

## **ПІДСИСТЕМА АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І ВИБОРУ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ДИФУЗІЙНОЮ СТАНЦІЄЮ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ**

**Сідлецький В.М.**, к. т. н.,

**Ельперін І.В.**, к. т. н.

*Національний університет харчових технологій*

*Наводиться реалізація системи прогнозування параметрів роботи дифузійної станції цукрового заводу та вибору рекомендованого рішення направлено на усунення відхилень технологічного режиму та на покращення показників роботи дифузійного відділення що включає в себе моделі розрахунку.*

***Прогнозування, показники якості роботи дифузійного відділення, прийняття рішень,, багатокритеріальний вибір, домінуючі критерії.***

Діючі системи автоматизації дифузійної станції цукрового заводу забезпечують підтримання на заданому рівні технологічних параметрів, які дозволяють вести процес в межах регламентованих значень і працюють досить надійно. Але, як показує практичний досвід роботи з такими системами, не рідко виникають ситуації при яких технологічний режим порушується, а система автоматизації на них не реагує, або реагує з досить великим запізнюванням. Це пояснюється тим, що система автоматизації не може інструментальними методами контролювати якість сировини і стан стружки, процеси переміщення стружки в ошпарювачі і колоні, втрати цукру і інше. Крім того для одних і тих же значень параметрів технологічного процесу можна отримати різні значення показників роботи дифузійної станції, які у деяких випадках можуть бути ще й суперечливими. Це пояснюється тим, що:

- процес висолоджування є нестационарним, і тому математична модель процесу, яка розроблена тільки на основі матеріальних та енергетичних балансів, не зможе повністю врахувати вплив всіх факторів, які виникають на дифузійній станції,

- на процес висолоджування, крім технологічних параметрів, суттєво впливають інші фактори, які можуть привести до суперечливої оцінки оператором стану процесу, в результаті чого будуть прийняті помилкові рішення.

**Мета досліджень.** Робота дифузійної станції характеризується наявністю слабо формалізованих параметрів (якість стружки, час дифузії, переміщення стружки) та їх значною зв'язністю, що призводить до одночасної зміни показників якості роботи дифузійної станції при зміні одного з них. Тому складність роботи оператора полягає у визначення причини відхилення технологічного режиму і погіршення якісних показників процесу, що ускладнює прийняття рішень з їх усунення. Крім того необхідно враховувати, що відхилення технологічного режиму і погіршення якісних показників процесу можуть бути викликані різними причинами. У зв'язку з цим, розробка підсистеми прогнозування зміни показників якості роботи дифузійної станції від значень технологічних параметрів є актуальною для вдосконалення існуючих систем автоматизації.

**Матеріали та методика досліджень.** Задачі, які виникають перед оператором, можна охарактеризувати як такі, що не мають формальних алгоритмів рішення. Оператор аналізує однакові параметри, але при цьому може приймати різні рішення. В задачах, для яких характерна наявність неповної та нечіткої вхідної інформації і пов'язаних з досягненням неоднозначно виражених цілей, неможливо виділити один – головний – показник, відносно якого необхідно коригувати технологічний процес. Тому при розробці механізму формування рекомендацій необхідно розглядати не просто логіку прийняття рішень стосовно одного параметра чи показника якості, а для всього процесу висолоджування, як єдиної системи [1].

У зв'язку з цим, в процесі розробки механізму виведення, необхідно виконати операції: сформуванати множину рішень, вибрати критерії для оцінки запропо-нованих рішень і вибрати рекомендації, які будуть запропоновані оператору.

На рис. 1 показана функціональна структура процесу прийняття рішень з метою покращення показників якості роботи дифузійної станції з врахуванням завантаження апарату та переміщення стружки.

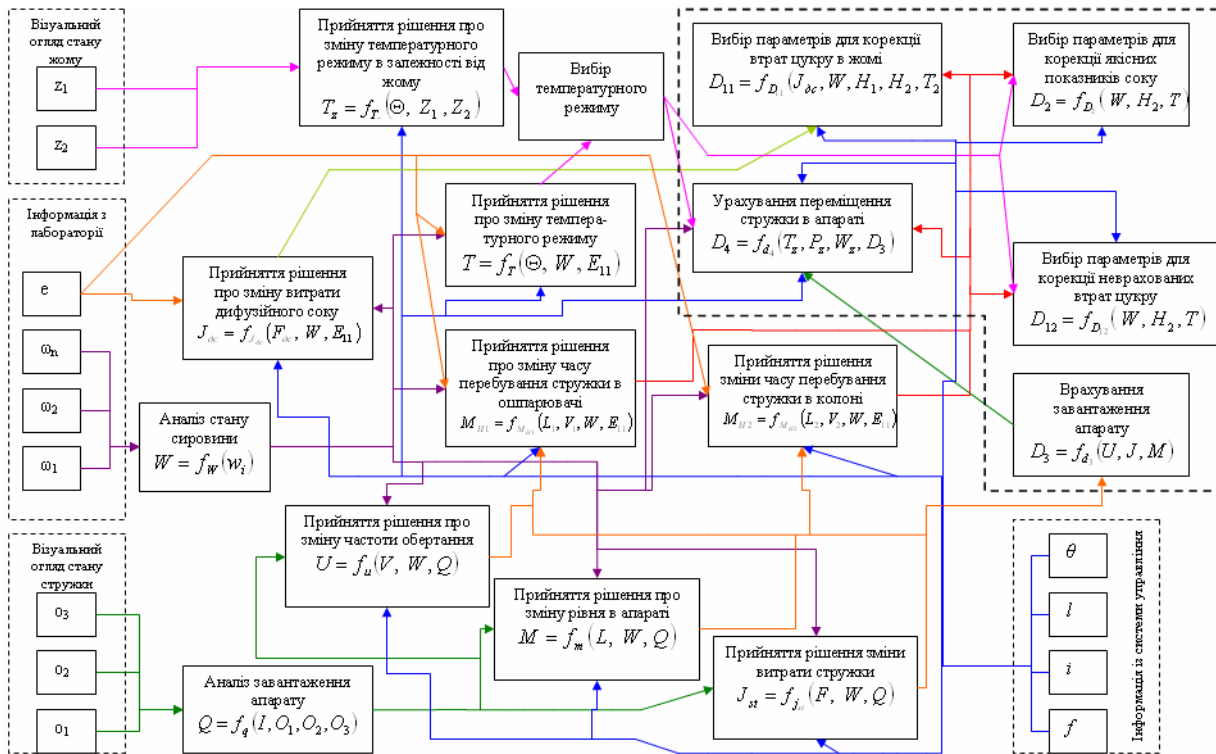


Рис. 1. Функціональна структура процесу прийняття рішень для корекції показників роботи дифузійної станції

Дана схема відтворює процес перетворення інформації від її початкового представлення оператору з наступними етапами її аналізу і вироблення рекомендацій. Кожен етап виведення описується правилами виведення. Об'єднання попередніх правил використовуються для виведення наступних. Так, для корекції завантаження апарату аналізується характер та величина зміни таких параметрів, як: рівень в апараті, витрата стружки, частота обертання транспортуючих органів. При цьому завантаження апарату використовується для аналізу та корекції переміщення стружки в апараті, а

обидва ці показники (завантаження апарату та переміщення стружки в апараті) необхідно врахувати в процесі вироблення рекомендацій щодо коригування показників якості роботи дифузійної станції (якість дифузійного соку, втрати цукру).

При цьому необхідно відмітити, що для використання правил бази знань необхідна інформація з декількох джерел: системи автоматичного контролю, даних заводської лабораторії та результатів візуального обстеження обладнання.

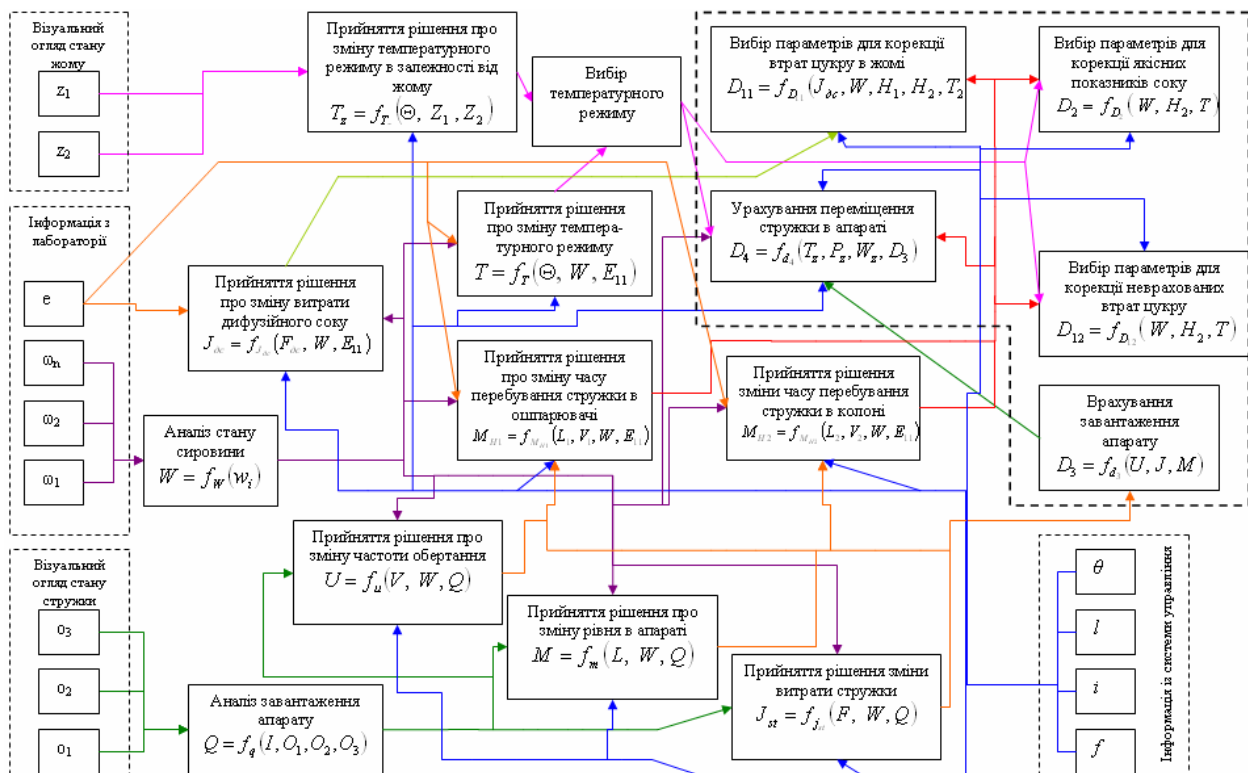


Рис. 1. Функціональна структура процесу прийняття рішень для корекції показників роботи дифузійної станції

Із наведеної структури слідує, що стан стружки впливає на вибір та зміну кожного із параметрів. Це можна пояснити тим, що практично в кожному правилі експерта є перевірка якості стружки. Крім того, стан стружки перевіряється: в апаратах в процесі їх візуального обстеження, на виході стружки з дифузійного апарату у вигляді жому, для аналізу таких параметрів, як переміщення стружки в апараті та завантаження апарату.

Аналіз функціональної структури дозволяє зробити висновок, що для всіх показників роботи дифузійної станції можна виділити загальні правила виведення, при використанні якими, крім аналізу стану сировини та аналізу завантаження апарату, необхідно враховувати рекомендації щодо зміни: витрати стружки, частоти обертання турбовалу, рівня в апараті, часу перебування стружки в ошпарювачі, часу перебування стружки в колоні, температурного режиму та витрати дифузійного соку. Ці правила можна виділити в окрему блок-схему аналізу доцільності та характеру зміни параметрів (рис. 2). З урахуванням цього розроблена узагальнена функціональна структура процесу прийняття рішень (рис. 3), яка може бути покладена в основу розробки алгоритмів логічного виведення.

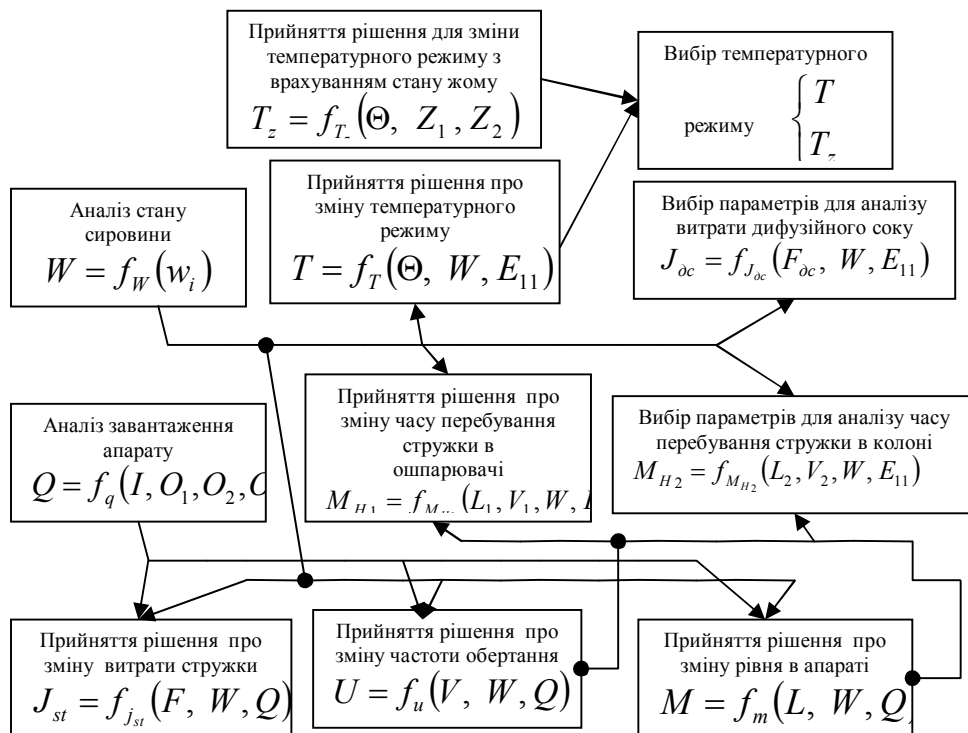


Рис. 2. Блок-схема аналізу доцільності та характеру зміни параметрів

Схема доповнена блоком оцінки роботи технологічних агрегатів оператором дифузійної станції, який використовується в процесі прийняття рішень. Схема показує механізм процедури виведення, в процесі якого вирішуються задачі: співставлення та порівняння вхідних даних з правилами, що знаходяться в базі знань; вибір правила із множини правил у випадку

істинності їх тверджень; видача суджень про необхідність дій у випадках спрацювання якогось правила. Тобто кожен цикл логічного виведення починається із перегляду всіх можливих правил із бази даних та співставлення їх з вхідними даними. Якщо знаходяться правила, для яких умовні частини співпадають, то вони формують множину правил, з яких, на основі сформованих критеріїв, вибирається одне – для якого виконується дія.

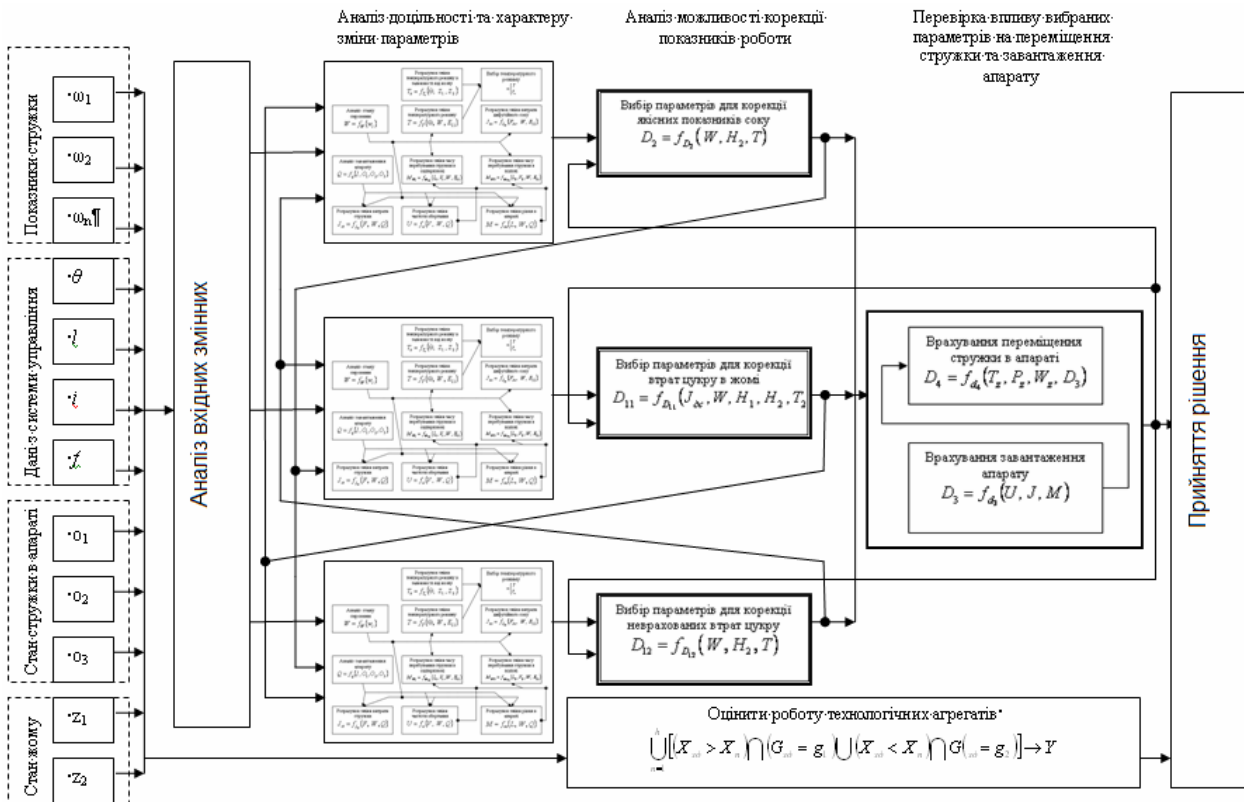


Рис. 3. Блок-схема прийняття рішень оператором дифузійної станції

У наведеній блок-схемі для кожного показника роботи дифузійної станції є свій блок аналізу параметрів для визначення можливості та меж їх зміни з урахуванням поточних даних про стан технологічного процесу.

Після вибору параметра чи параметрів для корекції ця інформація надходить до блоку, який аналізує, яким чином вибрані параметри вплинуть на переміщення стружки і завантаження апарату, а також на вхід блоків аналізу технологічних параметрів інших показників роботи дифузійної станції. В свою чергу, від блоку, що перевіряє вплив вибраних параметрів на переміщення

стружки та завантаження апарату, інформація надходить на вхід блоків, які аналізують показники роботи дифузійної станції, і, якщо вибрані параметри та характер їх зміни задовольняють за всіма показниками роботи дифузійної станції, ці дані надходять в блок обробки вихідних змінних.

Беручи до уваги, що для технологічного процесу висолоджування характерні внутрішні зв'язки між окремими параметрами, досягти бажаних показників якості можна за рахунок зміни різних параметрів. Тому в процесі вироблення рекомендацій необхідно одночасно проводити логічне виведення для всіх параметрів з метою отримання інформації, який параметр і на скільки необхідно змінювати.

Нечітке логічне виведення для всіх технологічних параметрів було проведено з використанням програмного пакету MATLAB [2], що дозволило на основі інформації від системи автоматичного контролю, даних візуального обстеження та інформації з лабораторії отримати рекомендації у вигляді характеру (збільшити, зменшити) та числового значення зміни технологічного параметра.

Наприклад, для значень технологічних параметрів, наведених у табл. 1, блоком логічного виведення отримані рекомендовані значення для зміни технологічних параметрів, наведених у табл. 2. Знак біля кожного значення вказує на рекомендований характер зміни: збільшувати чи зменшувати. Для питомого завантаження виводиться узагальнююча інформація, яка виведена на основі даних візуального огляду стану стружки в колоні.

Таким чином можна одночасно отримати рекомендації щодо зміни всіх параметрів (табл. 2.). Але при цьому перед оператором постає задача вибору: яку рекомендацію вибрати і який з параметрів змінити на рекомендоване значення. При цьому треба враховувати, що зміна технологічного параметра може одночасно впливати на всі показники якості роботи дифузійної станції.

Як видно із таблиці, для комбінації з 7 параметрів можна отримати 128 варіантів рекомендацій для зміни параметрів. Зрозуміло, що видача всіх цих рекомендацій оператору для вибору якогось варіанту для прийняття рішення, не має ніякого сенсу, так як оператору буде необхідно постійно аналізувати

співвідношення трьох показників якості та двох критеріїв обмеження. При цьому покращення одного показника, як правило, викликає погіршення іншого. Також необхідно врахувати, що для дифузійної станції цукрового заводу характерною ознакою є використання різних одиниць і різних шкал для показників якості роботи дифузійної станції. Крім того, наявні безрозмірні показники роботи, наприклад, переміщення стружки в апараті. У зв'язку з цим необхідно провести нормалізацію показників роботи дифузійної станції. Тому була використана формула повної нормалізації критеріїв:

Таблиця 1

Значення технологічних параметрів процесу висолоджування

№	Назва параметру	Од. вим.	Значення
1	Вміст цукру в дифузійного соку	%	11.4
2	Втрати в жомі	%	0.37
3	Вміст цукру в стружці	%	13.1
4	Вміст пульпи в стружці	%	40
5	Кількість браку	лінгв. зміна	норма
6	Пружність	лінгв. зміна	норма
7	Міцність	лінгв. зміна	норма
8	Температура в колоні (середня)	°С	64.93
9	Напруга двигуна колоні	В	165.56
10	Температура в ошпарювачі (середня)	°С	74.15
11	Напруга двигуна ошпарювача	В	300.8
12	Витрата дифузійного соку	м <sup>3</sup> /год	112.94
13	Витрата стружки	т/год	70.83
14	Рівень в колоні	%	85.03
15	Рівень в ошпарювачі	м	1.5
16	Струм двигуна колоні	А	68.36
17	Стан стружки (оглядове скло)	лінгв. зміна	в нормі
18	Переміщення стружки (оглядове скло)	лінгв. зміна	Апарат заповнений стружкою, яка рухається за лопаттю
19	Заповнення апарату (оглядове скло)	лінгв. зміна	Стружка рухається суцільною масою
20	Стан жому	лінгв. зміна	Недостатньо пружний
21	Колір жому	лінгв. зміна	Світло – жовтий

В якості критеріїв були використані показники роботи дифузійної станції. Дана нормалізація відображає вихідні значення показників на відрізьку від нуля до одиниці. Найкраще значення нормалізованого показника роботи дифузійної станції дорівнює одиниці, а найгірше – нулю.

Таблиця 2

Рекомендовані значення технологічних параметрів

№	Назва параметру	Од. вим.	Значення
1	Витрата дифузійного соку	м <sup>3</sup> /год	-10.12
2	Витрата стружки	т/год	15.48
3	Напруга двигуна колони	В	17.54
4	Температура в колоні (середня)	°С	2.75
5	Рівень в колоні	%	4.97
6	Напруга двигуна ошпарювача	В	-8.43
7	Температура в ошпарювачі (середня)	°С	-1.32

$$f_i(x) = \frac{\overline{f_i(x)} - \min_{x \in X} \overline{f_i(x)}}{\max_{x \in X} \overline{f_i(x)} - \min_{x \in X} \overline{f_i(x)}} \quad (1)$$

де  $f_i(x)$  – нормалізований критерій,  $\overline{f_i(x)}$  – вихідний критерій.

Крім повної нормалізації показників роботи, була проведена зміна направленості цілі. Це пояснюється необхідністю переходу до однонаправлених показників роботи дифузійної станції (якість соку необхідно збільшувати, а втрати цукру необхідно зменшувати). Зміна направленості цілі розуміється в заміні «max» на «min» або «min» на «max»:

$$f_i(x) = 1 - \overline{f_i(x)}. \quad (2)$$

В таблиці 3 наведені нормалізовані показники якості роботи дифузійної станції для наведених вище рекомендацій.

Умовою вирішення даної задачі є знаходження таких рішень в процесі вибору рекомендації ( з врахуванням множини показників), при яких показники роботи дифузійної станції матимуть максимальне значення:

$$\langle f_1(x), f_2(x), \dots, f_i(x) \rangle \rightarrow \max_{x \in X}. \quad (3)$$

На рис.4 наведене графічне представлення нормалізованих показників роботи для вибору рекомендацій, які наведені у таблиці 3.

**Результати досліджень.** На практиці, для дифузійної станції неможливо знайти таке рішення, при якому всі показники роботи одночасно матимуть максимальне значення. Це пов'язано зі специфікою процесу висолоджування. Збільшення продуктивності приводить до зменшення часу перебування стружки в апараті, що призводить до збільшення втрат цукру в жомі. Збільшення витрати дифузійного соку зменшує втрати цукру в жомі, але при цьому зменшує якість дифузійного соку. Тобто якщо рішення максимізує один із показник роботи, то інші критерії цим рішенням не максимізуються.

Таблиця 3

Фрагмент нормалізованих показників роботи дифузійної станції

№	Показники роботи дифузійної станції				
	Якість дифузійного соку	Втрати цукру в жомі	Невраховані втрати	Питоме навантаження	Переміщення стружки
1	0.00	0.07	0.14	0.51	0.00
2	0.00	0.15	0.14	0.51	0.00
3	0.00	0.07	0.14	0.51	0.00
4	0.00	0.15	0.14	0.51	0.00
5	0.10	0.00	0.00	0.32	0.02
...	...	...	...	...	...
126	1.00	0.93	0.92	0.81	1.00
127	1.00	0.85	0.92	0.81	1.00
128	1.00	0.93	0.92	0.81	1.00

У зв'язку з цим для вирішення задачі, щодо знаходження такої рекомендації, при якій будуть найкращими показники, була використана методика домінуючих критеріїв, згідно якої знаходиться рішення, у якому найбільша кількість домінуючих показників [3].

Для цього формується матриця  $A$  розміром  $n \times n$  з елементами  $a_{ij} = q(x^i, x^j)$ , де  $q(x^i, x^j)$  – кількість показників, за якими рекомендація  $x^j$  перевищує  $x^i$ , а  $i, j = \overline{1, n}$ , де  $n$  – кількість рекомендацій.

Вирішенням задачі є знаходження підмножини всіх варіантів  $x \in X$  з мінімальним в  $X$  домінуючим показником:

$$C^K(X) = \left\{ x \in X \mid Q_X(x) = \min_{z \in X} Q_X(z) \right\}. \quad (4)$$

де: величина  $Q_X(x)$  називається домінуючим показником рекомендації  $x$  і знаходиться як:

$$Q_X(x) = \max_{x^j \in X} q(x^i, x^j). \quad (5)$$

Для випадку, який вказаний в таблиці 3, матриця формується з розміром всіх рекомендацій, тобто  $128 \times 128$ :

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$\dots$	$x_{126}$	$x_{127}$	$x_{128}$
$x_1$	0	1	0	1	2	$\dots$	5	5	5
$x_2$	0	0	0	0	2	$\dots$	5	5	5
$x_3$	0	1	0	1	2	$\dots$	5	5	5
$x_4$	0	0	0	0	2	$\dots$	5	5	5
$x_5$	0	3	3	3	0	$\dots$	5	5	5
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$x_{126}$	0	0	0	0	0	$\dots$	0	0	0
$x_{127}$	0	0	0	0	0	$\dots$	1	0	1
$x_{128}$	0	0	0	0	0	$\dots$	0	0	0

Якщо при побудові матриці зустрічаються рекомендації в яких всі критерії домінуючі, (з б видно, що є рекомендації, в яких всі 5 показників якості домінують), то відбираються рекомендації з максимальною кількістю показників якості, а потім вибрані рекомендації порівнювались між собою. Формування матриць закінчується, якщо виконувалась одна із умов: кількість домінуючих показників якості була менше, ніж кількість всіх показників, або рекомендація з усіма домінуючими показниками була одна. У першому випадку, коли кількість домінуючих показників була менша, ніж загальна кількість показників, і при цьому рекомендацій було декілька, то рекомендації

між собою порівнювались і вибиралась рекомендація з мінімальним домінуючим критерієм. У випадку, коли вони були рівні – вибралась перша рекомендація.

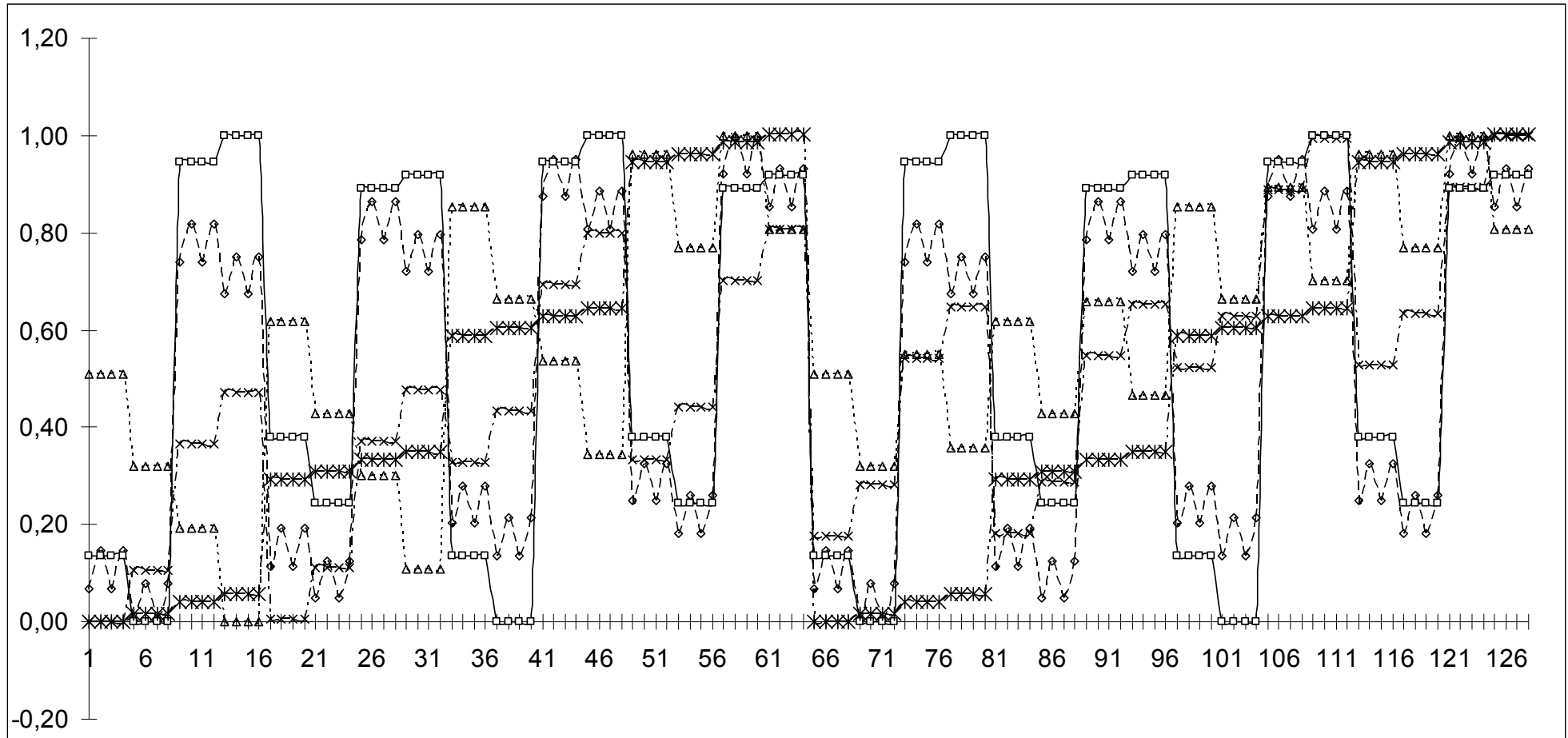


Рис. 3. Графічне представлення нормалізованих показників і номер рішення:

× – вміст цукру в дифузійному соку,  $\diamond$  – втрати цукру в жомі,  $\square$  – невраховані втрати,

$\triangle$  – завантаження апарату, \* – переміщення стружки.

Для рекомендацій, які розглядаються у таблиці 3, найкращими будуть наступні варіанти:

$$x_{126} = \{y_{126}^1, y_{126}^2, y_{126}^3, y_{126}^4, y_{126}^5\} = \{1.00, 0.93, 0.92, 0.81, 1.00\},$$

$$x_{128} = \{y_{128}^1, y_{128}^2, y_{128}^3, y_{128}^4, y_{128}^5\} = \{1.00, 0.93, 0.92, 0.81, 1.00\}.$$

При такому вирішенні кількість можливих варіантів рекомендацій зменшилась до двох.

### **Висновки**

Використання підсистеми аналізу технологічного процесу і вибору рішень дозволяє видати рекомендації, щодо усунень відхилень технологічного режиму для покращення показників роботи дифузійного відділення, та звести їх до мінімального можливого значення, виділяючи найбільш вагомій рекомендації, але й перевірити до яких наслідків приведе вибрана рекомендація якщо її прийняти.

### **Список використаних джерел**

1. Розробка алгоритмів підсистеми підтримки прийняття рішень для контролю якості роботи дифузійного відділення / В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін, А.П. Ладанюк // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. – №2(18). – С. 92-97.
2. Механізм логічного виведення рекомендацій щодо зміни технологічних параметрів для колонної дифузійної станції/ Сідлецький В.М., Ельперін І.В., // Харчова промисловість. – 2010. – №9. – С. 136-141.
3. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов; – М.: Наука, 1982. – 328 с.
4. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Колос, 1998. – 495 с. (Учебник и учеб. пособие для студентов высших учебных заведений).
5. Севастьянов П.В. Многокритериальная идентификация и оптимизация технологических процессов. / П.В. Севастьянов, Н.В. Туманов. – Минск: Наука и техника, 1990. – 224 с.

### **Аннотация**

*Показана реализация системы прогнозирования параметров работы диффузионной станции сахарного завода и выбора рекомендуемого решения направленного на устранение отклонений технологического режима и на улучшение показателей работы диффузионного отделения*

***Прогнозирование, показатели качества работы диффузионного отделения, принятие решений, многокритериальный выбор, доминирующие критерии.***

### **The summary**

*Shows the implementation of the system of forecasting the parameters of the diffusion plant sugar factory and the choice of the recommended solutions aimed at eliminating the deviations of technological regime and to improve the performance of diffusive separation*

***Forecasting, quality of the diffusion area sugar factory, decision-making, multi-criteria selection, the dominant criteria.***