

УДК 681.5

CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AS A COMPLEX SYSTEM

O. Pupena, V. Sidletsky

National university of Food Technologies

Key words:

Production rules

Knowledge base

Game theory

Method of dominant criteria

ABSTRACT

The article describes an example of improving the existing automation system of a diffusion of sugar factory by supplementing it with a subsystem of decision support that helps an operator to assess the situation and take an appropriate action.

Article history:

Received 15.07.2014

Received in revised form
30.07.2014

Accepted 15.08.2014

Corresponding author:

O. Pupena

E-mail:

npnuht@ukr.net

КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЯК СКЛАДНОЮ БАГАТОЗВ'ЯЗНОЮ СИСТЕМОЮ

О.М. Пупена, В.М. Сідлецький

Національний університет харчових технологій

У статті наведено приклад удосконалення існуючих систем автоматизації дифузійної станції цукрового заводу шляхом доповнення її підсистемою підтримки прийняття рішень, яка б допомагала оператору правильно оцінити ситуацію і прийняти відповідне рішення.

Ключові слова: *правила продукції, база знань, теорія гри, метод домінуючих критеріїв.*

Актуальність дослідження. Вилучення цукру з бурякової стружки — один з основних процесів цукрового виробництва, який значною мірою впливає на собівартість продукції, витрати енергетичних ресурсів і втрати цукру. Незважаючи на досить просту технологічну схему, процес висолоджування являє собою складну систему, в якій відбуваються різноманітні фізичні, хімічні та біологічні процеси.

На більшості цукрових заводів керування дифузійною станцією відбувається із застосуванням системи автоматизації, яка побудована на базі сучасної мікропроцесорної техніки. За допомогою системи автоматизації підтримують регла-

ментовані значення технологічних параметрів (температуру, рівень, тиск, рН, витрати тощо). Незважаючи на досить високий технічний рівень засобів автоматизації та алгоритмів управління, існуючі системи автоматизації не завжди можуть адекватно реагувати на порушення технологічного режиму. Це можна пояснити тим, що поза увагою системи автоматизації залишається цілий ряд неконтрольованих параметрів, до яких можна віднести: показники якості сировини та стружки, процеси переміщення стружки в опшарювачі і колоні, питоме завантаження апаратів тощо. Крім того, порушення технологічного режиму може відбуватись через вихід з ладу або погіршення робочих характеристик технічних засобів автоматизації, електроустаткування, механічного обладнання тощо, які не розпізнані системою управління або не помічені оператором.

Саме тому невід'ємною частиною в процесі управління дифузійною станцією є оператор, що втручається в роботу системи у разі порушень технологічного режиму, з якими не може впоратись автоматизована система управління. Ефективність прийнятих ним рішень залежить від його професіоналізму, вміння швидко виявити причину порушення і виробити адекватні дії оперативного реагування.

Враховуючи складність технологічного процесу сокодобування та сезонність роботи цукрового заводу, доцільно доповнити існуючі системи автоматизації підсистемою підтримки прийняття рішень, яка б допомагала оператору правильно оцінити ситуацію і прийняти відповідне рішення.

Осковні результати досліджень. Аналіз технологічної ділянки. Аналіз процесу екстрагування цукру з бурякової стружки складається з двох взаємопов'язаних стадій: молекулярної й конвективної дифузії, ефективність яких залежить від впливу ряду слабоформалізованих факторів. Це ускладнює створення й використання математичної моделі для опису цього процесу. В основі роботи дифузійних апаратів лежить принцип протипотокового вихолоджування, що може бути описаний рівнянням Фіка:

$$S = \frac{K_0 \cdot T_m}{\eta} \cdot F \cdot \frac{C - c}{\frac{r}{4}} \cdot Z.$$

Відповідно до рівняння Фіка, кількість екстрагованої речовини S пропорційна різниці концентрації соку всередині і поза стружкою $(C - c)$, часу дифузії Z , температурі екстрагування T_m , площі шару F і обернено товщині шару, тобто довжині шляху дифузії і в'язкості води під час екстрагування η . K_0 — постійна, що не залежить від температури, проте залежить від розміру частинок.

Ефективність роботи дифузійної станції характеризується якісними показниками: концентрацією цукру в дифузійному соку та втратами цукру. При цьому необхідно забезпечувати задану продуктивність роботи станції, що є визначальною для нормального функціонування заводу в цілому.

Технологічна схема дифузійної станції є складною системою, в якій відбуваються різноманітні масообмінні, теплообмінні та фізико-хімічні процеси, на які впливає багато взаємопов'язаних факторів. Значна кількість цих параметрів є слабоформалізованими та зв'язаними (рис. 1).

Серед факторів, що впливають на процес висолоджування, на особливу увагу заслуговують якісні показники стружки, а також зміна її стану в процесі переробки. Наприклад, порушення температурного режиму на стадії опшарювання може призвести до незворотних змін у стружці, що може кардинально змінити процес висолоджування. Це пояснюється тим, що змінення стану стружки суттєво впливає не тільки на процеси молекулярної та конвективної дифузії, а й на процеси переміщення стружки в апаратах, що, у свою чергу, супроводжується зміною часу перебування стружки в апараті, умов висолоджування і, як наслідок, зміною якісних показників процесу висолоджування. На жаль, не існує об'єктивних інструментальних методів оцінки якості стружки і змін її стану, тому визначити фактори, від яких залежать ці зміни, досить складно.

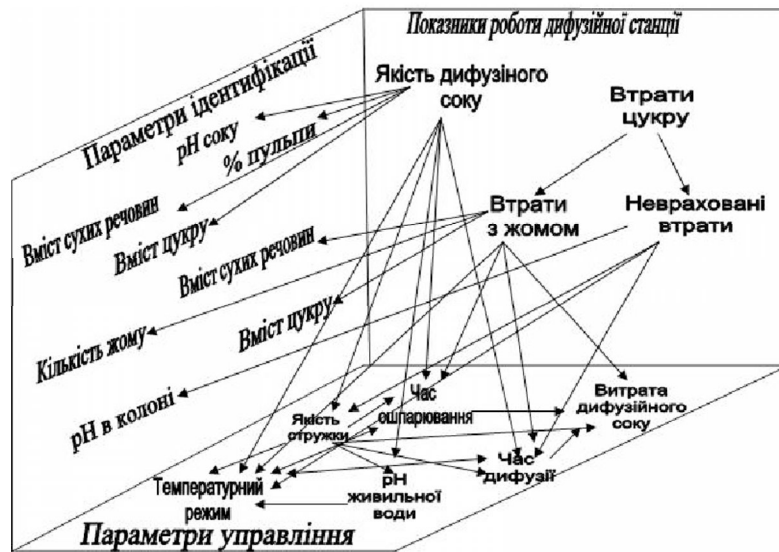


Рис. 1. Зв'язність параметрів

Проведений аналіз показує, що існуючі системи автоматизації не можуть адекватно реагувати на зміни технологічного режиму. Саме тому, незважаючи на високий технічний рівень, сучасні системи автоматизації дифузійною станцією будуються за принципом супервізорного управління. У таких системах важлива роль відводиться оператору-технологу, що повинен оперативно втрутитись у процес управління у разі відхилень технологічного процесу від нормального режиму, з якими не може впоратись система автоматизації. Від рівня його професійності залежить ефективність прийнятих рішень і якість роботи дифузійного відділення.

Аналізуючи особливості технологічного процесу дифузійної станції та беручи до уваги завдання, які повинен виконувати оператор у разі втручання в роботу системи управління, враховуючи рівень його відповідальності за прийняте рішення, а також сезонний характер роботи цукрового заводу, доцільно вдосконалити існуючі системи управління шляхом включення до її складу підсистеми підтримки прийняття рішень (ПППР), яка дозволить надати оперативному персоналу рекомендації щодо коригування технологічного процесу з метою:

- зменшення впливу стану стружки на процес,

- досягнення заданих показників якості роботи відділення.

Розробка модуля коригування стану сировини. При коригуванні стану сировини особливу увагу необхідно приділити вибору продуктивності дифузійної станції, оскільки цей параметр тісно пов'язаний з втратами цукру як у процесі зберігання, так і переробки. Втрати цукру під час зберігання залежать в основному від термінів зберігання сировини, а терміни зберігання — від швидкості її переробки. Зменшити втрати цукру в процесі зберігання можна також за рахунок упорядкування передачі буряка на переробку. У процесі зберігання буряка відбуваються не тільки прямі втрати цукру, а також змінюються його якісні показники, що впливають на технологічний режим переробки і можуть викликати необхідність коригування продуктивності.

У процесі надходження буряка на цукровий завод сировинна лабораторія розподіляє його за показниками якості і керує процесом закладки на зберігання у різні кагати. Подавати буряк на переробку можна з будь-якого кагату в будь-якій послідовності. Постає завдання пошуку алгоритмів керування процесом подачі буряка на переробку з метою мінімізації втрат цукру під час зберігання, яку можна визначити у вигляді вирішення транспортної задачі:

Доба переробки Партія сировини					D_j a_i
	D_1	D_2	...	D_n	
A_1	C_{11}	C_{21}	...	C_{1n}	a_1
A_2	C_{12}	C_{22}	...	C_{2n}	a_2
...	...	...	...	...	...
A_m	C_{1m}	C_{2m}	...	C_{nm}	a_m
A_i d_j	d_1	d_2	...	d_n	Сировини на зберіганні Сировини перероблено

де C_{ij} ($i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$) — середньодобові втрати цукру під час зберігання сировини у кагаті A_i за добу D_i .

Пошук покращеного плану переробки проводиться з використанням методів мінімального елемента та потенціалів, що є модифікацією симплекс-методу лінійного програмування стосовно рішення транспортних задач.

Використання методики транспортних задач дає змогу коригувати як втрати, так і показники якості перероблюваної сировини. Це дозволяє забезпечити ритмічність роботи дифузійної станції.

У процесі прийняття рішення щодо зміни продуктивності дифузійної станції виникають певні суперечності. Збільшення продуктивності зменшує втрати під час зберігання, але може призвести до збільшення втрат цукру з жомом. І навпаки, зміна показників стану сировини призводить до погіршення показників якості станції і може вимагати зміни продуктивності. Отже, вибір алгоритмів управління продуктивністю є важливим завданням.

Керувати продуктивністю дифузійної станції можна двома шляхами:

- зміною напруги на двигунах турбовалу апарата, що супроводжується зміною швидкості проходження стружки через апарат;
- зміною довжини стружки, що приводить до необхідності зміни часу перебування стружки в апараті.

Приймаючи, що кожному значенню напруги на двигунах апарата v і довжині стружки d буде відповідати продуктивність A і втрати цукру B , необхідно знайти ситуацію, в якій продуктивність буде максимальною, а втрати — мінімальними:

$$\begin{cases} A = f_1(v, d) \\ B = f_2(v, d) \end{cases} A \rightarrow \max, B \rightarrow \min.$$

Вирішення задачі розрахунку заданої продуктивності дифузійної станції та втрат цукру у процесі зберігання проводилося з використання теорії гри, при цьому умову розглядали як неантагоністичну біматричну гру G , в якій дві сторони:

$$G = (X_{11}, X_{12}, H_{11}, H_{12}).$$

Перша сторона зацікавлена у збільшенні продуктивності під час переробки, для якої множиною стратегій є зміна напруги на двигунах колони $X_1 = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, друга — у зменшенні втрат під час переробки, для якого множиною стратегій є зміна довжини стружки $X_2 = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$. Функція виграшу для сторін буде $H_1 = P(v, d)$ і $H_2 = C_2(v, d)$ відповідно для продуктивності та втрат цукру під час переробки. Тоді таблиці значень втрат цукру в процесі переробки й продуктивність переробки залежно від напруги та довжини стружки набудуть вигляду матриць гри G :

$$H_1 = \begin{array}{c|cccc} & d_1 & \dots & d_i & \dots & d_n \\ \hline v_1 & a_{11} & \dots & a_{i1} & \dots & a_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_j & a_{1j} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_m & a_{1m} & \dots & a_{im} & \dots & a_{nm} \end{array} \quad H_2 = \begin{array}{c|cccc} & d_1 & \dots & d_i & \dots & d_n \\ \hline v_1 & \beta_{11} & \dots & \beta_{i1} & \dots & \beta_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_j & \beta_{1j} & \dots & \beta_{ij} & \dots & \beta_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_m & \beta_{1m} & \dots & \beta_{im} & \dots & \beta_{nm} \end{array}.$$

Для гри G ситуацією рівноваги будуть такі значення v та d , для яких виконається умова:

$$G = (v, d) \rightarrow \left\{ (v^*, d^*) \left| \begin{array}{l} H_1(v, d^*) = \max_{X_{11}} H_1(v, d) \\ H_2(v^*, d) = \min_{X_{12}} H_2(v^*, d) \end{array} \right. \right\}.$$

Розробка модуля досягнення заданих показників якості роботи відділення.

Для визначення вимог до показників якості процесу було виділено параметри (цілі), що найбільше впливають на показники роботи дифузійної станції: втрати цукру з жомом D_{11} , невраховані втрати D_{12} та якість дифузійного соку D_2 . Для кожної мети експерти виділили множину параметрів, що впливають на досягнення бажаних значень.

Так, для втрат цукру з жомом обрані параметри, за допомогою яких ці втрати можна коригувати: відбір дифузійного соку F_{dc} , якість стружки W , час дифузії H_2 і ошпарювання H_1 , а також температурний режим T :

$$D_{11} = f_{D_{11}}(F_{dc}, W, H_1, H_2, T).$$

Невраховані втрати цукру можна коригувати зміною параметрів: значення рН у колоні P , часу дифузії H_2 і температурного режиму T :

$$D_{12} = f_{D_{12}}(P, H_2, T).$$

У свою чергу, якісні показники дифузійного соку можна коригувати: відбором дифузійного соку F , температурним режимом T та часом дифузії H_2 :

$$D_2 = f_{D_2}(F, H_2, T).$$

Враховуючи важливість підтримання заданої продуктивності станції, визначені вимоги до забезпечення режимів заповнення апаратів стружкою D_3 та її переміщення D_4 .

Так, для коригування завантаження стружкою апаратів необхідно змінювати: частоту обертання шнеків V , витрату стружки F_{st} , та рівень в апараті L :

$$D_3 = f_{D_3}(V, L, F_{st}).$$

У свою чергу переміщення стружки D_4 буде залежати від температурного режиму T , значення рН в апараті P , якості стружки W та питомого завантаження апарата D_3 :

$$D_4 = f_{D_4}(T, P, W, D_3).$$

Для вказаних залежностей характерне використання невимірюваних параметрів: переміщення стружки, стан жому; тому для розрахунків був використаний алгоритм нечіткого виведення Мамдані, що дозволило отримати, з розрахованим ступенем істинності, рекомендації щодо управління дифузійною станцією у вигляді характеру зміни і їх числових значень технологічних параметрів.

Наповнення бази знань проводили шляхом формування правил продукції. При цьому передбачалось, що кожна залежність утворює множину правил нечітких продукцій: $P = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, в яку входить множина вхідних лінгвістичних змінних: $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$, що складається з множини термів лінгвістичної змінної: $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$. З урахуванням вказаних визначень для кожної залежності створено набір таких правил продукцій:

R_1 : якщо β_1 рівне A_1 і ... і β_m рівне B_m , тоді ω_1 рівне C_1 ,

R_n : якщо β_m рівне A_m і ... і β_m рівне B_m , тоді ω_s рівне C_s ,

де: $A_1, A_n, B_1, B_m, C_1, C_s$ — терми лінгвістичних змінних.

Наприклад, для визначення доцільності та характеру зміни витрати дифузійного соку, було отримано залежність, що являє собою правила прийняття рішення:

$$\bigcup_{n=1}^h \left[(F_{dc} = f_{dc}^i) \cap (E_{11} = e_{11}^r) \cap (W = w_M) \right] \rightarrow J_{dc}^s, \\ n = \overline{1, h}; i, M, r = \overline{1, 3}; s = \overline{1, 2}$$

де F_{dc} — витрата дифузійного соку, що може приймати такі значення: f_{dc}^1 — в нормі, f_{dc}^2 — вище норми, f_{dc}^3 — нижче норми; E_{11} — втрати цукру в жомі, що може приймати такі значення: e_{11}^1 — в нормі, e_{11}^2 — вище норми, e_{11}^3 — нижче норми; W — якість стружки, що прирівнюється до таких термів: w_1 — низька якість, w_2 — задовільна якість, w_3 — якість у нормі.

Наведений алгоритм дозволяє на основі продукційних правил та інформації від системи автоматичного контролю, даних візуального обстеження та інформації з лабораторії (табл. 1) отримати рекомендації у вигляді характеру (збільшити, зменшити) та числового значення зміни технологічного параметра (табл. 2).

Таблиця 1. Значення технологічних параметрів процесу висолоджування

№	Назва параметра	Од. вим.	Значення
1	Вміст цукру в дифузійному 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)	°C	64,93
9	Напруга двигуна колони	В	165,56
10	Температура в ошпарювачі (середня)	°C	74,15
11	Напруга двигуна ошпарювача	В	300,8
12	Витрата дифузійного соку	м ³ /год	112,94
13	Витрата стружки	т/год	70,83
14	Рівень у колоні	%	85,03
15	Рівень у ошпарювачі	м	1,5
16	Струм двигуна колони	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 апарата (оглядове скло)	лінгв. зміна	Стружка рухається суцільною масою
20	Стан жому	лінгв. зміна	Недостатньо пружний
21	Колір жому	лінгв. зміна	Світло - жовтий

Таблиця 2. Рекомендовані значення технологічних параметрів

№	Назва параметра	Од. вим.	Значення
1	Витрата дифузійного соку	м ³ /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 у колоні	%	4.97
6	Напруга двигуна ошпарювача	В	-8,43
7	Температура в ошпарювачі (середня)	°С	-1,32

Отже, у разі порушення технологічного режиму ПППР одночасно виробляє рекомендації щодо зміни технологічних параметрів і розраховує прогнозовані значення показників дифузійної станції, якщо ці рекомендації буде виконано. Аналіз отриманих результатів свідчить, що практично неможливо досягти одночасного покращення всіх показників. Якщо покращуються одні показники, то інші погіршуються. Крім того, у зв'язку з великою кількістю одночасно оброблюваних підсистемою параметрів, кількість комбінацій рекомендованих рішень є значною і не може бути у такому вигляді надана оператору. Попередньо необхідно провести звуження кількості рекомендацій.

У зв'язку з цим для знаходження такої рекомендації, при якій будуть найкращими показники, була використана методика домінуючих критеріїв, згідно з якою знаходиться рішення, у якому найбільша кількість домінуючих показників.

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:

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

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

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

Розробка системи. З наведеної схеми (рис. 2) видно, що обробка даних, які надходять до ПППР з різних джерел, відбувається в декілька паралельних потоків, які відповідають за: видачу рекомендацій оператору для прийняття управлінських рішень: аналіз стану технологічних параметрів і виявлення порушень технологічного режиму (блоки: база знань, фазифікації, дефазифікації, нечіткого логічного виведення); розрахунок коефіцієнтів функцій регресії та перевірка моделей прогнозування (блоки: архівування даних,

вибірка даних, розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірка функцій регресії); прогнозування показників роботи дифузійної станції з урахуванням рекомендованої зміни параметрів (блок перевірка рекомендацій).

Окремо виділені блоки, що відповідають за керування продуктивністю дифузійної станції з урахуванням втрат при зберіганні й під час переробки сировини (блоки: формування матриці продуктивності, формування матриці втрат цукру, Знаходження множини значень для переробки $\{P_{\text{прод}}, V_{\text{ц}}, U_{\text{двиг}}\}$, розрахунок втрат цукру при зберіганні, розрахунок плану переробки, знаходження множини значень для зберігання $\{P_{\text{прод}}, V_{\text{ц}}\}$, знаходження продуктивності, при якій втрати мінімальні, знаходження напруги, яка забезпечить задану продуктивність і втрати.

У процесі роботи системи автоматизації ПППР працює в консольному режимі. При цьому виконуються операції автоматичного зчитування даних: з архіву, із системи автоматизації та бази даних лабораторії цукрового заводу.

На основі отриманої інформації проводиться аналіз відхилень у роботі системи та ідентифікуються такі ситуації:

- погіршення показників роботи дифузійної станції;
- відхилення технологічних параметрів за припустимі межі;
- порушення в роботі обладнання.

До системи управління дифузійним відділенням з ПППР, входять :

- традиційна система автоматизації, що складається з: датчиків, виконавчих механізмів, перетворювачів, мікропроцесорного пристрою управління й автоматизованого робочого місця оператора. Як управляючий пристрій частіше за все використовуються мікропроцесорні програмовані логічні контролери (ПЛК), у яких реалізовані традиційні контури автоматичного регулювання. В АРМі оператора-технолога встановлені два програмних продукти: SCADA-програма і вбудована в неї програмне забезпечення підсистеми підтримки прийняття рішень. При цьому розробляється два рівня людино-машинного інтерфейсу. Один з них обслуговує традиційну систему автоматизації, за допомогою якої оператор може спостерігати за технологічним процесом і в разі необхідності втрутитись в управління ним. Другий рівень — це інтерфейс для роботи оператора з підсистемою підтримки прийняття рішень. Користуючись цим інтерфейсом, оператор взаємодіє з ПППР і вводить дані про результати візуального обстеження обладнання;

- автоматизовані робочі місця сировинної лабораторії, які додатково обладнані людино-машинним інтерфейсом для введення даних про якісні показники, стан та умови зберігання прийнятої сировини. В АРМі також встановлений програмний пакет розрахунку зміни показників сировини при її збереженні залежності від терміну та умов зберігання, які є складовою програмного забезпечення ПППР;

- автоматизовані робочі місця лабораторії цукрового заводу, які додатково обладнані людино-машинним інтерфейсом для введення даних про якісні показники роботи дифузійної станції;

- автоматизоване робоче місце головного інженера, до якого надходить уся узагальнююча інформація, на основі якої він може приймати ефективні управлінські рішення.

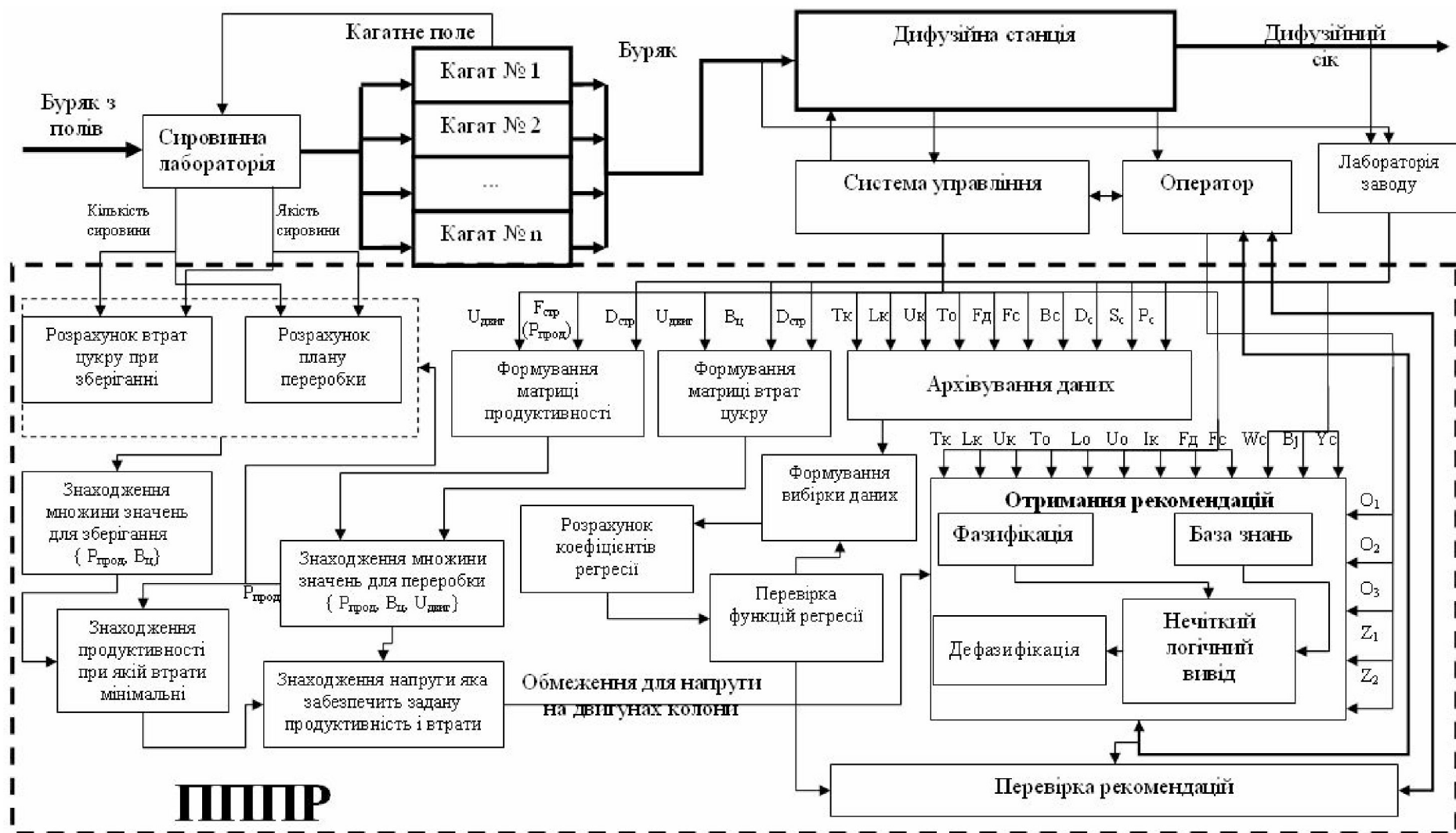


Рис. 2. Функціональна структура системи управління із підсистемою підтримки прийняття рішень

Висновки

У дослідженні запропонований підхід до удосконалення систем автоматизованого управління дифузійною станцією шляхом включення до її складу підсистеми підтримки прийняття рішень, яка на основі розроблених моделей і алгоритмів, формує рекомендації оператору для прийняття ефективних управлінських рішень з метою підтримання якісних показників роботи станції.

Література

1. Сідлецький В.М. 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. Сідлецький В.М. Механізм логічного виведення рекомендацій щодо зміни технологічних параметрів для колонної дифузійної станції / В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін // Харчова промисловість. — 2010. — № 9. — С. 136—141.

УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КАК СЛОЖНОЙ МНОГОСВЯЗНОЙ СИСТЕМОЙ

А.Н. Пупена, В.М. Сидлецкий

Национальный университет пищевых технологий

В статье приводится пример совершенствования существующей системы автоматизации диффузионной станции сахарного завода путем дополнения ее подсистемой поддержки принятия решений, которая помогает оператору правильно оценить ситуацию и принять соответствующее решение.

Ключевые слова: *правила продукции, база знаний, теория игры, метод доминирующих критериев.*