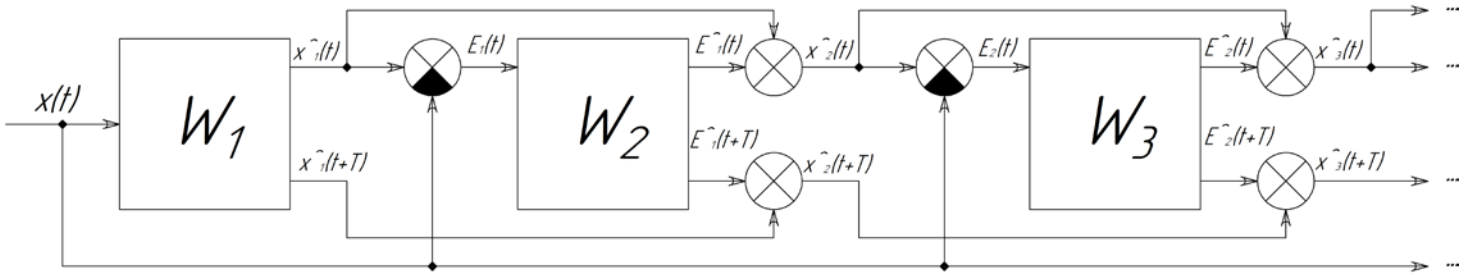
Реакція системи керування процесом сушіння зерна на одиничний східчастий вплив по каналу вологості (H_p) і еталонної моделі (H_e), а також похибка між еталонною та реальною моделями по каналу вологості (ΔH)



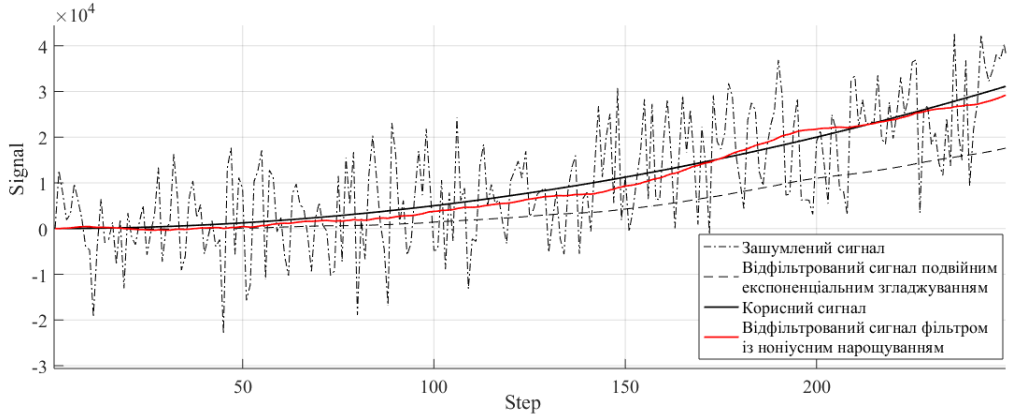
Модель цифрової обробки сигналів

$$\hat{x}(k) = \alpha \cdot x(k) + (1-\alpha) \cdot \hat{x}(k-1),$$
$$\hat{\hat{x}}(k) = \alpha \cdot \hat{x}(k) + (1-\alpha) \cdot \hat{\hat{x}}(k-1),$$
$$\hat{\hat{x}}(k+m) = \hat{\hat{x}}(k) + m \cdot \Delta t \cdot \hat{\hat{x}}(k),$$

де α – коефіцієнт згладжування;
$x(k)$ – вхідний сигнал, спотворений шумом;
$\hat{\hat{x}}(k)$ – відфільтрований сигнал;
$\hat{\hat{x}}(k+m)$ – прогнозований сигнал;
m – кількість кроків прогнозування.

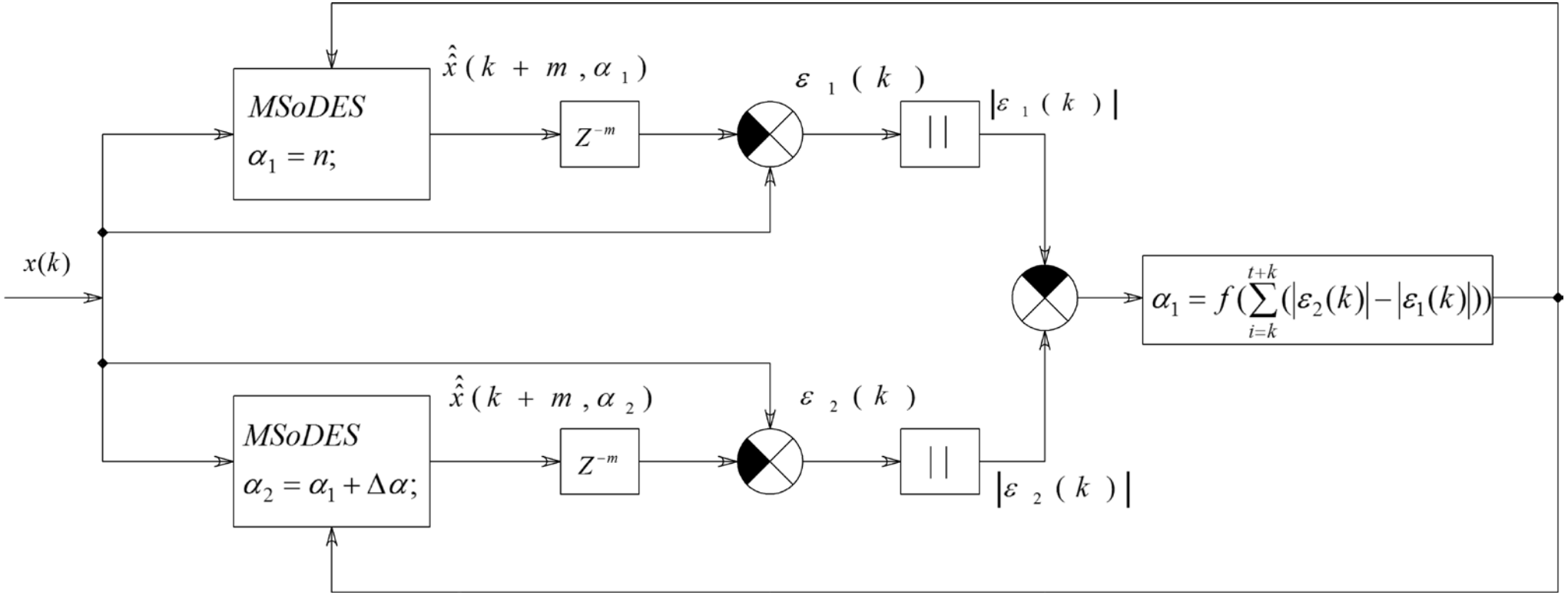


Структурна схема запропонованої моделі цифрової обробки сигналів



Результати моделювання процесу фільтрації із використанням розробленої моделі ЦОС

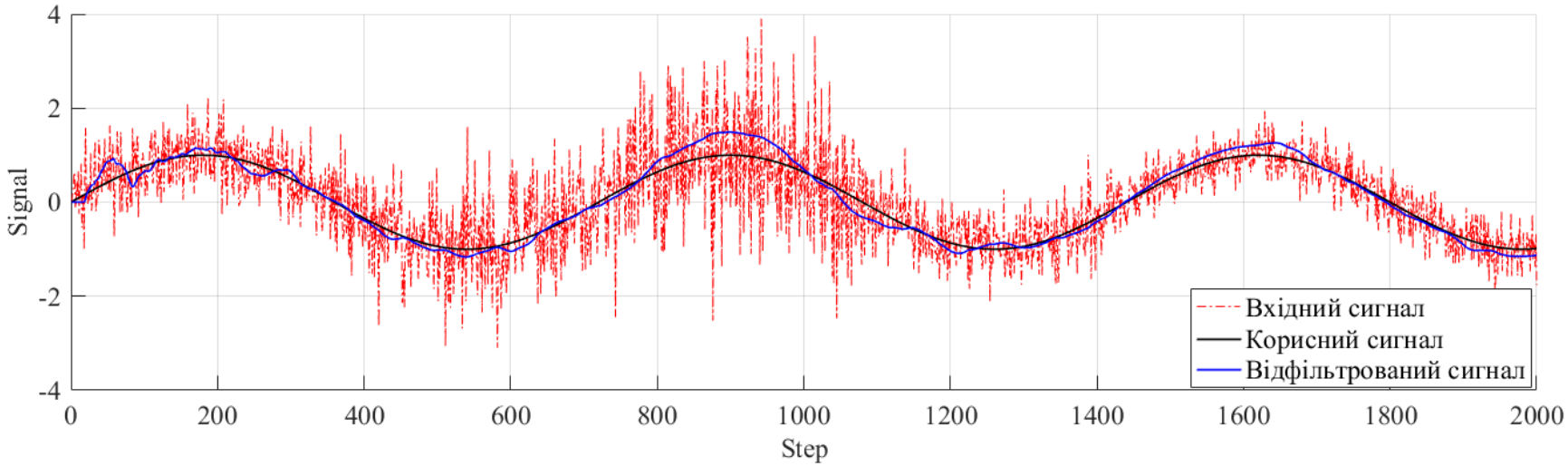
Диференційний метод адаптація коефіцієнта згладжування із використанням двох контурів фільтрації



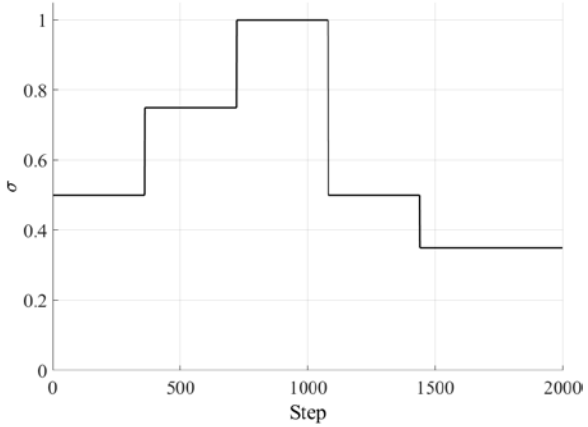
Структурна схема диференційного методу адаптації фільтра-предиктора із використанням двох фільтруючих контурів

MSoDES (*Modified structure of double exponential smoothing*) – модель фільтра-предиктора на основі моделі фільтрації за ноніусним принципом нарощування структури фільтруючих блоків, що функціонують по принципу подвійного експоненціального згладжування Р. Брауна.

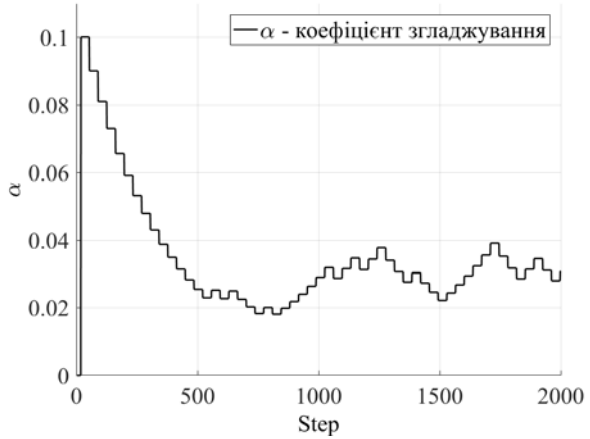
Результати моделювання адаптивного алгоритму цифрової обробки сигналів



Процес фільтрації сигналу адаптивним фільтром з використанням двох контурів фільтрації



Зміна параметру стандартного відхилення



Процес адаптації коефіцієнта згладжування

Етапи реалізації інформаційно-аналітичного забезпечення

Постійний моніторинг інформаційного простору з метою виявлення потенційних загроз безпеці ЕВС. Відбір джерел інформації.

Пошук та збирання інформації щодо стану зовнішнього та внутрішнього середовища та факторів, що можуть негативно впливати на безпеку ЕВС.

Формування баз даних, перевірка, систематизація та обробка отриманої інформації, попереднє її вивчення. Формування гіпотез.

Аналітичне опрацювання отриманої інформації.

Формулювання висновків.

Підготовка аналітичних документів. Доведення їх до осіб, які приймають рішення.

Інформаційно-аналітичне забезпечення ЕВС є основою для формування об'єктивної оцінки щодо аналізу ефективності цифрової трансформації засобів керування процесами економіко-виробничих систем.

Завдання інформаційної складової

- Підтримання стійкого поступального розвитку ЕВС
- Надання достовірної і надійної інформації зацікавленим користувачам
- Створення інформаційного базису для належної ідентифікації загроз економічній безпеці ЕВС
- Відображення індикаторів, що свідчать про перетворення загроз з потенційних в реальні

Завдання інформаційно-аналітичного забезпечення

Адаптивна модель прогнозування

		Експоненціальна модель 1				Експоненціальна модель 2		
		α =		точність	У	α =	точність	У
			0,8			0,2		
Рік	Коефіцієнт	Значення	Прогноз	Похибка	Середньоквадратичне відхилення	Прогноз	Похибка	Середньоквадратичне відхилення
X1i	Значення	Значення	D1i	Z1i	V1i	D1i	Z1i	V1i
X2i	Значення	Значення	D2i	Z2i	V2i	D2i	Z2i	V2i
X3i	Значення	Значення	D3i	Z3i	V3i	D3i	Z3i	V3i
X4i	Значення	Значення	D4i	Z4i	V4i	D4i	Z4i	V4i
X5i	Значення	Значення	D5i	Z5i	V5i	D5i	Z5i	V5i
X6i	Значення	Значення	D6i	Z6i	V6i	D6i	Z6i	V6i
			Отримане D		V7i	D1i		V7i
				точність	Отримане V		точність	Отримане V

$$Y^{\%}_{t+1}=\alpha \cdot Y_t+(1-\alpha)\cdot Y^{\%}_t$$

$Y^{\%}_{t+1}$ – прогноз на наступний період t+1;

Y_t – дані для прогнозу за поточний період t;

α – коефіцієнт згладжування ряду (α задається вручну і знаходиться у діапазоні від 0 до 1);

$Y^{\%}_t$ – значення прогнозу за поточний період, причому у перший період $Y^{\%}_1=Y_1$, тобто $Y^{\%}_1$ дорівнює продажам у цей період.

Прогнозна модель Брауна

Розрахунок адаптивної моделі Брауна

Рівні	Вихідні дані, Yt	A0	A1	Прогнозоване значення, Yp	Похибка прогнозування, e	(Yt-Yp)^2
1	Yt1	A01	A11	Значення 1	e1	Xi1
2	Yt2	A02	A12	Значення 2	e2	Xi2
3	Yt3	A03	A13	Значення 3	e3	Xi3
4	Yt4	A04	A14	Значення 4	e4	Xi4
5	Yt5	A05	A15	Значення 5	e5	Xi5
6	Ytn	A0n	A1n	Значення n	en	Xin

Система показників для формування похибки за моделлю Брауна

A1	A0	Коефіцієнт дисконтування	Імовірність	Середньоквадратична похибка, S	Довірчий інтервал	Верхня межа прогнозу	Нижня межа прогнозу
A11	A01	n1	i1	Отримане s1	D1	Значення 1	Значення 1
A12	A02	n2	i2	Отримане s2	D2	Значення 2	Значення 2
A13	A03	n3	i3	Отримане s3	D3	Значення 3	Значення 3
…	…	…	…		…	…	…
A1n	A0n	nn	in	Отримане sn	Dn	Значення n	Значення n

$$Y_{(t+k)} = A_0+A_1k$$

A_0 – значення останнього рівня;
A_1 – коефіцієнт визначення приросту;
k – кількість прогнозних кроків;
t – часовий ряд прогнозу.

Коефіцієнт A_0 – закономірна складова близька до останнього рівня; коефіцієнт A_1 – приріст, який був сформований у кінці періоду спостережень, показує швидкість зростання на ранніх.
Адаптивна модель Брауна будується відповідно до етапів:
Етап 1. По пунктах тимчасового ряду оцінювання початкові значення A_0 і A_1, за методом найменших квадратів для лінійної апроксимації:

$$Y_p(t) = A_0 + A_1t$$

Етап 2. З використанням параметрів A_0 і A_1 за моделлю Брауна формується прогноз на один крок (k = 1):

$$Y_p(t,k) = A_0(t)+ A_1(t)k$$

Етап 3. Розрахункове значення економічного показника $Y_p(t,k)$ порівнюють із фактичним $Y(t)$ і обчислюється похибка їх розбіжності (помилки). При k = 1 отримуємо:

$$e(t+1) = Y(t+1)\ Y_p(t,1)$$

Етап 4. Згідно з заданої величини корегуються параметри моделі. Модифікація моделі Брауна має наступний вигляд:

$$A_0(t) = A_0(t\text{-}1) +A_1(t\text{-}1) + (1-\beta)^2e(t)$$
$$A_1(t) = A_1(t\text{-}1) + (1-\beta)^2e(t)$$

де β – коефіцієнт дисконтування даних, змінливий у площині від 0 до 1; показує зменшення значимості даних за одиницю часу, відображає ступінь довіри пізнім спостереженням. Оптимальне значення β розраховується за формулою:

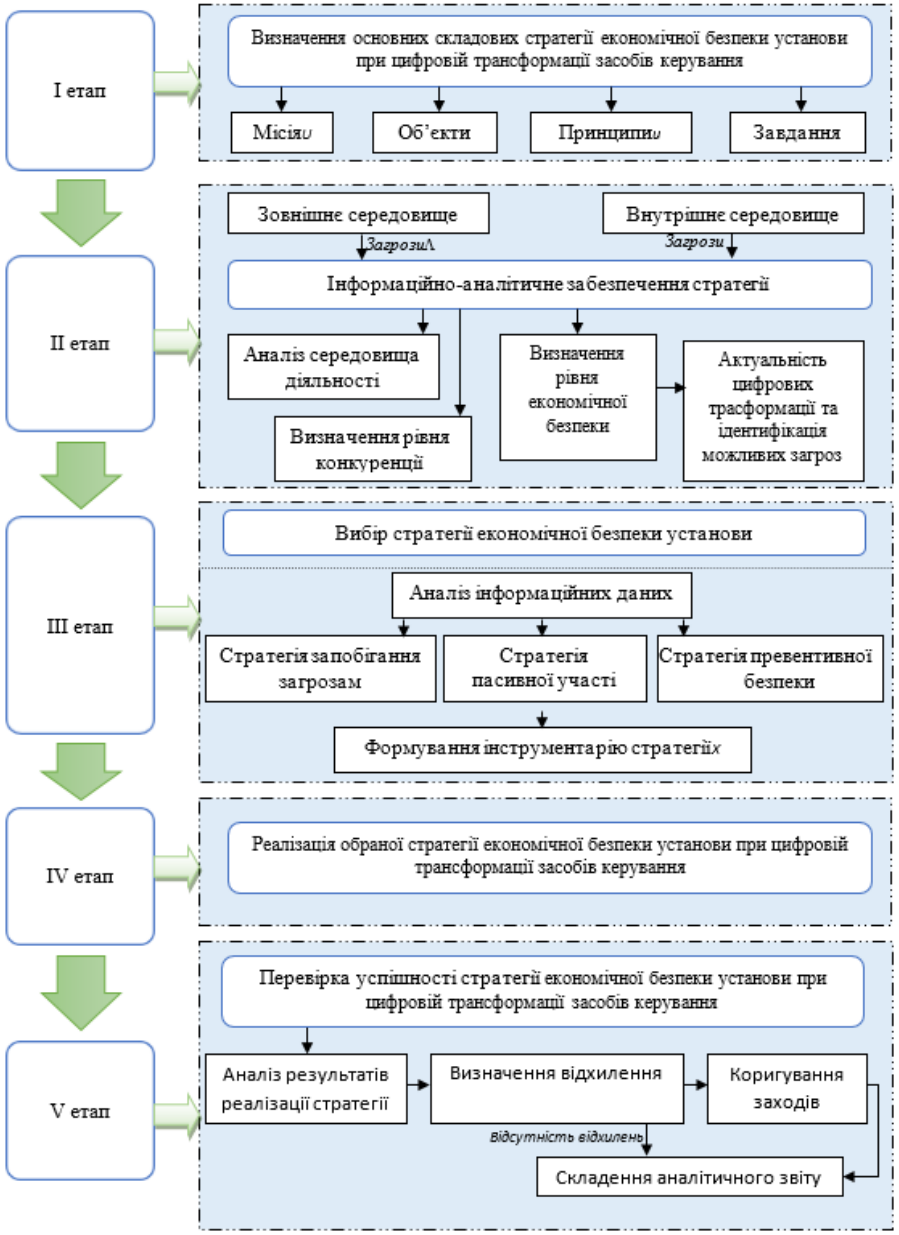
$$\beta = (N-3)/(N-1)$$

де N – довжина тимчасового ряду.
$e(t)$ – помилка прогнозування рівня $Y(t)$ у момент часу (t−1) на крок вперед.

Переваги прогнозування

- проводити аналіз результатів діяльності ЕВС на визначений термін
- виявляти мінімальні відхилення від норми, що дозволить на початковому етапі визначити причини їх виникнення
- формування оперативного реагування в разі виникнення непередбачуваних обставин
- сформувати адекватну довгострокову стратегію розвитку ЕВС
- створити систему захисту, яка буде передбачати всі можливі причини відхилень індикаторів від нормативного значення
- реалізуючи постійний моніторинг результатів діяльності буде можливість визначити перспективні напрямки розвитку, використовуючи оперативні дані
- прийняття вчасних управлінських рішень з протидії загрозам
- коригування перспективного плану розвитку з можливістю його подальшого втілення

Етапи реалізації стратегії економічної безпеки



Стратегія економічної безпеки ЕВС при цифровій трансформації засобів керування із включає оперативну та комплексну системи реагування на загрози.

Особливості оперативної та комплексної системи моніторингу

Загальні елементи	**Об'єкт**		**Суб'єкт**		**Принципи**			
Індивідуальні елементи	**Цілі**		**Механізм**		**Завдання**		**Функції**	
Складові елементів	Оперативне виявлення загроз та їх усунення	Детальний аналіз та виявлення загроз, формування комплексу заходів з їх попередження	Методи та індикатори які швидкі в розрахунку та аналізі	Комплексна програма з індикаторів, аналізу, порівнянь, прогнозу	– дослідження та аналіз загроз; – визначення масштабів кризового стану; – аналіз діяльності для виявлення загроз на початкових етапах; – забезпечення стабільної діяльності у короткостроковий період; – розробка оперативних заходів реагування; – розробка заходів із запобігання кризових ситуацій та контроль за їх реалізацією	– постійний моніторинг рівня економічної безпеки; – аналіз діяльності для виявлення потенційних ризиків у перспективі; – забезпечення стабільної діяльності на довгостроковий період; – розробка плану реагування на загрози; – прогноз фінансових результатів; – розробка заходів із запобігання кризових ситуацій та контроль за їх реалізацією	Аналіз та визначення рівня економі чеко безпеки на даний час	Аналіз та визначення економічної безпеки на даний момент та на перспективу
Вид системи	ОС	КС	ОС	КС	ОС	КС	ОС	КС

*ОС – оперативна система; КС – комплексна система.

Висновки

Основні результати роботи полягають у запропонованих методах розв’язання ряду задач, що стосуються цифрової трансформації засобів керування процесами економіко-виробничих систем, із використанням математичних моделей, дослідження яких проведено за допомогою відповідних засобів реалізації методів як відомих так і запропонованих. Проведені дослідження дають змогу зробити наступні висновки:

Проведені дослідження дають змогу зробити наступні висновки

1. Розроблено методи та технологію індексного оцінювання економіко-виробничих систем, котрі реалізовані програмно. Проведено експериментальну верифікацію запропонованої технології індексного оцінювання, де порівнювалися значення середньоквадратичного відхилення відомих індексів S(I)=0,947; S(I)=0,833; S(I)=0,594 із запропонованими S(ІЯВ1)=0,812; S(ІЯВ2)=0,271; S(ІЯВ3)=0,675; S(ІЯВ4)=0,57 відповідно. Вказана верифікація підтверджує ефективність запропонованого програмного засобу, котрий реалізовує технологію індексного оцінювання.

Висновки

2. Розроблено модель процесу фільтрації та прогнозування даних та методи адаптації параметрів моделі обробки даних до зміни інтенсивності шумів, що використовують два і три контури паралельної обробки сигналу із різними параметрами фільтрації. Реалізація та комп'ютерний аналіз даної моделі та методів адаптації у середовищах Matlab і Simulink підтверджує її адекватність та працездатність. На основі проведених експериментів сформовано практичні рекомендації до використання розробленого алгоритму цифрової обробки сигналів. Програмно реалізовано розроблену модель фільтрації та прогнозування з інтегрованим алгоритмом адаптації та проведено дослідження можливості інтеграції фільтра-предиктора в системах детермінації навколишнього середовища.

3. Використання системного підходу та структури і алгоритмів функціонування багаторазово адаптивної системи ідентифікації (БАСІ) дозволило коректно побудувати підсистему ідентифікації технологічних процесів у виробничій системі. Враховуючи не стандартну для використання метода найменших квадратів реальну ситуацію зашумленості як вихідних, та і вхідних змінних об'єкта ідентифікації, в якості оптимального (в сенсі незміщеності і ефективності оцінок параметрів) був протестований і використаний більш досконалий (ніж МНК) метод мінімізації оптимально зваженої суми симетричних кореляційних функцій. Отримані незміщені і ефективні оцінки передаточних функцій сушарки дозволили реалізувати оптимальні адаптивні алгоритми автономного керування окремими каналами температури та вологості сушарки як багатомірного об'єкта з перехресними зв'язками.

4. Розроблено стратегію економічної безпеки виробничої системи при цифровій трансформації засобів керування та запропоновано до використання математичні моделі прогнозування для визначення можливого економічного ефекту на майбутній період, за результати якого доцільно модифікувати стратегію.

Висновки

5. Установлено, що при впровадженні нової автоматизованої системи керування технологічним процесом витрати на заробітну плату робітників, які експлуатують систему, зменшилися на 10 %. Разом з тим витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт зменшилися на 35,5 %, вартість машино- години роботи знижена на 2,5 %, вартість технологічної операції для одиниці продукції знижена на 20,45 %. Економічний ефект від упровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом склав 561,7 тис. грн. на рік. За отриманими розрахунками термін окупності витрат склав 5 місяців, що значно менше за відомі вітчизняні і закордонні аналоги.

6. Теоретичні та практичні результати роботи впроваджено у виробничий та навчальний процеси. Запропоноване рішення досліджуваної проблеми та його інструментарій, вітчизняного виробництва, є інструментом набуття економічної, продовольчої, цифрової, енергетичної незалежності Полтавщини та України.