

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського”

**КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ:
РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ
РОБОТИ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються за
спеціальністю 174 «Автоматизація, та комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка» (151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»),
освітня програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2024

Керування складними системами: Домашня контрольна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 174 „Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка” / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: З. Я. Козаневич, Кубах С.О.. Електронні текстові дані (1 файл 354 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 32 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 09.05.2024 р.)
за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол № 4 від 29.04.2024 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ: РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОННЯ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Укладачі: Козаневич Звенислава Ярославівна, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Кубах Сергій Олегович, аспірант

Відповідальний

редактор

Цапар В. С. в.о. зав. кафедри технічних та програмних
засобів автоматизації, канд. техн. наук, доц.

Рецензент

Степанюк А. Р., канд. техн. наук, доцент кафедри машин
та апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв
інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

Запропонований навчальний посібник містить матеріали для виконання домашньої контрольної роботи з кредитного модуля «Керування складними системами».

Призначений для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» всіх форм навчання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Види показників роботи технологічних ділянок і виробництва в цілому.....	5
2 Обчислення поточних (оперативних) значень показників виробництва з метою їх застосування для керування технологічними процесами	7
3 Поточне значення технологічної складової собівартості (СВт) як показник якості проведення технологічного процесу.....	8
4 Визначення складових СВт для обчислення її поточного значення.....	11
5 Врахування динамічних зв'язків між параметрами, які беруть участь в обчисленні СВт.....	12
6 Остаточна структура СВт і обчислення її поточного значення.....	14
7 Порядок виконання роботи.....	15
Література	17
Додаток. Приклад виконання ДКР.....	18

Вступ

Метою ДКР є демонстрація студентом вміння здійснення постановки задачі керування складними технологічними процесами в частині обчислення поточного (оперативного) значення показника якості роботи технологічної ділянки, який може бути використаним при оперативному керуванні (диспетчеризації) технологічним процесом в комп'ютерно інтегрований технології (КІТ) або в АСКТП.

Для цього використовується конкретна технологічна ділянка виробництва за вибором студента (технологічна схема, що є предметом розгляду дипломного проекту на звання бакалавра).

Критеріями керування на верхніх рівнях ієрархії управління технологічними процесами, що здійснюється в рамках КІТ чи за допомогою АСКТП, є техніко-економічні показники такі як собівартість, дохід, рентабельність, питомі затрати і т. п. Ці критерії використовуються і при декомпозиції загальної задачі керування.

Задачею даної ДКР є обґрунтування структури і способу розрахунку технологічної складової собівартості конкретного технологічного процесу для обчислення її поточного значення з метою його використання для оцінки якості керування цим процесом.

Передбачається, що такого роду обґрунтування виконуються на стадії проектування інформаційного і програмного забезпечень відповідної комп'ютерно-інтегрованої технології (КІТ) або автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСКТП).

Припущення: поточним (оперативним) показником роботи конкретної технологічної ділянки є технологічна складова собівартості (СВт) продукту чи напівфабрикату, що утворився на виході цієї конкретної технологічної ділянки.

Необхідно обґрунтувати вибір структури СВт та способу розрахунку для її поточного (оперативного) обчислення з метою використання при оперативному керуванні (диспетчеризації) конкретною технологічною ділянкою.

1. Види показників роботи технологічних дільниць і виробництва в цілому

Показники - це такі *похідні числових характеристик* процесу, які отримують шляхом обчислень на основі поточних значень виміряних параметрів процесу [1]. Такі обчислення *узагальнюють результати* вимірювань.

Показники *містять менше інформації про процес, ніж дані безпосередніх вимірювань*, але вважається, що це і є та *інформація, яка важлива для керування* процесом.

Показники охоплюють *широкий круг величин*, які характеризують виробничі процеси, але найбільш широко вживаються *декілька типів*:

- *інтегральні значення* за деякий інтервал часу T_0 :

$$A_o(t) = \int_0^{T_0} x(t - T_0 + \tau) d\tau \quad (1)$$

- *середні значення* за деякий інтервал часу T_0 :

$$A_{o1}(t) = \frac{A_o(t)}{T_0} \quad (2)$$

Показники виду (1) або (2) необхідні для рішення *задач керування виробництвом* за статичними моделями. При цьому *інтервал інтегрування* повинен зміщуватися вперед так, щоб він співпадав з інтервалом, *для якого визначаються керування* на основі середніх показників.

Якщо розглядати *не процеси, а ділянки виробництва*, то яку завгодно з них можна *уявити собі як перетворювач* (в широкому розумінні цього слова), *на вхід якого подаються потоки* сировини, енергії, грошових затрат і т. д., а з *виходу отримують продукцію*, яка оцінюється у відповідних одиницях, в т. ч. і грошових.

Існує *два види функцій*, які складають *показник для об'єкту керування*, що визначає *корисний ефект*:

прибуток або втрати

$$A_1(t) = y(t) - x(t), \quad (3)$$

де $y(t)$ - сумарний вихід (результат)

$x(t)$ - сумарний вхід (затрати),

та *питомий показник*

$$A_{21}(t) = y(t) / x(t) \quad (4)$$

або
$$A_{22}(t) = x(t) / y(t) \quad (5)$$

Приклад показника $A_{21}(t)$ – коефіцієнт корисної дії, вихід продукції з одиниці затрат. Приклади показника $A_{22}(t)$ – коефіцієнти затрат на одиницю продукції, собівартість, в т. ч. і технологічна складова собівартості.

Якщо в повну *собівартість продукції* входять *усі затрати* на її виробництво, то в *технологічну складову собівартості* входять тільки ті затрати, які можуть *змінюватися внаслідок зміни технологічного режиму* (очевидно, в межах технологічного регламенту).

Показники за їх призначенням бувають двох типів:

звітні, тобто ті, що використовуються з метою звітності і характеризують об'єкт за достатньо великий проміжок часу, а також

оперативні, тобто ті, що характеризують об'єкт в поточний (достатньо малий) проміжок часу.

Технологічна складова собівартості належить до оперативних показників, які використовуються для оцінки поточного стану об'єкту керування і прийняття рішень диспетчером (чи оператором-технологом) про поточну корекцію технологічного режиму.

2. Обчислення поточних (оперативних) значень показників виробництва з метою їх застосування для керування технологічними процесами

Показники обчислюють за деякий *інтервал часу T_0* і чим *більший* цей інтервал, тим *менший вплив* різних відносно *високочастотних похибок його визначення*, в т. ч. і за рахунок динамічних властивостей об'єкту.

При *оперативному (поточному) контролі* необхідно *скорочувати інтервал часу T_0* для того, щоб показник *характеризував установку в даний момент часу t* , але тоді *росте похибка* його обчислення за рахунок наявності запізнення (як чистого, так і перехідного) між вхідними величинами (затратними витратами) і вихідною (витрата продукту, тобто матеріального потоку, що є продуктом конкретної технологічної ділянки)..

Якщо перехідний режим відіграє суттєву роль (інтервал часу T_0 одного порядку – співмірний - з постійними часу об'єкту), то при використанні поточних значень $x(t)$ та $y(t)$, віднесених до одного і того ж *часу t* може привести до результатів, *позбавлених фізичного змісту*, наприклад, *коефіцієнт корисної дії більший 1*.

Звичайна *практика обчислення показників*, для виключення впливу перехідних процесів, полягає в тому, що *вхідні та вихідні потоки інтегрують на великому інтервалі T_0* (показники технологічної ділянки за зміну, добу, місяць, квартал).

Але таким чином можна отримати тільки *звітні* показники.

3. Поточне значення технологічної складової собівартості (СВт) як показник якості проведення технологічного процесу

Одним з найпоширеніших техніко-економічних показників є технологічна складова собівартості СВт.

СВт – це та складова собівартості, на яку можна впливати зміною технологічного режиму.

Її зазвичай визначають за формулою:

$$СВт = \sum_{i=1}^N K_i \cdot Ц_i - \sum_{i=N}^{N+M} K_j \cdot Ц_j \quad (6)$$

де K_i, K_j – витратні коефіцієнти за i -ою затратною витратою (всього затрат N) і j -им зворотним потоком (всього M зворотних потоків);

$Ц_i, Ц_j$ – ціна одиниці відповідно i -ої та j -ої витрати.

Якщо конкретний зворотний потік використовується на розглядуваній технологічній ділянці, то його в формулі (6) не наводять.

При використанні СВт для оцінки поточного стану технологічного процесу в формулі (6) треба враховувати *тільки ті складові*, які *істотно впливають* на зміну СВт зі зміною режиму роботи ТОК [3].

За похибку СВт приймають її середньо квадратичне відхилення $\sigma_{СВт}$, отримане при обчисленні СВт за формулою (6) з врахуванням класу точності і шкали застосованих вимірювальних приладів при гаусовському (нормальному) законі розподілення кожного вимірюваного параметра за довірчої ймовірності результату вимірювання 0,95.

Похибки вимірювання окремих параметрів, які є в (6) вважаємо взаємно незалежними випадковими величинами з нормальним законом розподілення.

Середньо квадратичне значення похибки вимірювання i -го ВК визначається через клас точності і шкалу вимірювального приладу, а також довірчу вірогідність результату вимірювання (0,95) і характер розподілення похибок вимірювання (прийнято – нормальний закон розподілення).

Враховуючи прийняті допущення, гранично допустима абсолютна похибка Δi i -го ВК при нормальному законі розподілення визначиться за шкалою приладу ($x_{i\max}$, $x_{i\min}$) та його класом точності $Kл$:

$$\Delta i = (x_{i\max} - x_{i\min}) \cdot Kл / 100 \quad (7)$$

При цьому дисперсія похибки i -го ВК при довірчій ймовірності 0,95 складатиме

$$\sigma_i = \Delta i / 1,96 \quad (8)$$

Тому в (6) для обчислення оперативного (поточного) значення СВт відкидають ті складові, для яких

1. похибка $\sigma_{СВт}$ обчислення СВт більша від самої i -ї складової, тобто ті i -ті складові, для яких

$$K_i \cdot \Pi_i < \sigma_{СВт}, \quad (9)$$

де

$$\sigma_{СВт}^2 = \sum_{i,j=1}^{M+N} \left| \frac{\partial(CB_T)}{\partial x_i} \right|_{x=x_i}^2 \cdot \sigma_{xi}^2 \quad (10)$$

x_i - i -та вимірювана величина витрат, присутня в (6)

σ_{xi} - середньоквадратичне відхилення i -ї випадкової величини з нормальним законом розподілення при довірчій ймовірності 0,95.

σ_{xi}^2 - дисперсія похибки i -го вимірювального каналу (ВК);

2. зміна i -ї складової мала, менша похибки обчислення СВт.

Зміну i -ї складової можна оцінити варіацією цієї складової δ_i (варіація – відношення середньоквадратичного відхилення σ_i до середнього значення величини).

Похибка $\sigma_{СВт}$ обчислення СВт визначається похибками вимірювання окремих параметрів, на основі яких обчислюється СВт згідно (6).

3. затрати на реалізацію i -го вимірювального каналу більші, ніж ефект від врахування цієї складової в СВт.

Умови 2 і 3 здебільшого перевіряють для працюючого виробництва.

В даній ДКР будемо обчислювати $\sigma_{\text{свт}}$ і відкидати ті складові СВт, які відповідають нерівності (9), тобто будемо перевіряти тільки умову 1.

4. Визначення складових СВт для обчислення її поточного значення

Для спрощення розрахунків приймемо, що зворотні потоки використовуються в розглядуваній технологічній ділянці, тому при обчисленні СВт оминають їх витрати.

Тоді *i-та складова собівартості* СВт буде визначатися як

$$CBmi = K_i \cdot \Pi_i = \frac{F_i}{F_p} \cdot \Pi_i \quad (11)$$

де F_i – витрата i -го затратного матеріального чи енергетичного потоку,
 F_p – витрата продукту.

Π_i - ціна одиниці витрати i -го затратного матеріального чи енергетичного потоку.

Повна СВт

$$CBm = \sum_{i=1}^N CBti = \sum_{i=1}^N \frac{F_i}{F_p} \cdot \Pi_i \quad (12)$$

Змінними (вимірюваними) величинами в (10) є незалежні вимірювані величини $x_i = (F_1, F_2 \dots F_N, F_p)$ зі своїми похибками вимірювання σ_{xi} [4]. Тому, нехтуючи похибкою обчислення, яка для багато розрядного представлення величин в засобах обчислювальної техніки практично дорівнює нулю, похибка обчислення СВт визначатиметься похибками σ_{xi} вимірювання величин x_i .

Враховуючи частинні похідні від CBm по x_i , отримаємо для похибки обчислення CBm

$$\sigma_{CBm} = \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Pi_i}{F_{pn}} \cdot \sigma_{xi} \right)^2 + \left[\sum_{i=1}^N (F_{in} \cdot \Pi_i)^2 \right] \cdot (F_{pn})^{-2} \cdot \sigma_{Fp}^2 \right\}^{0,5}. \quad (13)$$

де індекс «н» відноситься до номінальних статичних значень змінних.

Порівнявши σ_{CBm} з $CBmi$, для обчислення поточного значення CBm залишаємо тільки ті складові $CBmi$, для яких

$$\sigma_{CBm} < CBmi. \quad (14)$$

5. Врахування динамічних зв'язків між параметрами, які беруть участь в обчисленні СВт

Один із шляхів *зниження похибки оперативного обчислення* показників - це врахування *динамічних властивостей об'єкта*

Для виключення впливу наявних перехідного і чистого запізнень між вимірними в поточний момент часу t витратами приводять ці витрати до виходу технологічної ділянки, тобто до часу отримання продукту з витратою F_p [5]. Крім того, допускають, що кожний динамічний канал: затратна витрата $F_i \rightarrow$ витрата продукту F_p складається з *двох ланок*:

- статичної нестационарної ланки з коефіцієнтом підсилення $K(t)$ і
- динамічної стаціонарної ланки з нормованою імпульсною перехідною характеристикою $w(\theta)$.

Нормування імпульсної перехідної характеристики (ПХ) полягає в тому, що площа

$$\int_0^{\infty} w(\theta) d\theta = 1 \quad (15)$$

В лінійному наближенні приведення кожної витрати F_i ($i = 1, 2, \dots, N$) до часу t відбувається за допомогою *інтеграла Дюамеля – Карсона*:

$$F_{i_{\text{прив}}}(t) = \int_0^{\theta_{\text{max}i}} w_i(\theta) \cdot F_i(t - \theta) d\theta \quad (16)$$

де $F_i(t)$ – поточне значення i -ї вхідної витрати;

$w_i(\theta)$ – імпульсна перехідна характеристика (ПХ) за каналом $F_i \rightarrow F_p$;

$\theta_{\text{max}i}$ – «час пам'яті» ПХ за каналом $F_i \rightarrow F_p$;

θ – час інтегрування.

В дискретному виді інтеграл (16) для кожного динамічного каналу перетворюється на суму

$$F_{1_{\text{прив}}}(i \cdot \Delta t) = \sum_{j=0}^{m_1} w_1(j) \cdot F_1(i - j) \cdot \Delta t \quad (17)$$

$$F_{2_{\text{прив}}}(i \cdot \Delta t) = \sum_{j=0}^{m_2} w_2(j) \cdot F_2(i - j) \cdot \Delta t$$

.....

$$F_{N_{\text{прив}}}(i \cdot \Delta t) = \sum_{j=0}^{m_N} w_N(j) \cdot F_N(i - j) \cdot \Delta t \quad (18)$$

де Δt – період (час) квантування,

$t = i \cdot \Delta t$ - поточний час;

$j \cdot \Delta t$ – поточний відлік часу імпульсної перехідної характеристики;

$m = \text{Int}(\Theta_{\max}/\Delta t) + 1$, тобто кількість відліків $w(j \cdot \Delta t)$ на інтервалі $(0, \Theta_{\max})$.

Витрата електроенергії, якщо вона присутня в числі затратних витрат, відбувається практично одночасно з витратою продукту і не вимагає приведення.

Для приведення витрат до часу отримання продукту необхідно мати m_i попередніх значень витрат F_i . Це забезпечується організацією т. зв. стекової пам'яті.

6. Остаточна структура СВт для обчислення її поточного значення

Кількість затратних витрат n визначається їх кількістю, для яких справедливе співвідношення (14).

Імпульсна перехідна характеристика (ІПХ) може бути знайдена шляхом диференціювання перехідної характеристики..

Зображенням за Лапласом імпульсної перехідної характеристики є передатна функція за відповідним динамічним каналом. І тому ІПХ можна отримати зворотнім перетворенням передатної функції.

На стадії проектування значення ІПХ можна оцінити в числовому виді через передатну функцію або перехідну характеристику.

Остаточна структура і формула для обчислення *поточного значення СВт* має вигляд

$$СВт = \sum_{i=1}^n Ці \frac{F_{i\text{прив}}}{F_p} \quad (19)$$

де $F_{i\text{прив}}$ – затратна витрата, для якої справедлива нерівність (14), приведена до часу отримання витрати продукту F_p ..

7. Порядок виконання ДКР

Рекомендується виконувати роботу в наступному порядку:

1. Вибрати технологічну ділянку для розрахунку СВт;
2. Навести технологічну схему вибраної ділянки та її короткий опис;
3. Встановити складові СВт та ціни одиниці їх витрат, шкали використовуваних приладів та їх класи точності, результати навести в таблиці 1 за наступною формою:

Таблиця 1

Дані для формування складових СВт каустику у виробництві NaOH

№ п/п	Назва витрати матеріальних/енергетичних потоків	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Шкала приладу	Ціна одиниці, грн./ ті	Клас точності ВК
1	Витрата					

4. Встановити витратні коефіцієнти для кожної складової СВт, результати звести в таблицю 2 за наступною формою:

Таблиця 2

Номінальні значення вимірюваних параметрів та витратні коефіцієнти за *i*-ю затратою $K_i = (F_i)/(F_p)$

№ п/п	Номінальні значення вимірюваних величин			Витратні коефіцієнти		
	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Значення	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Значення K_i

5. Встановити долю («вагу») кожної складової в СВт, дані звести в таблицю 3 за наступною формою:

Таблиця 3

Складові СВт за окремими затратами СВті та їх доля в СВт

№ п/п	Назва складової СВт	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Значення СВті	Доля $A_i = (СВті/СВт)$
1	Складові СВт за витратою ..	СВт1			

6. Встановити перелік параметрів та показники точності приладів, необхідних для оперативного розрахунку витрат тепла, електроенергії та матеріальних потоків, дані звести в таблицю 4 за наступною формою

Таблиця 4

Показники точності (похибки) ВК

№ п/п	Назва ВК	Одиниця вимірювання	Шкала приладу	Клас точності	Δi	σi
1	ВК витрати					...

7. Обчислити відносні похибки визначення кожної складової СВт через похибки вимірювання параметрів, за допомогою яких визначається ця складова, результати звести в таблицю 5;

Таблиця 5

Формування коефіцієнтів «ваг» дисперсій вимірювальних каналів (ВК)

№ п/п	Назва вимірювального каналу	Умове позначення	Коефіцієнт B_i	Добуток $C_i \cdot F_i$
1	ВК витрати	ВК1		

8. Обчислити похибку визначення СВт через відносні похибки визначення витратних коефіцієнтів;
9. Визначити перелік складових СВт, які враховуються для оперативного визначення СВт.
10. Врахувати динамічний зв'язок між елементами складових СВт та встановити остаточну формулу для її оперативного розрахунку.
11. Нанести на технологічну схему місця розташування датчиків вимірювальних каналів, інформація з яких використовується для обчислення СВт вибраної технологічної ділянки.

Література

1. Okes, D. (2020). Performance Metrics: The Levers for Process Management. Milwaukee: Quality Press, p.128.
2. Gupta, A. K., (2007), Industrial Engineering and Management. New Delhi: S. Chand & Company.
3. Silla, H. K., Chanchal, C. (2003), Process Economics for Chemical Engineers. New York: Marcel Dekker Inc., p.483.
4. Katsuhiko, O. (2010), Modern Control Engineering. New Jersey: Pearson Education, Inc., p.905.

Приклад виконання ДКР

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського”**

КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

**Структура технологічної складової собівартості для керування
<технологічним процесом випарювання розчину NaOH>**

Виконана
Студентом гр..ЛК-XXXX
XXXXXXXXXXXXXX

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2024

ЗАВДАННЯ

на ДКР з дисципліни «Керування складними системами»

Метою ДКР є демонстрація вміння виконання постановки задачі керування складними системами в частині обчислення поточного (оперативного) значення показника якості роботи технологічної ділянки для її використання при оперативному керуванні (диспетчеризації) технологічним процесом в комп'ютерно інтегрованій технології (КІТ) для конкретної технологічної ділянки виробництва за вибором студента (технологічна схема, що є предметом розгляду дипломного проекту на звання бакалавра).

Припущення: поточним (оперативним) показником роботи конкретної технологічної ділянки є технологічна складова собівартості (СВт) продукту, що утворюється на виході цієї технологічної ділянки.

Необхідно обґрунтувати вибір структури СВт для її поточного (оперативного) розрахунку з метою використання при оперативному керуванні (диспетчеризації) конкретної технологічної ділянки.

Порядок виконання роботи:

1. Вибрати технологічну ділянку для розрахунку СВт;
2. Встановити складові СВт та їх ціни, результати навести в таблиці 1;
3. Навести технологічну схему ділянки виробництва з розташуванням датчиків витрат складових СВт;
4. Встановити витратні коефіцієнти для кожної складової СВт, результати звести в таблицю 2;
5. Встановити долю («вагу») кожної складової в СВт, дані звести в таблицю 3;
6. Встановити перелік параметрів та показники точності приладів, необхідних для оперативного розрахунку витрат тепла, електроенергії та матеріальних потоків, дані звести в таблицю 4;
7. Обчислити відносні похибки визначення кожної складової СВт через похибки вимірювання параметрів, за допомогою яких визначається ця складова, результати звести в таблицю 5;

8. Обчислити похибку визначення СВт через відносні похибки визначення витратних коефіцієнтів;
9. Визначити перелік складових СВт, які враховуються для оперативного визначення СВт.
10. Врахувати, за необхідності, динамічний зв'язок між елементами складових СВт та встановити остаточну формулу для її оперативного розрахунку.
11. Навести фрагмент схеми автоматизації з приведенням тільки первинних перетворювачів витратомірів, інформація з яких використана для обчислення оперативних значень СВт.

ДКР виконується у вигляді текстового матеріалу на форматі А4 з включенням розрахунків та пояснень до них.

ВСТУП

Для дослідження структури поточного значення технологічної складової собівартості продукту як оперативного показника якості роботи технологічної ділянки виробництва вибрана трикорпусна випарна установка.

Технологічна схема трикорпусної випарної установки, для якої встановлюється структура технологічної складової собівартості одиниці вихідного потоку продукту (напівфабрикату) наведена на рис. 1.

Потік початкового розчину підігрівається в підігрівачі 4 до температури кипіння і подається в трубний простір внутрішньої нагрівальної камери 1-го випарного апарату, що обігрівається первинною парою.

Вторинна пара з цього корпусу спрямовується як грійна у другий корпус, де, внаслідок пониженого тиску, розчин кипить за нижчої температури, ніж у першому. Оскільки у другому корпусі тиск нижчий, частково упарений розчин переміщується самопливом до другого корпусу і тут охолоджується до температури кипіння у цьому корпусі. За рахунок тепла, що виділяється при цьому, додатково утворюється деяка кількість вторинної пари. Таке явище, що відбувається в усіх корпусах установки, крім першого, називається само випаровуванням розчину.

Аналогічно упарений розчин з другого корпусу перетікає самотоком до третього корпусу, який обігрівається вторинною парою з другого корпусу. Вторинна пара з останнього корпусу відводиться до барометричного конденсатора 5, в якому внаслідок конденсації пари створюється необхідне розрідження. Повітря та неконденсовані гази, відсмоктуються через пастку-бризковловлювач 6 з вакуумним насосом. За допомогою насоса підтримується стійкий вакуум, оскільки остаточний тиск у конденсаторі може змінюватись залежно від коливань температури води, що поступає в конденсатор.

Вхідні матеріальні і енергетичний потоки, що визначають технологічну складову собівартості продукту – упареного розчину – на технологічній ділянці випарювання розчину NaOH:

1. витрата вхідного розчину NaOH;
2. витрата грійної пари (теплової енергії);
3. витрата води в барометричний конденсатор;
4. витрата електроенергії для живлення насосів;
5. витрата продукту (упареного розчину).

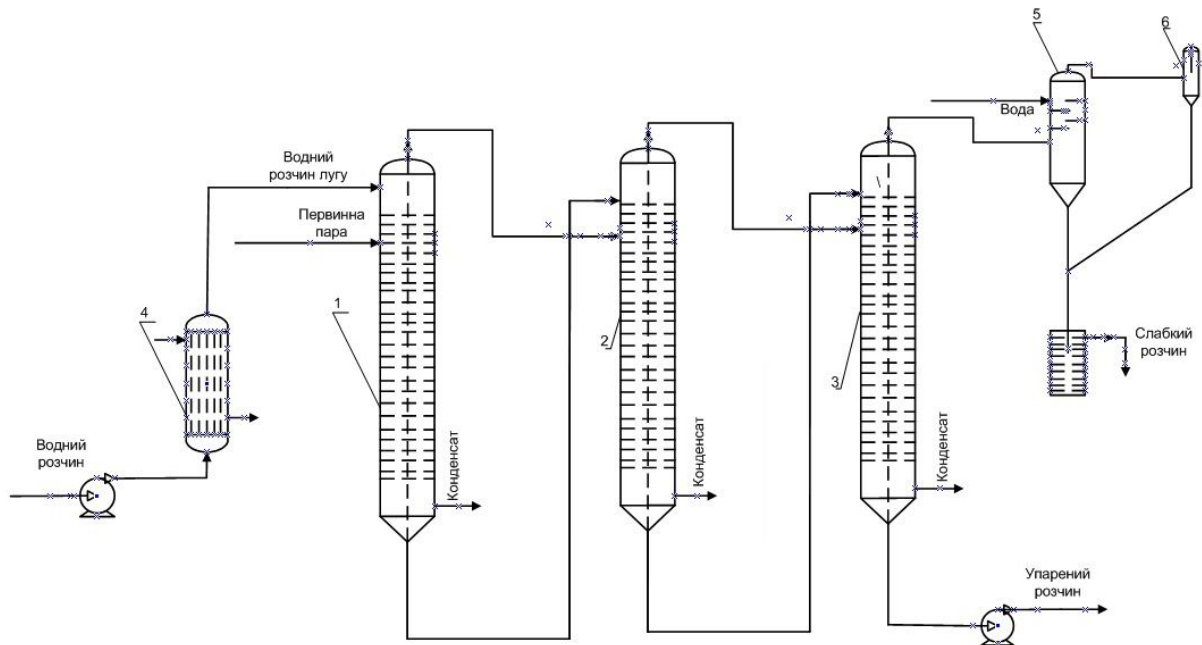


Рис.1. Технологічна схема випарювання розчину NaOH

Встановлюється структура **поточного значення технологічної складової собівартості** продукту (СВ_т) 3-х корпусної випарної станції для її використання в задачі керування.

Продуктом випарної установки є упарений розчин (каустик), СВ_т, якого використовується для цілей оперативного керування процесом випарювання початкового розчину гідроксиду натрію (NaOH), отриманого електролітичним методом з розчину кухонної солі, в КІТ або АСКТП.

СВ_т – це та складова собівартості, на яку можна впливати зміною технологічного режиму. Її зазвичай визначають за формулою:

$$\text{СВ}_\text{т} = \sum_{i=1}^N K_i \cdot \text{Ц}_i - \sum_{i=N}^{N+M} K_j \cdot \text{Ц}_j \quad , \quad (1)$$

де K_i, K_j – витратні коефіцієнти за i -ою *затратною* витратою (всього затрат N) і j -им зворотним потоком (всього M зворотних потоків);

Π_i, Π_j - ціна одиниці відповідно i -ої та j -ої витрати.

При використанні СВт з метою оперативного керування, чи диспетчеризації, в формулі (1) треба враховувати тільки ті складові, які істотно впливають на зміну СВт зі зміною режиму роботи технологічного об'єкту керування (ТОК).

Якщо похибка вимірювання СВт більша за значення будь-якої її складової, то таку складову виключають з формули оперативного обчислення СВт продукту технологічної ділянки.

Похибки як вимірювальних каналів (ВК), так і обчисленого значення СВт будемо характеризувати їх середньоквадратичними значеннями відповідно σ_{xi} та σ_{CBm} .

Тому в (1) відкидають ті складові, для яких похибка обчислення СВт σ_{CBm} більша від самої i -ї складової, тобто ті складові, для яких

$$CB_{ti} = K_i \cdot \Pi_i < \sigma_{CBt}, \quad (2)$$

де

$$\sigma_{CBm}^2 = \sum_{i,j=1}^{M+N} \left| \frac{\partial(CB_t)}{\partial x_i} \right|_{x=x_0}^2 \cdot \sigma_{xi}^2 \quad (3)$$

x_i – вимірювана величина,

σ_{xi}^2 – дисперсія похибки i -го вимірювального каналу (ВК);

1.Формування структури СВт та її складові

Формування структури СВт розчину каустику представлено на рис.2

Технологічна складова собівартості розчину каустику визначається за ціною і питомими витратами:

-Затратних складових:

електролітичного лугу (вхідний технологічний потік),
тепла, що поступає у виді насиченої пари,
води для барометричного конденсатора (БК)

електроенергії, яка використовується в циркуляційних насосах,

-Продукту (розчин каустику)

-Допоміжні (супутні) продукти:

конденсат;

зворотний розчин.



Рис. 2. Основні матеріальні і енергетичні потоки, що формують СВт

При виконанні ДКР прийнято ряд допущень:

1. Похибки як ВК, так і обчисленого значення СВт визначені їх середньоквадратичними значеннями відповідно σ_{xi} та $\sigma_{СВт}$.
2. Конденсат і зворотний розчин використовуються у цьому виробництві як допоміжні потоки і в подальших розрахунках не беруть участі.
3. Концентрації NaOH як у вхідному, так і в вихідному потоках стабілізовані окремими системами регулювання і не беруть участі в обчисленні СВт каустику.
4. Температури як вхідного потоку розчину, так і вихідного регулюються окремими системами і стабілізовані на заданому розрахунковому рівні.

5. Характеристики гріючої пари стабільні, що не вимагає вносити поправки при визначенні її витрати.
6. За похибку вимірювального каналу прийнято середньоквадратичне значення відхилення вимірюваної величини для нормального закону розподілення величини при довірчій ймовірності 0,95.

В таблиці 1 наведені характеристики основних потоків, які визначають затрати і результат роботи випарної станції та формують СВт каустику.

Таблиця 1

Дані для формування складових СВт каустику у виробництві NaOH

№ п/п	Назва витрати матеріальних/ енергетичних потоків	Умовне позна- чення	Одиниця вимірю- вання	Шкала приладу	Ціна оди- ниці, грн./ ті	Клас точності ВК
1	Витрата вхідного розчину	<i>F1</i>	т1/год	0 - 100	70	1.5
2	Витрата гріючої пари (тепла)	<i>F2</i>	т2/год	0 - 100	80	1,5
3	Витрата води	<i>F3</i>	т3/год	0 - 10	30	1,5
4	Витрата електро-енергії	<i>F4</i>	кВт-год	0 - 50	12	0,5
5	Витрата випареного розчину каустику	<i>Fp</i>	тр/год	0 - 20	-	1,5

2. Витратні коефіцієнти для затратних складових СВт

Витратний коефіцієнт для вхідного потоку розчину

$$K_1 = F_1 / F_p \quad (4).$$

Витратний коефіцієнт для гріючої пари

$$K_2 = F_2 / F_p \quad (5).$$

Витратний коефіцієнт для витрати води

$$K_3 = F_3 / F_p \quad (6).$$

Витратний коефіцієнт для електроенергії

$$K_4 = F_4 / F_p \quad (7).$$

Номінальні значення вимірюваних величин та витратні коефіцієнти за затратними витратами наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Номінальні значення вимірюваних параметрів та витратні коефіцієнти за і-ю

затратою $K_i = (F_i) / (F_p)$

№ п/п	Номінальні значення вимірюваних величин			Витратні коефіцієнти		
	Умовне позна- чення	Одиниця вимірю- вання	Зна- чення	Умовне позна- чення	Одиниця вимірю- вання	Значення K _i
1	F ₁	т1/год	40	K ₁	т1/тр	4,0
2	F ₂	т2/год	12	K ₂	т2/тр	1,2
3	F ₃	т3/год	2	K ₃	т3/тр	0,2
4	F ₄	квт- год/год	30	K ₄	квт-год/тр	3,0
5	F _p	тр/год	10	-	-	-

тр – тонна випареного розчину

3.Складові СВті та їх доля в СВт

В формулі (3) масив вимірюваних параметрів складає $x_i \in (F1, F2, F3, F4, Fp)$.

Складові СВт визначаються як добуток відповідного витратного коефіцієнта на ціну одиниці вимірюваної витрати:

$$\text{СВті} = \text{Кі} \cdot \text{Ці} \quad (8)$$

Сама СВт каустику є сумою затрат за окремими її складовими, тобто

$$\text{СВт} = \sum_{i=1}^4 \text{СВті} \quad (9)$$

Доля кожної складової СВті в цілій СВт визначиться як

$$\text{Аі} = (\text{СВті}) / \text{СВт} \quad (10)$$

Таблиця 3

Складові СВт за окремими затратами СВті та їх доля в СВт

№ п/п	Назва складової СВт	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Значення СВті	Доля Аі = (СВті/СВт)
1	Складова СВт за витратою вхідного розчину	СВт1	грн / тр	280,0	0,6699
2	Складова СВт за витратою гріючої пари...	СВт2	грн / тр	96,0	0,2296
3	Складова СВт за витратою води	СВт3	грн / тр	6,0	0,0143
4	Складова СВт за витратою електроенергії	СВт4	грн / тр	36,0	0,0862
5	СВт	СВт	Грн / тр	418,0	1,0000

тр – тонна випареного розчину

4. Похибки вимірювальних каналів (ВК)

Враховуючи прийняті допущення, гранично допустима абсолютна похибка Δi i -го ВК при нормальному законі розподілення визначиться за шкалою приладу ($x_{\max}$, $x_{\min}$) та його класом точності $Kл$:

$$\Delta i = (x_{\max} - x_{\min}) \cdot Kл / 100 \quad (11)$$

При цьому дисперсія похибки i -го ВК при довірчій ймовірності 0,95 (допущення б) складатиме

$$\sigma_i = \Delta i / 1,96 \quad (12)$$

Обчислені похибки вимірювальних каналів наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Показники точності (похибки) ВК

№ п/п	Назва ВК	Одиниця вимірювання	Шкала приладу	Клас точності	Δi	σi
1	ВК витрати вхідного розчину	т1 / год	0 - 100	1,5	1,50	0,7653
2	ВК витрати пари	т2 / год	0 - 100	1,5	1,50	0,7653
3	ВК витрати води	т3 / год	0 - 10	1,5	0,15	0,0765
4	ВК витрати електроенергії	квт-год / год	0 - 50	0,5	0,25	0,1275
5	ВК витрати розчину каустику	тр / год	0 - 20	1,5	0,30	0,1530

тр – тонна випареного розчину

5. Абсолютна похибка обчислення СВт

Абсолютна похибка СВт обчислюється відповідно співвідношенню (3), в якому σ_i беруться з таблиці 4, а для отримання частинних похідних використовуються формули (4) – (7).

Позначимо частинні похідні СВт за витратами F_i

$$B = \frac{\partial \text{СВт}}{\partial F_i} = \frac{C_i}{F_p} \quad (13)$$

Позначимо частинну похідна СВт за витратою F_p

$$C = \frac{\partial \text{СВт}}{\partial F_p} = - \frac{\sum_i C_i \cdot F_i}{F_p^2} \quad (14)$$

Тоді дисперсія СВт згідно (3) прийме вид

$$\sigma_{\text{СВт}}^2 = C^2 \cdot \sigma_p^2 + \sum_{i=1}^4 B_i^2 \sigma_i^2 \quad (15)$$

Формування коефіцієнтів B_i та C наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Формування коефіцієнтів «ваг» дисперсій вимірювальних каналів

№ п/п	Назва вимірювального каналу	Умовне позначення	Коефіцієнт B_i	Добуток $C_i \cdot F_i$
1	ВК витрати вхідного розчину	ВК1	7,0	2800
2	ВК витрати пари	ВК2	8,0	960
3	ВК витрати води	ВК3	3,0	60
4	ВК витрати електроенергії	ВК4	1,2	360
5	ВК витрати розчину каустику	ВК5	-	$\Sigma = 4180$

Дисперсія СВт згідно (15)

$$\sigma_{\text{СВт}}^2 = (4180 / 10^2)^2 \cdot 0,153^2 + 7,0^2 \cdot 0,7653^2 + 8,0^2 \cdot 0,7653^2 + 3,0^2 \cdot 0,0765^2 + 1,2^2 \cdot 0,153^2 = 107,1$$

Середньоквадратичне значення похибки визначення СВт складає $\sigma_{\text{СВт}} = (107,1)^{0,5} = 10,34$ грн/тр .

6. Остаточний склад СВт

Порівнюємо отримане середньоквадратичне значення похибки обчислення СВт $\sigma_{СВт} = 10,34$ грн/тр зі складовими СВті, які знаходяться в таблиці 3.

СВт3 є меншим за похибку визначення СВт

$$\text{СВт3} < \sigma_{СВт} \quad (16),$$

Тому СВт3 може бути виключеним з переліку витрат, які істотно впливають на величину СВт. Інші складові (СВт1, СВт2, СВт4) приймають значення, більші за похибку визначення СВт, тому вони істотно впливають на обчислення поточного (оперативного, а не звітного) значення СВт і залишаються в скороченій формулі розрахунку СВт:

$$\text{СВт} = \text{Ц}_1\text{К}_1 + \text{Ц}_2\text{К}_2 + \text{Ц}_4\text{К}_4 \cdot \quad (17)$$

Одночасно виключається із розгляду і вимірювальний канал ВК3.

Для оперативного визначення СВт використовуються витрати вхідного розчину F1, пари F2, електроенергії F4 і випареного розчину каустику Fp.

7. Врахування динамічних зв'язків між вхідними витратами F_1, F_2, F_4 і витратою продукту F_p

Враховуючи значення витратних коефіцієнтів K_i , розрахунок СВт ведеться за співвідношенням:

$$СВт = Ц_1 \cdot \frac{F_1}{F_p} + Ц_2 \cdot \frac{F_2}{F_p} + Ц_4 \cdot \frac{F_4}{F_p} \quad (18)$$

Між вхідними величинами F_1, F_2, F_4 і вихідною величиною F_p існують певні динамічні зв'язки, вплив яких враховується шляхом приведення кожної з витрат до одного моменту часу t . Зазвичай за такий момент часу приймається час отримання продукту, тобто F_p .

В лінійному наближенні приведення кожної витрати F_i ($i = 1, 2, 4$) до часу t відбувається за допомогою *інтеграла Дюамеля – Карсона*:

$$F_{i_{прив}}(t) = \int_0^{\theta_{maxi}} w_i(\theta) \cdot F_i(t - \theta) d\theta \quad (19)$$

де $F_i(t)$ – поточне значення i -ї вхідної витрати;

$w_i(\theta)$ – імпульсна перехідна функція за каналом $F_i \rightarrow F_p$;

θ_{maxi} – «час пам'яті» імпульсної перехідної функції за каналом $F_i \rightarrow F_p$

θ – час інтегрування.

В дискретному виді інтеграл (19) для кожного динамічного каналу перетворюється на суму

$$F_{1_{прив}}(i \cdot \Delta t) = \sum_{j=0}^{m_1} w_1(j) \cdot F_1(i - j) \cdot \Delta t \quad (20)$$

$$F_{2_{прив}}(i \cdot \Delta t) = \sum_{j=0}^{m_2} w_2(j) \cdot F_2(i - j) \cdot \Delta t \quad (21)$$

де Δt – період (час) квантування,

$t = i \cdot \Delta t$ – поточний час;

$j \cdot \Delta t$ – поточний відлік часу імпульсної перехідної функції

$m = \text{Int}(\theta_{max}/\Delta t) + 1$, тобто кількість відліків $w(j \cdot \Delta t)$ на інтервалі $(0, \theta_{max})$.

Витрата електроенергії F_4 відбувається практично одночасно з витратою F_p і не вимагає приведення.

Остаточна формула обчислення поточного значення СВТ матиме вигляд:

$$СВТ = Ц_1 \cdot \frac{F_{1\text{прив}}}{F_p} + Ц_2 \cdot \frac{F_{2\text{прив}}}{F_p} + Ц_4 \cdot \frac{F_4}{F_p}. \quad (22)$$

На рис.3 наведений фрагмент схеми автоматизації, на якому приведені первинні перетворювачі тих витратомірів, інформація з яких використовується для обчислення поточного значення СВТ технологічної ділянки випарювання розчину NaOH.

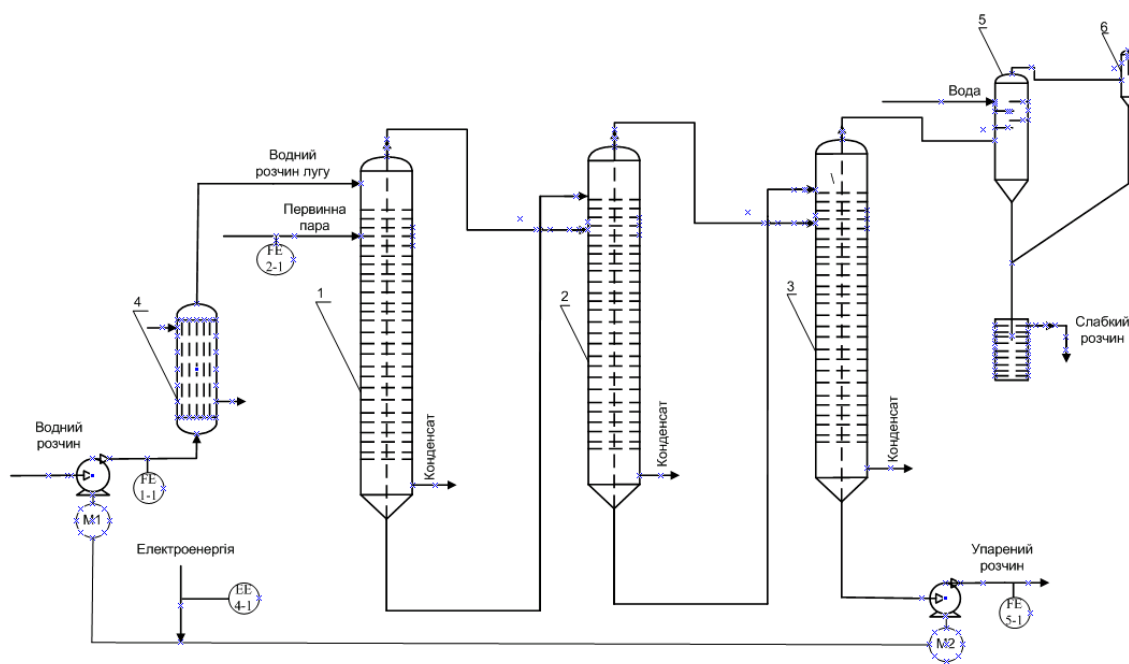


Рис.3 Фрагмент спрощеної схеми автоматизації