

# Автоматична система прогнозування та багатокритеріального вибору в системі управління дифузійною станцією цукрового заводу

*В.М. Сідлецький, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний університет харчових технологій*

*І.В. Ельперін, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, 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.*

*Ключові слова: прогнозування, функції регресії, показники якості роботи дифузійного відділення, прийняття рішень,, багатокритеріальний вибір, домінуючі критерії*

*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*

*Ключевые слова: прогнозирование, функции регрессии, показатели качества работы диффузионного отделения, принятие решений,, многокритериальный выбор, доминирующие критерии .*

*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*

*Key words: forecasting, regression function, quality of the diffusion area sugar factory, decision-making, multi-criteria selection, the dominant criteria.*

## ВСТУП

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.

## АКТУАЛЬНІСТЬ

Робота дифузійної станції характеризується наявністю слабо формалізованих параметрів (якість стружки, час дифузії, переміщення стружки) та їх значною зв'язністю (рис. 1), 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 технологіч-

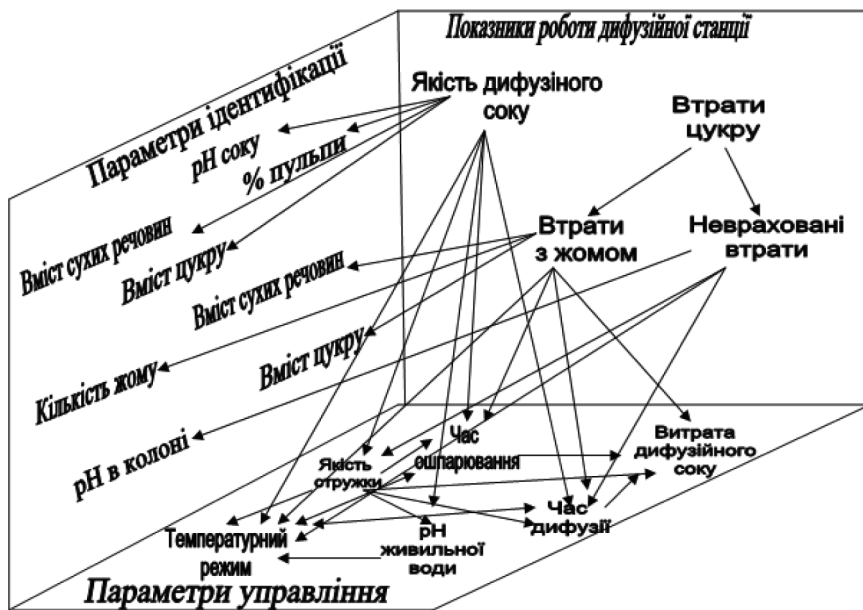


Рис 1. Зв'язність параметрів, які впливають на показники роботи дифузійної станції.

ного режиму і погіршення якісних показників процесу можуть бути викликані різними причинами. При цьому неоднозначними може бути прийняття рішень з їх усунення.

Наприклад, якість дифузійного соку можна змінити коефіцієнтом відкачки, який, у свою чергу, можна змінювати або за рахунок кількості дифузійного соку, який відкачується, або кількості бурякової стружки, яка поступає на переробку, тобто зміною продуктивності апарату.

На перший погляд зміну продуктивності можна зробити дуже просто за рахунок зміни частоти обертів транспортуючого органу колони. Але продуктивність колони залежить також від питомого навантаження колони та умов переміщення стружки в ньому.

Тому, важливо знати, як зміна вибраного параметру вплине на зміни всіх показників якості роботи дифузійної станції.

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.

### РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ПРОГНОЗОВАНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ

Отримати значення для побудови моделі прогнозування показників роботи дифузійної станції від технологічних параметрів можна в процесі проведення активного чи пасивного експерименту. Так як проведення активного експерименту на працюючій дифузійній станції практично неможливо, тому для розробки моделі були використані дані системи автоматичного контролю технологічних параметрів, які збережені в архіві автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-технолога, та дані лабораторій про показники роботи дифузійної

станції, які фіксувались у робочих журналах змінних технологів на цукровому заводі ДП «Агропромцукор».

Виходячи з властивостей дифузійної станції як об'єкта дослідження для якого характерна нестаціонарність і висока динамічність зроблений висновок, що модель прогнозування повинна мати можливість оперативного корегування. Прийнято рішення у якості моделі вибрати регресійні функції з періодичним перерахунком коефіцієнтів регресії.

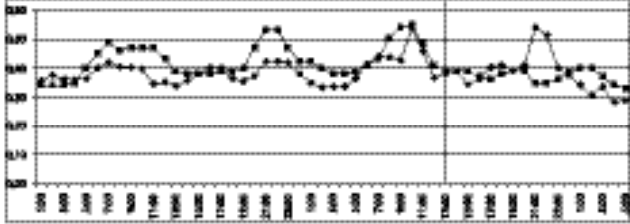
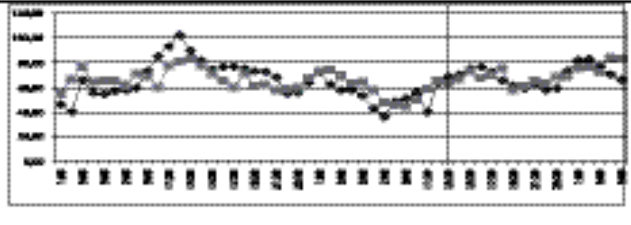
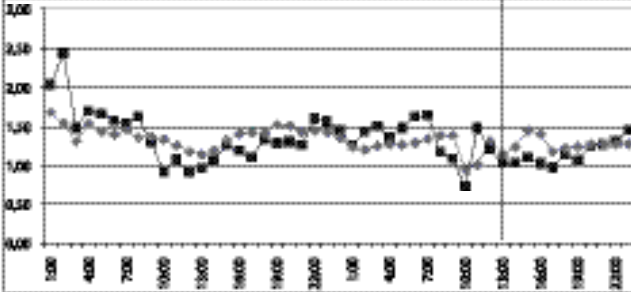
Для побудови моделі прогнозування з використанням регресійного аналізу необхідно підібрати функцію, а потім розрахувати коефіцієнти регресії. При виборі вигляду функції регресії перевага віддавалась тій, для якої коефіцієнт детермінації R2 мав найбільше значення. Визначення функції регресії і її перевірка для використання у вигляді прогнозуючої моделі проводилась у наступній послідовності:

- для окремих показників якості процесу дифузії вибирались дані за певний проміжок часу для яких визначалась функція регресії і методом найменших квадратів розраховувались коефіцієнти регресії;
- для вибраної функції розраховувались прогнозовані значення для наступного періоду і порівнювались з реальними даними.

В якості функції було взято відношення витрати стружки до навантаження на двигунах колони, тобто, чим більша витрата і менше навантаження, тим краще переміщення стружки. У табл. 1 наведені дані обробки результатів пасивного експерименту з прогнозування зміни технологічних параметрів дифузійної станції.

У наведеній таблиці використані позначення:  $x_1$  – температура в колоні,  $x_2$  – рівень в колоні,  $x_3$  – напруга на двигуні колони,  $x_4$  – температура в ошпарювачі,  $x_5$  – витрата дифузійного соку,  $x_6$  – витрата стружки,  $x_7$  – процент браку в стружці,  $x_8$  – довжина стружки,  $x_9$  –

Прогнозування технологічних параметрів дифузійної станції

втрати цукру в жомі				вмісту цукру в дифузійному соку			
							
$Y_{\text{втр.цукру}} = 2.6379 - 0.0506x_1 + 0.002x_2 - 0.0004x_3 + 0.0114x_4 + 0.0011x_5 - 0.0013x_6 - 0.4825x_7 + 0.0127x_1 x_7 - 0.0024x_4 x_7 - 0.001x_5 x_7 - 0.0069 x_7^2$				$Y_{\text{диф.сок}} = 19.2151 + 0.1051x_1 + 0.0168x_2 + 0.0003x_3 + 0.1045x_5 - 0.0964x_6 - 2.8059x_8 - 1.5701x_9 - 0.014x_6 x_8 + 0.0137x_6 x_8 + 0.2516x_9 x_9 + 0.5472 x_5 / x_6$			
Період вибірки	23.09 - 24.09	17.10 - 18.10	5.11 - 6.11	Період вибірки	23.09 - 24.09	17.10 - 18.10	5.11 - 6.11
R <sup>2</sup>	0.936	0.95	0.91	R <sup>2</sup>	0.723	0.91	0.87
Y <sub>втр.цукру</sub> , %	0.39	0.39	0.37	Y <sub>диф.сок</sub> , %	11.81	11.84	11.95
Y <sub>втр.цукру</sub> (прогнозовані), %	0.39	0.35	0.36	Y <sub>диф.сок</sub> (прогноз), %	11.67	11.59	11.93
Δ <sub>приведена відносна</sub> , %	0 %	10%	2.7%	Δ <sub>приведена відносна</sub> , %	1.19 %	2.11%	0.17%
невраховані втрати				споживання струму двигунами колони			
							
$Y_{\text{втр.цукру}} = 154.3954 - 1.3979x_1 + 39.6672x_2/x_3 - 10.537x_4 - 10.8462x_5 + 0.0069(x_2/x_3)x_5 - 0.8409(x_2/x_3)x_1 + 0.0525x_1 x_8 + 0.0953x_1 x_9 + 0.5207x_8 x_9$				$Y_{\text{втр.струму}} = -206.156 + 3.6822x_1 - 0.7281x_2 + 0.1304x_3 + 0.7065x_6 + 39.6225x_{10} + 0.5718x_1 x_{10} - 0.0079x_6 x_{10} + 5.4975x_6/x_3 - 0.0364x_{10}^2$			
Період вибірки	23.09 - 24.09	17.10 - 18.10	5.11 - 6.11	Період вибірки	23.09 - 24.09	17.10 - 18.10	5.11 - 6.11
R <sup>2</sup>	0.65	0.84	0.87	R <sup>2</sup>	0.5	0.84	0.92
Y <sub>втр.цукру</sub> (згладжені), %	0.78	0.91	1.00	Y <sub>втр.струму</sub> (згладжені), %	61.02	63.48	76.76
Y <sub>втр.цукру</sub> (прогнозовані), %	0.87	0.89	0.96	Y <sub>втр.струму</sub> (прогнозовані), %	61.09	68.69	72.22
Δ <sub>приведена відносна</sub> , %	11.5	2.2	4	Δ <sub>приведена відносна</sub> , %	0.1	8.2	5.9
переміщення стружки в апараті							
$Y_{\text{перем}} = -2.4486 + 0.0538x_1 + 0.0117x_2 + 0.0002x_3 - 0.0175x_6 - 0.0771x_{10} + 0.0009x_6 x_{10} + 1.2245x_6/x_3 + 0.0002x_{10}^2$							
Період вибірки							
R <sup>2</sup>	23.09 - 24.09	17.10 - 18.10	5.11 - 6.11				
Y <sub>перем</sub>	0.95	0.94	0.92				
Y <sub>перем</sub> (прогноз)	1.72	1.92	2.12				
Δ <sub>приведена відносна</sub> , %	1.70	1.97	2.05				

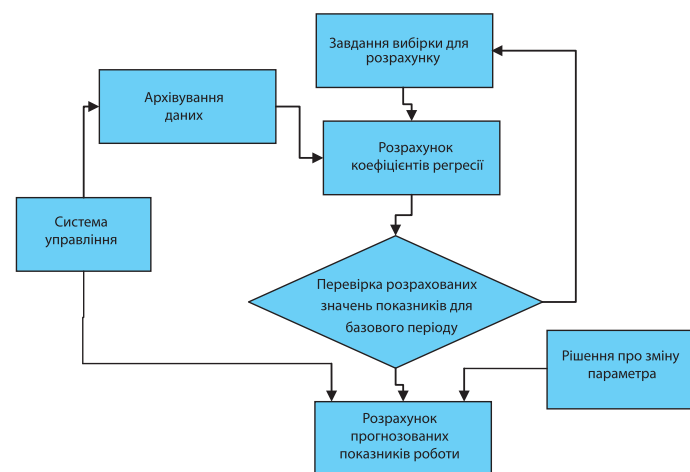
процент цукру в стружці (дигестія),  $x_{10}$  – процент пульпи в стружці.

Для кожного параметра наведені графіки зміни їх значень для одного з вибраних періодів. У лівій частині графіка (базовий період) наведені виробничі дані, на основі яких розраховувались коефіцієнти регресії, а в правій – експериментальні та розраховані дані, параметра для визначення його прогнозованого значення.

З отриманих результатів можна зробити висновки, що регресійна модель може бути використана для отримання короткочасного прогнозу (1 година) щодо зміни показників дифузійної станції у разі зміни технологічних параметрів.

### РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОТРИМАННЯ ПРОГНОЗУ

Загальна схема отримання прогнозу наведена на **рис 2**. Для отримання параметрів функцій прогнозу (коефіцієнтів регресії) з архіву береться вибірка значень технологічних



*Рис.2. Схема отримання прогнозованих значень показників роботи дифузійної станції*

параметрів та показників роботи дифузійної станції за останні 6-8 годин. Якщо розраховані моделі приймаються, то проводяться розра-

хунки прогнозованих значень показників роботи дифузійної станції у відповідності до рекомендованих змін технологічних параметрів протягом однієї години. За годину знову відбувається перерахунок регресійної моделі для нової вибірки даних.

Запропонований алгоритм і математичні моделі дозволяють визначити прогнозовані значення показників роботи дифузійної станції, які можливо отримати в залежності від поточних значень технологічних параметрів та показників сировини на вході, а також виробити рекомендації щодо корегування технологічного режиму дифузійної станції для покращення показників її роботи, що може бути використано в автоматизованій системі управління.

Перевірка, як вплинуть рекомендації по зміні технологічних параметрів на показники роботи дифузійної станції, що проводилась на основі регресійних моделей, привела до отримання значної множини можливих варіантів вибору рекомендацій (**табл. 2**).

Враховуючи те, що змінювати технологічний режим можна за рахунок 7 параметрів: витрата стружки, витрата дифузійного соку, рівень в колоні, температура в колоні, температура в опшарювачі, частота обертання валу колони, частота обертання валу опшарювача, які впливають на 5 показників роботи: вміст цукру в дифузійному соку, втрати цукру в жомі, невраховані втрати цукру, продуктивність відділення, переміщення стружки в апараті, система може видати значну кількість варіантів рекомендацій, що може ускладнити роботу оператора.

### РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ

Як видно із таблиці, для комбінації з 7 параметрів можна отримати 128 варіантів рекомендацій для зміни параметрів. Зрозуміло, що

*Таблиця 2*

**Прогнозовані показники роботи дифузійної станції у відповідності з рекомендованими значеннями параметрів**

№	Технологічні параметри та їх значення з врахуванням рекомендованої зміни							Показники роботи дифузійної станції				
	Витрата дифузійного соку	Витрата стружки	Напряга двигуна колони	Температура в колоні (середня)	Рівень в колоні	Напряга двигуна опшарювача	Температура в опшарювачі (середня)	Якість дифузійного соку	Втрати цукру в жомі	Невраховані втрати	Питоме навантаження	Переміщення стружки
1	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	300.80	74.15	11.71	0.382	0.077	63.804	1.12
2	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	300.80	72.83	11.71	0.370	0.077	63.804	1.12
3	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	292.37	74.15	11.71	0.382	0.077	63.804	1.12
4	112.94	70.83	165.56	64.93	85.03	292.37	72.83	11.71	0.370	0.077	63.804	1.12
5	112.94	70.83	165.56	64.93	90.00	300.80	74.15	11.79	0.392	0.082	60.185	1.18
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
126	102.82	86.31	183.10	67.68	90.00	300.80	72.83	12.50	0.252	0.048	69.451	4.78
127	102.82	86.31	183.10	67.68	90.00	292.37	74.15	12.50	0.264	0.048	69.451	4.78
128	102.82	86.31	183.10	67.68	90.00	292.37	72.83	12.50	0.252	0.048	69.451	4.78

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:

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

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

В якості критеріїв були використані показники роботи дифузійної станції. Дана нормалізація відображає вихідні значення показни-

ники 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.3** наведене графічне представлення нормалізованих показників роботи для вибору рекомендацій, які наведені у **таблиці 3**.

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 показників роботи, то інші критерії цим рішенням не максимізуються.

У зв'язку з цим для вирішення задачі, щодо знаходження такої рекомендації, при якій бу-

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

ків на відрізок від нуля до одиниці. Найкраще значення нормалізованого показника роботи дифузійної станції дорівнює одиниці, а найгірше – нулю.

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 показ-

дуть 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

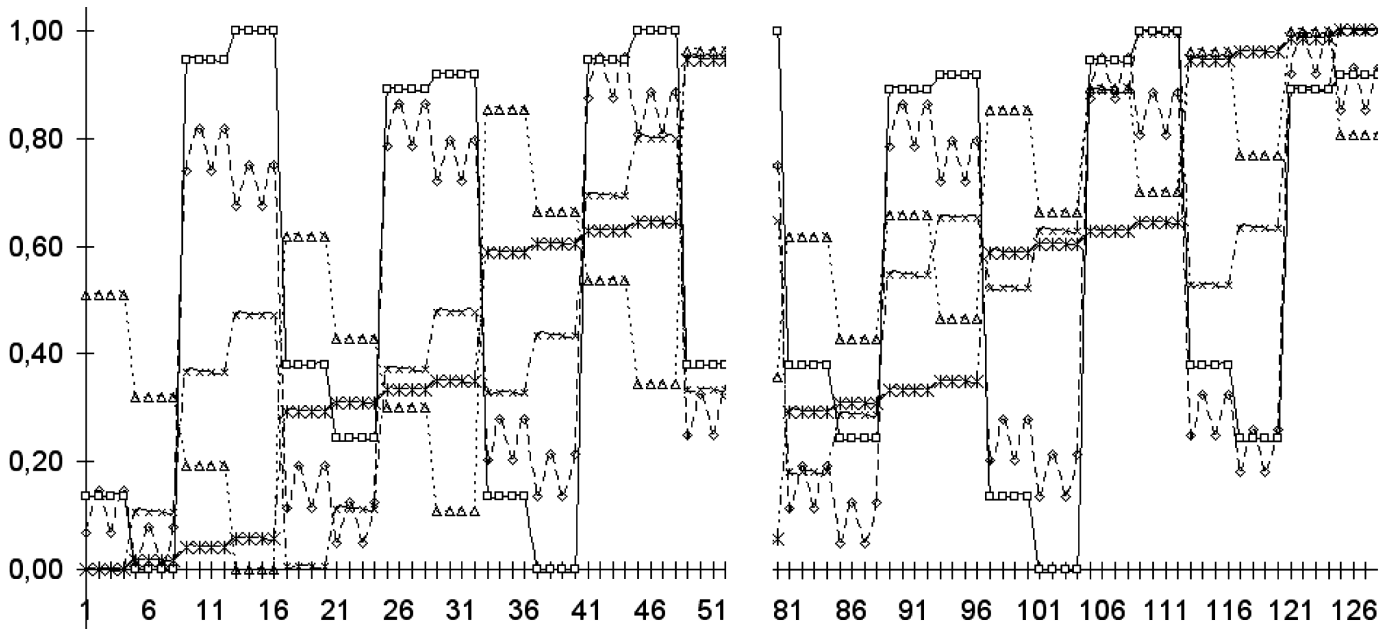


Рис. 3. Фрагменти графічного представлення нормалізованих показників і номер рішення (× - вміст цукру в дифузійному соку, ◇ - втрати цукру в жомі, □ - невраховані втрати, △ - завантаження апарату, \* - переміщення стружки)

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 (10) формується з розміром всіх рекомендацій, тобто 128x128:

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

Якщо при побудові матриці зустрічаються рекомендації в яких всі критерії домінуючі, (з 6 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.

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 автоматичної системи вибору рекомендованого рішення дозволяє видати рекомендації, щодо усунуень відхилень технологічного режиму для покращення показників роботи дифузійного відділення, та звести їх до мінімального можливого значення, виділяючи найбільш вагомі рекомендації, але й перевірити до яких наслідків приведе вибрана рекомендація якщо її прийняти.

### Список використаної літератури:

1. Розробка алгоритмів підсистеми підтримки прийняття рішень для контролю якості роботи дифузійного відділення / В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін, А.П. Ладанюк // Автоматика. Автоматизация. Електротехнические 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. Теорія вибору и прийнятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов; – М. : Наука, 1982. – 328 с.

Рецензент: Б.М. Гончаренко, д.т.н., проф.