

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЧИСНОГО ВІДДІЛЕННЯ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

Н. А. Засць, доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Н. М. Луцька, доктор технічних наук, професор

Національний університет харчових технологій

Л.О. Власенко, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: z-n@ukr.net, vlasenko.lidia1@gmail.com, lutskanm2017@gmail.com

Анотація. Запропоновано модель дефекосатураційного відділення цукрового заводу з переробки цукрових буряків на базі нейронної мережі, що прогнозує основні показники ресурсоефективності очищення дифузійного соку. Прогнозна модель дозволяє коригувати режим відділення шляхом аналізу невимірюваного якісного показника – ефект очищення. Розроблена модель також прогнозує забарвленість напівпродукту, а також втрати цукру в фільтрованому осаді I та II сатурації з похибкою менше 2 %. На відміну від існуючих рішень, прогнозування виконується в реальному часі за комплексом показників з системи автоматизації та промислової лабораторії. Прогностична модель нейронної мережі є універсальною MLP для апроксимації нелінійних складних функцій з багатьма змінними. Модель має 32 входи, 4 виходи і один прихований шар з 23 нейронами. Основні технологічні параметри з системи автоматизації – температури, витрати, тиск, рН в апаратах, а також з промислової лабораторії – лужність, вміст SO₂ в сатураційному газі будуть подаватися на вхід мережі. Це дає змогу підвищити інформативну підтримку оператора-технолога щодо якісних показників підприємства без додаткового навантаження на промислову лабораторію та без додаткових вартісних автоматичних приладів якості.

Ключові слова: *відділ дефекосатурації, нейронна мережа, прогноз, цукровий буряк, оцінка якості*

Актуальність. Виробництво цукру з цукрових буряків є однією з провідних галузей харчової промисловості України. Цукрове виробництво належить до складного неперервного типу виробництва, тому для нього надзвичайно важливим є забезпечення високої оперативності процесів керування, швидке реагування на

зміни якісних показників сировини, швидке внесення поточних змін в регламент роботи відповідних технологічних ділянок.

Іншим викликом для цукрового виробництва України стала військова агресія з боку Російської Федерації. Нової актуальності набуло питання забезпечення енерго- та ресурсоефективності підприємств. Виробництво цукру з цукрових буряків потребує великих енергозатрат. Зокрема, багато енергоресурсів іде на уварювання сиропу на випарній станції та процес кристалізації. Для оптимізації використання енергоресурсів необхідно забезпечити відповідну якість очищеного соку, який надходить на випарну станцію.

Процес дефекосатурації – це процес максимального очищення дифузійного соку від нецукрів, що забезпечує максимальний вихід цукру стандартної якості [1]. Для оцінки якості очищення дифузійного соку використовується певний набір показників: ефект очищення, чистота очищеного соку, рН і лужність соку, вміст нецукрів. Частина з них є технологічними показниками, що вимірюються автоматично, частина – це технологічні показники, що вимірюються лабораторними методами, а є й такі, що розраховуються на основі прийнятої на заводі методики. Ці показники є надзвичайно важливими, оскільки від їх значень напряду залежить оцінка ефективності функціонування сокоочистного відділення, а також оперативне внесення змін в технологічний процес або регламент з метою покращення зазначених показників.

Оскільки питання енерго- та ресурсоощадності нині є надзвичайно актуальним, то вироблення коригуючих впливів на ранніх етапах забезпечить високу ефективність роботи цукрового заводу в цілому. Для оптимізації роботи цукрового заводу необхідно проводити прогнозування якісних показників кожного відділення, оскільки це дозволить передбачити розвиток подій, а отже усунути можливі невідповідності на ранніх стадіях, і зменшити можливі виробничі втрати. Враховуючи неперервність роботи цукрового заводу, залежність роботи сокоочистного відділення від якості цукрових буряків, що надходять на перевірку, вимірювання технологічних змінних та якісних показників з різною періодичністю, складність технологічного об'єкта, його нестаціонарність, нелінійність, наявність

різного роду невизначеностей, необхідно використовувати сучасні підходи, які забезпечать високу швидкість та якість коригуючих впливів. Так, в [2] було побудовано модель дифузійного відділення, на основі якої виконується прогнозування втрат та якості функціонування процесу. Однак дефекосатураційне відділення є багатостадійним, показники ресурсоефективності якого визначаються не лише на цьому відділенні, а й на інших, зокрема на випарній станції та у відділенні згущування. Крім того, це відділення характеризується найбільшою кількістю регульованих та контрольованих змінних. Відповідно забезпечення випарного відділення високоякісним очищеним соком забезпечить зниження часу, а отже і витрат гострої і вторинної пари (енергоресурсів) на уварювання сиропу. Тому модель дефекосатураційного відділення на основі нейронної мережі повинна відображати значення основних показників процесу в реальному часі. Входами для даної мережі будуть значення технологічних змінних, виміряних автоматично, виходами – визначенні якісні показники оцінки ефективності роботи сокоочистного відділення.

Об'єктом дослідження є процеси прогнозування основних показників сокоочистного відділення цукрового заводу, що є визначальними для ресурсоефективності наступного випарного відділення зокрема і виробництва в цілому.

Предметом дослідження є нейромережева модель сокоочистного відділення для прогнозування головних показників з метою коригування технологічного режиму ділянки виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основною метою роботи сокоочистного відділення є очищення дифузійного соку від усіх видів нецукрів за допомогою вапна CaO і діоксиду вуглецю SO_2 , що сприяє якісному процесу випарювання і утворювання кристалів цукру на наступних виробничих етапах. Від якості очищеного соку залежить вихід цукру, його якість та втрати цукру в мелясі, витрата вапна, витрата пари на проведення процесу випарювання та кристалізації цукру.

Згідно з [1] з 1 вересня 2022 року вимоги до виробництва цукру в Україні буде остаточно приведено у відповідність до європейських. В Україні виробництво цукру відбувається з цукрових буряків, а не з цукрової тростини. У цукрових буряках, що надходять на виробництво, до третину вмісту – нецукри, що є домішками, які видаляються із дифузійного соку при обробці вапном. До 10 % цих домішків – розчинні речовини. Основними елементами, що негативно впливають на вилучення цукру із цукрових буряків і заважають утворенню кристалів цукру є калій, натрій, фосфор, азотні небілкові з'єднання, особливо сполуки вільних амінокислот (альфа-амінний азот), зола та ін. У табл. 1 наведені загальні показники якості цукру для країн Європейського Союзу.

1. Загальні показники якості цукру для країн Європейського Союзу

Показники якості цукру	Значення показника
Вміст цукрози, %	min 99,7
Вологість, %	max 0,06
Вміст інертного цукру, %	max 0,04
Вміст золи кондуктометричної, %	max 0,01086
Забарвленість, од. ICUMSA	не більше 22,5

Ще донедавна основна задача роботи дефекосатураційного відділення при переробці буряків зводилась до оптимізації процесу її сатурації за мінімальним вмістом солей кальцію, для цього необхідно було забезпечити оптимальні значення рН та лужності Al на всіх етапах дефекосатурації. Крім того, для оцінки степені очищення соку під час дефекосатурації оцінюють велику кількість різних специфічних якісних технологічних показників, зокрема, забарвленість, чистота, загальний вміст нецукрів, вміст золи та ін. на дефекації, сульфитації, карбонізації та їх залежність від часу, рН, лужності. У роботах [3, 4] наведені залежності та пояснення головних якісних показників очищеності в дифузійному соці. Зокрема, на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** наведені основні залежності для дифузійного соку для різних процесів дефекосатураційного відділення.

Забезпечення оптимальних показників значення рН для виробництва цукру можуть бути реалізовані різними методами: моделювання нечіткої нейронної мережі та контроль значення рН у процесі освітлення соку цукрової тростини [5], використання методу ADHDP (Евристичне динамічне програмування, що залежить від дії) для оптимізації та контролю нейтралізованого значення рН у процесі освітлення соку цукрової тростини [6]; використання нейронної моделі контролю рН для процесу освітлення [7]; впровадження контролю рН на основі контролерів ANFIS та класичних ПІ-регуляторів та програмних обчислень [8].

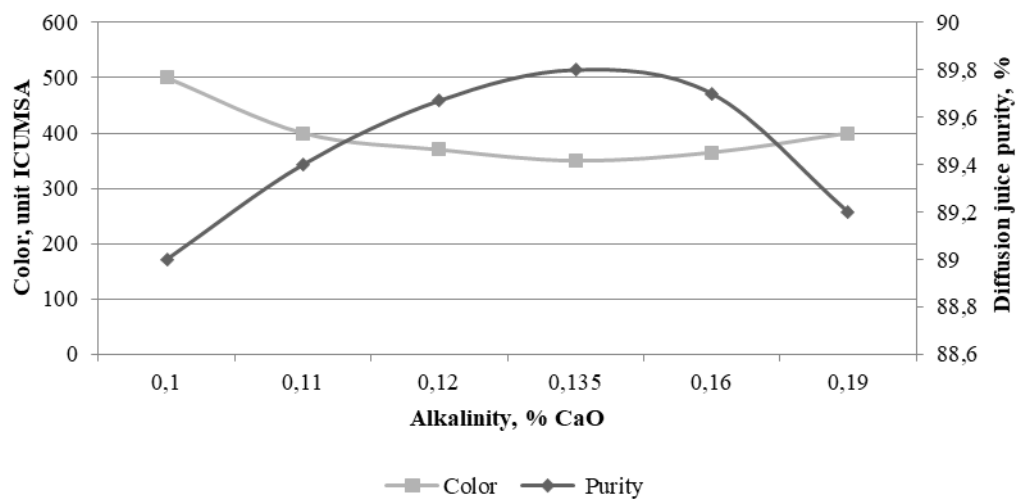


Рис. 1. Залежність забарвленості та чистоти попередньо дефекованого соку від лужності

Для визначення ефективності очищення дифузійного соку при переробці цукрових буряків під час проходження процесу дефекосатурації доцільно використовувати ефект очищення $S.e.$ $S.e.$, що є розрахунковим показником і розраховується на основі різних методик. У роботі використано критерій загального видалення нецукрів – ефект очищення за К. Вуковим [11]. Він розраховується за формулою (1), а в **Ошибка! Источник ссылки не найден.**2 наведена розшифровка можливих значень.

$$S.e. = [(n-n_D)/n] \cdot 100 = [100 \cdot 100 (Cl_{pj} - Cl_D) / Cl_{pj} (100 - Cl_D)] \quad (1)$$

де n – загальний вміст нецукрів у дифузійному соці; n_D – загальний вміст нецукрів в очищеному соці; Cl_D – чистота дифузійного соку; Cl_{pj} – чистота очищеного соку.

2. Градація (за К. Вуковим) ефекту очищення *S.e.*, %.

Значення ефекта очищення <i>S.e.</i> , %	Значення показника
20-25	Поганий
25-30	Середній
30-35	Хороший
35-40	Дуже хороший

Популярними варіантами підвищення ефективності роботи дефекосатураційного відділення найчастіше зводиться до введення прогностичних заходів для: технологічних показників процесу сатурації на основі моделі прогнозування виробничих показників за допомогою узагальненої динамічної моделі нечіткої нейронної мережі [12], використання предикативного алгоритму для додаткового контролю забарвленості соку II сатурації на основі ВР нейронних мереж [13], прогнозування властивостей очищеного дифузійного соку [14]. Як варіант в [15] запропоновано керування на основі індексу виробництва для освітлення цукру, для чого була побудована узагальнена динамічна нечітка нейромережева прогностична модель (GDFNN). Відмітимо, що переважна більшість робіт присвячена переробці цукрової тростини, а інтелектуальні підходи до процесу автоматизації бурякопереробного виробництва розглядалися в [9, 10].

Метою дослідження є побудова нейромережевої моделі сокоочистного відділення, що дає змогу в режимі реального часу прогнозувати його ресурсоефективність та підвищує інформативність основних показників, тим самим збільшуючи якість очищеного соку і зменшуючи енергетичні витрати на уварювання сиропу на випарній станції.

Матеріали і методи дослідження. У цілому управління процесами виготовлення цукру – це багатокроковий процес прийняття рішень. Кожний крок у процедурі вибору рішення пов'язаний з певною цільовою функцією управління технологічним процесом і є набором керувальних дій. Загальна цільова функція є адитивною, що складається з суми цільових функцій управління кожним окремим процесом усього виробництва. При роботі дефекосатураційного відділення необхідно забезпечити оптимальні значення таких показників: лужності, рН,

витрати вапна і витрати енергоресурсів. Питання оптимальної роботи відділення є надзвичайно важливим і вимагає використання різних інтелектуальних підходів, які забезпечать скорочення часу на прийняття оперативного управлінського рішення і зменшення втрат на всіх етапах.

При постановці задачі оптимізації якість дефекосатураційного відділення визначається показниками забарвленості та ефекту очищення, втрати – це вміст цукру в осаді I та II сатурації. Продуктивність відділення визначається продуктивність усього заводу та потребує окремої моделі координації усіх відділень.

Дефекосатураційне відділення цукрового виробництва – це ділянка заводу, на якому вирішується питання якості кінцевого продукту, тобто чистоти соку. Тому головними якісними показниками тут є:

Лужність дефекованого соку, %СаО до маси соку:

$$\text{Щ}_{\text{ДФ}} = \frac{\text{Щ}_{\text{ЛД}}(1 + K_B)\alpha + 103\alpha_{\text{ИЗ}}}{(1 - K_B)\alpha + \frac{\alpha_{\text{ИЗ}}\rho_{\text{ИМ}}}{1,27(\rho_{\text{ИМ}} - 1)}} \quad (2)$$

Вміст нецукрів в очищеному соку, % до маси буряків:

$$\text{НЕС}_{\text{ПС}} = \text{НЕС}_{\text{ДС}}(1 - \varepsilon_{\text{СЧ}} \cdot 10^{-2}) \quad (3)$$

Вміст нецукрів у фільтраційному осаді, % до маси буряків:

$$\text{НЕС}_{\text{ФО}} = \text{НЕС}_{\text{ДС}} - \text{НЕС}_{\text{ПС}} + 2,2 \quad (4)$$

Чистота очищеного соку, %:

$$\text{Ч}_{\text{ПС}}^{\text{Р}} = \frac{\alpha_{\text{ПС}}\text{СВ}_0 \cdot 10^{-2} - \text{НЕС}_{\text{ПС}}}{\alpha_{\text{ПС}}\text{СВ}_0 \cdot 10^{-2}} 10^2 \quad (5)$$

Лужність дефекованого соку, %СаО до маси соку:

$$\text{Щ}_{\text{ДФ}} = \frac{\text{Щ}_{\text{ЛД}}(1 + K_B)\alpha + 103\alpha_{\text{ИЗ}}}{(1 - K_B)\alpha + \frac{\alpha_{\text{ИЗ}}\rho_{\text{ИМ}}}{1,27(\rho_{\text{ИМ}} - 1)}} \quad (6)$$

Відносна витрата CO_2 для нейтралізації $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в соці I сатурації, % до маси буряків:

$$\alpha_{CO_2I} = 7,55 \cdot 10^{-3} \alpha(Ш_{ДФ} - Ш_{IC}), \quad (7)$$

Вміст цукру в фільтраційному осаді, % до маси буряків

$$CAX_{\phi O} = \alpha_{\phi O} CX_{\phi O} \cdot 10^{-2}, \quad (8)$$

3. Основні змінні процесу

Змінна	Позначення	Змінна	Позначення
<i>Змінні від системи автоматичного керування</i>			
рН I сатурації, од.рН	Var1	Витрата молока на основну дефекацію, м ³ /год	Var14
рН II сатурації, од.рН	Var2	Витрата молока II сатурації, м ³ /год	Var15
Температура соку в преддефекторі, °С	Var3	Витрата суспензії I сатурації після відстійника, м ³ /год	Var16
Температура соку після підігрівача, °С	Var4	Витрата дифузійного соку, м ³ /год	Var17
Температура соку в гарячому дефекторі, °С	Var5	Витрата суспензії I сатурації, м ³ /год	Var18
Температура соку I сатурації, °С	Var6	Витрата суспензії II сатурації, м ³ /год	Var19
Температура соку II сатурації, °С	Var7	Рівень у I сатураторі, %	Var20
Температура нагрівання промою, °С	Var8	Рівень у II сатураторі, %	Var21
Витрата молока в 6-ту зону, м ³ /год	Var9	Рівень у збірнику фільтрованого соку I сатурації, %	Var22
Витрата молока соку в холодний дефектор, м ³ /год	Var10	Рівень у холодному дефекторії, %	Var23
Витрата нефільтрованого соку I сатурації, м ³ /год	Var11	Тиск сатураційного газу у колекторі, кПа	Var24
Витрата соку на II сатурацію, м ³ /год	Var12	Тиск у колекторі молока, кПа	Var25
Витрата соку повернення на преддефектор, м ³ /год	Var13		
<i>Змінні з промислової лабораторії</i>			
Вміст SO в сатураційному газі, %	Var26	Лужність %CaO сиропу з випарної станції	Var32
Лужність %CaO соку преддефектованого по м-о	Var27	Вміст цукру % в фільтрованому осаді I сатурації	Var33
Лужність %CaO соку нефільтрованого основної сатурації по м-о	Var28	Вміст цукру % в фільтрованому осаді II сатурації	Var34
Лужність %CaO соку нефільтрованого основної сатурації по ф-а	Var29	Забарвленість	Var35

Лужність %СаО соку I сатурації	Var30	Ефект очищення	Var36
Лужність %СаО соку II сатурації	Var31		

Головна проблема полягає в тому, що більшість якісних показників, які характеризують ефективність роботи дефекосатураційного відділення вимірюються промисловою лабораторією, частина розраховується, а ще частина потребує лабораторного контролю. Останнє пов'язане з тим, що часто давачі для вимірювання якісних показників вартісні та доволі капризні в роботі і потребують додаткових метрологічних заходів і тому не завжди забезпечують потрібну точність вимірювань.

При побудові моделі враховано лише основні змінні відділення, що впливають на вказані кінцеві показники – табл. 3. Значення коефіцієнтів кореляції між вхідними та прогнозованими змінними (табл. 4) свідчать про щільний зв'язок між обраними входами та виходами, що підтверджує застосування нейромережевої моделі.

4. Значення коефіцієнтів кореляції між вхідними та прогнозованими змінними

Архітектура нейронної мережі	Коефіцієнти кореляції			
	Var33	Var34	Var35	Var36
MLP 32-14-4	0.9935	0.9956	0.9192	0.9193
MLP 32-18-4	0.9969	0.9978	0.9663	0.9512
MLP 32-13-4	0.9911	0.9923	0.8712	0.9315
MLP 32-21-4	0.9270	0.9975	0.9766	0.9542
MLP 32-23-4	0.9975	0.9983	0.9865	0.9817

Таким чином, отримуємо прогностичну модель, що описується залежністю:

$$\bar{y} = f_{NN}(\bar{x}); \bar{y} = \begin{bmatrix} \text{Var33} \\ \text{Var34} \\ \text{Var35} \\ \text{Var36} \end{bmatrix}; \bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Var1} \\ \text{Var2} \\ \dots \\ \text{Var32} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де Var1 – Var36 – входи та виходи нейромережевої моделі (див. табл. 3).

Для запропонованої моделі f_{NN} для ефективного моделювання у пакеті Statistica Neural Networks на всіх етапах під час прогнозування велика увага приділяється глибині прогнозу. Репрезентативність навчальної вибірки для

нейронної мережі забезпечується вибіркою з інтервалом 10 с для Var1 – Var25 з системи автоматизації, та лабораторних даних для Var26 – Var36 з інтервалом 1 год за 3 доби.

Результати досліджень та їх обговорення. З існуючої множини архітектур нейромереж була обрана MLP (багатошаровий персептрон), що є універсальною для апроксимації нелінійних складних функцій з багатьма змінними та проста в реалізації. Найкращий результат продемонструвала мережа MLP 32-23-4 (табл. 5), яка забезпечила продуктивність на всіх вибірках більше 95 %, що доводить можливість її подальшого використання.

5. Результати розв'язку оптимізаційної задачі синтезу моделі у вигляді нейронних мереж

Мережа	Точність на тренувальній вибірці	Точність на перевірочній вибірці	Точність на тестовій вибірці	Алгоритм	Функція активації нейронів
MLP 32-14-4	0.9569	0.9473	0.9126	BFGS 58	Logistic
MLP 32-18-4	0.9781	0.9378	0.9249	BFGS 110	Exponential
MLP 32-13-4	0.9465	0.9334	0.9022	BFGS 53	Logistic
MLP 32-21-4	0.9638	0.9279	0.9137	BFGS 98	Exponential
MLP 32-23-4	0.9910	0.9708	0.9503	BFGS 95	Tanh

Результати оглядової статистики обраної моделі для ефекту очищення (Var36) наведені в табл. 6, з якої видно, що отримана модель має високу ступінь адекватності та може бути застосована на практиці.

За результатами використання нейронної мережі (6) отримали залежності, що представлені на рис. 3 – 4 при похибці на тестових даних менше 5 %. Аналіз матеріалів дає змогу зробити висновок про взаємозалежність між вхідними та вихідними змінними, що носить суттєво нелінійний характер.

6. Результати роботи обраної нейромережевої моделі для Var36

Зразки	MLP 32-23-4	Зразки	MLP 32-23-4
Minimum prediction (Train)	20.294	Minimum residual (Validation)	-2.435
Maximum prediction (Train)	32.645	Maximum residual (Validation)	2.265
Minimum prediction (Validation)	20.509	Minimum residual (Test)	-1.818
Maximum prediction (Validation)	33.943	Maximum residual (Test)	1.444
Minimum prediction (Test)	19.450	Minimum standard residual (Train)	-4.762
Maximum prediction (Test)	33.327	Maximum standard residual (Train)	4.457
Minimum prediction (Missing)		Minimum standard residual (Validation)	-4.563
Maximum prediction (Missing)		Maximum standard residual (Validation)	4.244
Minimum residual (Train)	-1.387	Minimum standard residual (Test)	-4.041
Maximum residual (Train)	1298	Maximum standard residual (Test)	3.209

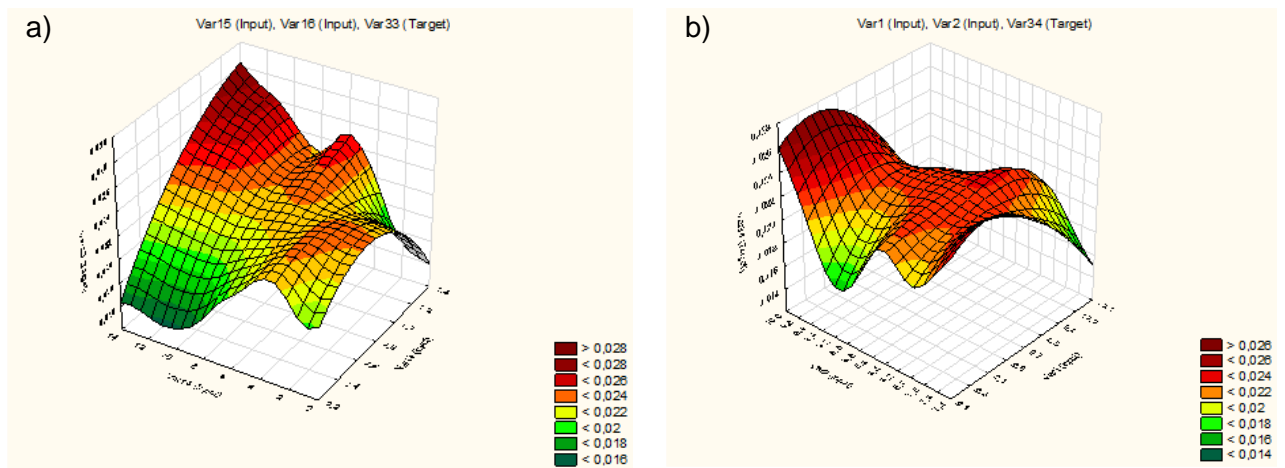


Рис. 2. Залежність вмісту цукру, % в фільтрованому осаді I та II сатурації відповідно від витрат молока II сатурації та суспензії I сатурації після відстійника (a) та рН I та II сатурації (b)

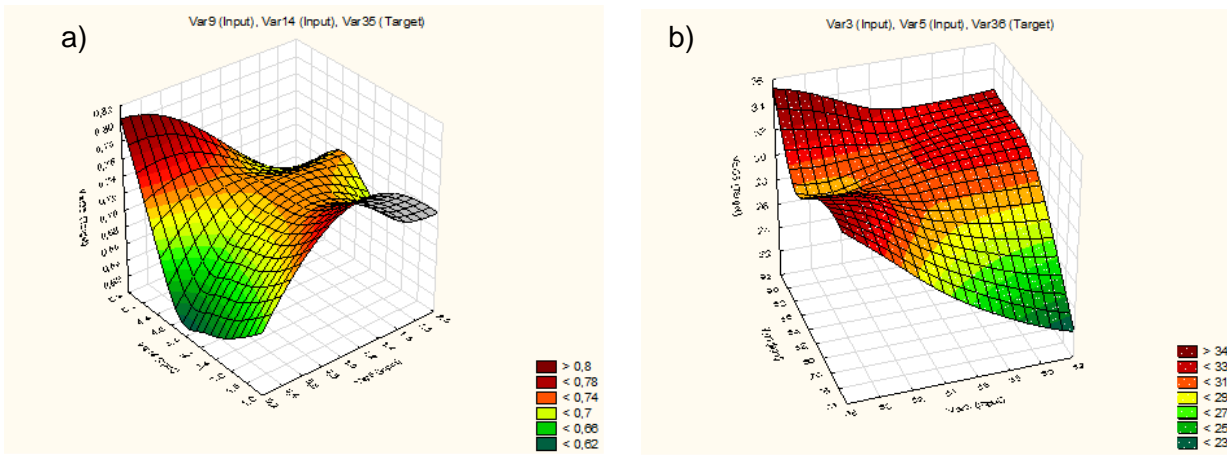


Рис. 3. Залежність забарвленості та ефекту очищення відповідно від витрат молока в 6-ту зону та на основну дефекацію (а) і від температур соку в преддефекторі та гарячому дефекторі (b)

З урахуванням прогнозних показників, що отримують з моделі очисного відділення, вибирається стратегія щодо режимних параметрів відділення, зокрема температурний, витратний, лужний режими відділення. Останні безпосередньо стають завданнями для відповідних автоматичних регуляторів системи управління відділенням.

Висновки і перспективи. Враховуючи встановлену достатню якість функціонування розробленої моделі та можливість генерування відповідного програмного коду мовою C++ або Java для використання в системах реального часу, нейронну модель очисного відділення, а саме багат шаровий перцептрон, доцільно використовувати для прогнозування відповідних режимних параметрів відділення.

Підвищення ресурсоефективності виробництва цукрової продукції відбувається за рахунок високого рівня автоматизованого керування дефекосатураційним відділенням цукрового заводу, режимні параметри якого своєчасно змінюються на основі прогнозованих значень основних показників відділення. На основі прогнозних значень основних показників діяльності відділу своєчасно змінюються його режимні параметри.

Перспективно розробити інтелектуальну систему управління виробництвом на основі прогнозних моделей якості та втрат кожного відділу та включити в неї модель продуктивності всього заводу.

References

1. Council Directive 2001/111/EC of December 20, 2001 on certain sugars intended for human consumption. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-01#Text, last accessed 2022/07/13.
2. Zaiets, N., Vlasenko, L., Lutska, N., Shtepa, V. (2022). Resource Efficiency Forecasting Neural Network Model for the Sugar Plant Diffusion Station. In: Szewczyk, R., Zieliński, C., Kaliczyńska, M. (eds.) *Automation 2022: New Solutions and Technologies for Automation, Robotics and Measurement Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1427. Springer, Cham (2022).
3. Ogando, F. I. B., de Aguiar, C. L., Viotto, J. V. N., Heredia, F. J., Hernanz, D. (2019). Removal of phenolic, turbidity and color in sugarcane juice by electrocoagulation as a sulfur-free process. *Food Research International* 122 (1337), 643–652.
4. Saska, M., Zossi, S., Liu, H. (2010). Colour behaviour in cane juice clarification by defecation, sulfitation and carbonation. In: *International society of sugar cane technologists*, 27, 1–14.
5. Begum, R., Nimbai, G. M., Halse, S. V. (2013). Fuzzy neural network modelling and pH value control in the clarifying process of sugar cane juice. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications* 2(2), 25–32.
6. Lin, X., Lei, S., Song, C., Song, S., Liu, D. (2008). ADHDP for the pH value control in the clarifying process of sugar cane juice. In: *International Symposium on Neural Networks*, 796–805. Springer, Berlin, Heidelberg.
7. Xiaofeng, Lin, Jiaran, Yang. (2009). HDP for the Neutralized pH Value Control in the Clarifying Process of Sugar Cane Juice. In: *AIP Conference Proceedings*, 1127, 162173.
8. Sunori, S. K., Negi, P. B., Arora, S., Khan, F., Maurya, S., Juneja, P., Ghai, K. (2022). Neuro-fuzzy Controller Design for pH Control in Sugar Refineries. In: *8th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 1 (1), 197–202. IEEE.
9. Zaiets, N. A., Savchuk, O. V., Shtepa, V. M., Lutska, N. M., Vlasenko L.O. (2021). The synthesis of strategies for the efficient performance of sophisticated technological complexes based on the cognitive simulation modelling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 2, 110–117.
10. Zaiets, N., Vlasenko, L., Lutska N., Usenko, S. (2019). System Modeling for Construction of the Diagnostic Subsystem of the Integrated Automated Control System for the Technological Complex of Food Industries. In: *5th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering «ICMRE 2019»*, 93–98. Rome, Italy.
11. Vukov, K. (1977), *Physics and Chemistry of Sugar-Beet in Sugar Manufacture*. Auflage, 595 Seiten, 177 Abb., 228 Tab. Verlag Akademiai Kiadó, Budapest.
12. Shaojian, S., Jinchuan, W., Xiaofeng, L., Huixia, L. (2012) Modeling of key production indices and operating parameters optimized set for sugar clarification process. In: *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*, 7113–7118. IEEE.
13. Song, C. N., Zhong, W. H. (2013). Study on control of the second carbonation in the clarifying process of sugar cane juice via generalized predictive control algorithm. In: *Applied Mechanics and Materials*, 303, 1257–1260. Trans Tech Publications Ltd.

14. Zarifpoor, M., Hakimzadeh, V. (2018). Investigating of artificial neural network potential to predict the properties of refined raw sugar beet juice by electrocoagulation process. *Ukrainian Food Journal* 7(4), 682–691.
15. Song, S., Wu, J., Lin, X., Liu, H. (2012). Predictive model of production index for sugar clarification process by GDFNN. In: *International Symposium on Neural Networks*, 585–593. Springer, Berlin, Heidelberg.

A NEURAL NETWORK APPROACH TO PREDICTING THE QUALITY INDICATORS OF THE PURIFICATION DEPARTMENT OF A SUGAR FACTORY

N. Zaiets, N. Lutska, L. Vlasenko

Abstract. *The article proposes a model of the defecosaturation department of a sugar beet processing plant based on a neural network, which predicts the main indicators of the efficiency of diffusion juice purification. The predictive model allows you to adjust the operation mode of the department by analyzing the unmeasured qualitative indicator of the purification effect. The developed model also predicts the color of the semi-finished product, as well as the loss of sugar in the filter cake I and II saturation with an error of less than 5%. Unlike existing solutions, forecasting is performed in real time using a set of indicators of an automation system and an industrial laboratory. A predictive neural network model is an MLP universal for approximating non-linear complex functions with many variables. The model has 32 inputs, 4 outputs and one hidden layer with 23 neurons. The main technological variables from the automation system – temperatures, flow rates, pressure, pH in the apparatus, as well as from the industrial laboratory – alkalinity, SO content in the saturation gas will be fed into the network input. This allows to increase the informative support of the operator-technologist regarding the quality indicators of the enterprise without additional load on the industrial laboratory and without additional cost automatic quality devices.*

Key words: *defecosaturation department, neural network, forecast, sugar beet, quality assessment*