



Якість, стандартизація, безпека, екологічність та ергономічність машин і технологій
Quality, standardization, safety, environmental and ergonomic properties of machines and techniques

УДК 664.1:681.5: 519.71

Обґрунтування застосування показників якості в енерго – та екологічно ефективних АСУ цукрового виробництва

С.О. Ляшенко¹, А.М. Фесенко², О.С. Ляшенко³, В.М. Кісь⁴

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка (м.Харків, Україна)*

e-mail: ¹ lyashenkosa05@ukr.net, ² alla.ecology3006@gmail.com,

³ oleksii.liashenko@nure.ua, ⁵ vkisprof@ukr.net

ORCID:¹ 0000-0001-8304-9309, ² 0000-0002-3950-3604,

³ 0000-0002-0146-3934, ⁴ 0000-0002-7014-4873

Розглянуто питання підвищення ефективності роботи цукрової галузі, а також конкурентоспроможності цукрових заводів України. Проведений аналіз нормативної та законодавчої бази щодо регулювання роботи цукрових заводів показав підвищення уваги до показників якості цукру. Зроблено порівняння української нормативної бази і технічних та якісних вимог, що застосовуються у провідних країнах - виробниках цукрової продукції. Визначено проблеми, з якими стикаються інженерні служби, що забезпечують функціонування виробничих процесів. На основі проведеного аналізу визначено підрозділи цукрового виробництва, робота яких найбільше впливає на показники якості. Розглянуто засоби, що застосовуються у цих підрозділах і їхній вплив на якісні показники цукру. Визначено, що на показники якості отриманої продукції суттєво впливає неефективна робота випарного відділення.

Розглянуто причини і обставини неефективної роботи цукрових заводів, якість продукції яких є низькою. Зокрема, визначено невідповідності у роботі випарного відділення цукрового заводу, що спричиняють збільшення тривалості процесу випарювання, а це, в свою чергу, призводить до наростання кольоровості цукру. Таким чином, існує чітка залежність між забезпеченням високої якості цукру та тривалістю процесу випарювання, а отже і ефективністю споживання енергоносіїв на підприємствах. Інша сторона енергоефективності – це зменшення впливу на довкілля як результат економії енергоресурсів і зменшення викидів парникових газів. Ефективне регулювання роботи усіх підрозділів цукрового заводу через удосконалення автоматизованих систем управління (АСУ) технологічними процесами може комплексно оптимізувати виробництво, а це забезпечить покращення якості продукції до міжнародних вимог, зменшить споживання енергії та мінімізує вплив на довкілля.

Показано вплив технологічних (температура, тиск тощо) та технічних показників процесу випарювання (поверхні нагріву, об'єми випарних апаратів, накип тощо), а також показників якості (сухі речовини, лужність, доброякісність, каламутність, кольоровість тощо) на якість продукції. Проаналізовано, як якісні та кількісні показники технологічного процесу випарювання впливають на якість продукції, що випускається.

На основі даних про роботу цукрових заводів України за останні роки, де інженерні служби займалися питанням отримання якісної продукції, визначено найбільш ефективні напрями покращення якості цукру. Як головні напрями обрано: оптимізацію режимів роботи випарної установки, застосування сучасних хімічних засобів, що додаються у розчини цукрової продукції (сік та сироп), застосування автоматизованих систем управління, що базуються на ефективному математичному та програмному забезпеченні.

Порівняльний аналіз впливу технологічних заходів з підвищення якісних показників, що контролювались на вході та виході випарної установки став основою для проведення оцінки економічної ефективності запропонованих напрямків. Визначено рівень зменшення експлуатаційних витрат на енергоресурси за умов оптимізації процесів випарювання цукрового соку щодо підтримання мінімально необхідної тривалості технологічного етапу. За таких умов спостерігається суттєве зменшення наростання кольоровості соку. Запропоновано комплекс заходів щодо оптимізації процесу отримання цукру з якісними показниками, що є конкурентними на цукровому ринку.

Ключові слова: показники якості, кольоровість, зольність, випарна установка, технологічний процес, температура, собівартість, автоматизована система управління.

1. Вступ. В умовах стрімкого розвитку сучасних технологій, техніки, інформаційних систем забезпечення, ринку збуту та посилення конкуренції керівники бурякопереробних підприємств в Україні зацікавлені в отриманні максимального прибутку при економії затрат за всіма статтями витрат. Цукрове виробництво у переробній галузі сільськогосподарської продукції є одним з найбільш енергозатратних та складних. Останнім часом з метою підвищення прибутковості галузі постають питання випуску продукції з відповідною конкурентоспроможною якістю. Крім того, конкурентоздатність виробництва знижує неефективність технологічних процесів, режимів роботи обладнання, виникнення різного виду поломок, збільшення часу простоїв, застосування неефективних систем автоматизованого управління технологічними процесами, а також низька енергоефективність виробництва, що визначає і вплив на навколишнє середовище. Для підвищення ефективності роботи технологічного комплексу цукрового заводу доцільно доповнити системи автоматизованого забезпечення методами та алгоритмами діагностики і прогнозування, які дозволять у реальному часі оперативного виявляти, розпізнавати і прогнозувати зміни в технологічному процесі. Також важливими є знаходження, обґрунтування та реалізація коригуючих впливів, які б забезпечували перехід з нештатного режиму в найбільш ефективний штатний [1,2,3].

2. Аналіз досліджень та постановка проблеми. Сучасне високоефективне цукрове виробництво характеризується такими показниками як якість, енергоефективність, собівартість. Досягнення цих ефективних показників забезпечується використанням найсучасніших технологій виробництва, обладнання, автоматизованих систем управління процесами та обладнанням, а також організацією цукрового виробництва [4 - 6].

Для підвищення ефективності цукрового виробництва та отримання конкурентоспроможної продукції необхідно розглянути тенденції розвитку цукрової галузі. Як відомо, цукор виробляється згідно з вимогами ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови». Також враховуються сучасні додаткові вимоги замовника, а саме: каламутність цукрових розчинів для виробництва безалкогольних та слабоалкогольних напоїв, вміст сірчистого ангідриду та золи, рН розчинів цукру, коефіцієнт однорідності кристалів тощо. Залежно від способу вироблення цукор поділяють на кристалічний, сахарозу для шампанського, цукрову пудру і пресований. Кристалічний цукор поділяють на чотири категорії за показниками якості: першу, другу, третю і четверту; пресований цукор — на три категорії: першу, другу і третю. Сахарозу для шампанського виробляють першої та другої категорій, цукрову пудру — першої, другої та третьої категорій.

В табл. 1 наведено обсяги виробництва цукру в Україні за останні роки по категоріям.

Таблиця 1. Показники випуску цукру в Україні [7]

Показник	2013 рік	2014 рік	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік
Виробництво цукру 1 кат., т. тонн	114,42	156,15	336,03	614,49	962,13	847,55
Виробництво цукру 2 кат., т. тонн	295,62	316,32	129,60	412,97	359,27	307,0
Виробництво цукру 3 кат., т. тонн	795,18	916,11	962,32	976,87	730,17	558,80
Виробництво цукру 4 кат., т. тонн	6,92	7,0	2,13	3,56	7,73	9,56

Аналізуючи наведені в таблиці 1 дані можна зробити висновок, що в Україні за останні роки почали випускати більше цукрової продукції I та II категорій, яку можна реалізувати не тільки в Україні, а й експортувати. У той же час досить значна частка продукції відповідає третій категорії. У попередні роки (2013-2015 рр.) цукру I та II категорій випускали мало у зв'язку застарілістю обладнання та технологій, що використовуються на цукрових заводах. Модернізації потребують і системи автоматизації цих технологій та обладнання. Удосконалення автоматизованих систем

управління не могло дати значного ефекту при застосуванні застарілих технологій [7,8].

Стабільний випуск цукру високої якості можна здійснити завдяки застосуванню комплексу заходів, а саме: підвищити якість цукросировини, на основі наукового аналізу роботи кожної станції забезпечити їх відповідним сучасним або удосконаленим обладнанням та технологіями, автоматизувати технологічні процеси. Це дасть змогу збільшити випуск цукру I та II категорій [8].

Для отримання конкурентоспроможної цукрової продукції в Україні необхідно вимоги до якості

цукрової продукції привести у відповідність до нормативних європейських вимог та вимог, що використовуються у країнах з розвинутою цукровою галуззю. В рамках виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом та реалізації Плану заходів з імплементації Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством і їхніми державами-членами, з іншої сторони, на 2017-2019 роки, Мінагрополітики запро-

вадило положення Директиви Ради ЄС № 2001/111/ЄС від 20 грудня 2001 р про певні види цукру, призначені для харчового споживання.

Відповідно до наказу Мінагрополітики від 02.11.2017 № 592 «Про затвердження Вимог до видів цукрів, призначених для споживання людиною», впроваджено основні якісні показники цукру. Порівняльні якісні показники цукру, відповідно ДСТУ 4623:2006 та наказу Мінагрополітики від 02.11.2017 № 592, по категоріям приведені у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння вимог наказу Мінагрополітики від 02.11.2017 № 592 із нормами ДСТУ 4623:2006

Основні показники якості	ДСТУ 4623:2006	Вимоги, затверджені наказом №592
	Цукор першої категорії	Екстра білий цукор
вміст золи – не більше ніж, %	0,027	0,0108
– не більше, балів	15	6
кольоровість у розчині – не більше ніж	45 одиниць ICUMSA	22,5 одиниць ICUMSA
	Цукор другої категорії:	Білий цукор (цукор)
вміст золи – не більше ніж, %	0,04	9 балів
кольоровість у розчині – не більше ніж	60 одиниць ICUMSA	
	Цукор третьої категорії:	
вміст золи – не більше ніж, %	0,04	
кольоровість у розчині – не більше ніж	104 одиниць ICUMSA	
	Цукор четвертої категорії:	Напівбілий цукор
вміст золи – не більше ніж	0,05	
кольоровість у розчині – не більше ніж	195 одиниць ICUMSA	

Наведена таблиця свідчить, що одним з основних показників якості, який необхідно контролювати, є кольоровість. Крім того, вимоги щодо значення кольоровості для першої категорії, відповідно вимогам наказу, у два рази вищі ніж у ДСТУ 4623:2006.

Основними показниками роботи цукрових заводів України у 2018 році є: середній коефіцієнт заводу – 83,48 %, ступінь вилучення цукру (коефіцієнт виробництва) з буряків – 80,64 % .

Найближчі до України держави, такі як Росія та Білорусь, теж розглядають питання збільшення випуску конкурентоспроможної якісної цукрової продукції, також реконструюють теплові схеми цукрових заводів, що дає можливість отримати питому витрату пари не більше 23-25 % до маси буряка, загальні витрати умовного палива (на отримання теплової та електричної енергії) доходять до 3% до маси буряка, крім того коефіцієнт заводу за таких умов становить 85-87%.

В Україні питома витрата пари складає у середньому 30-35 % до маси буряка, загальні витрати умовного палива знаходяться у межах 3,1-4,0% до маси буряка, крім того коефіцієнт

заводу становить 82-84%. У розвинутих країнах (держави Євросоюзу) коефіцієнт цукрового заводу складає 94-96%. Відповідно і витрати умовного палива та собівартість продукції значно менші [9,10].

Визначальним фактором, що впливає на якість цукру-піску є якість сиропу з випарної установки. Якість сиропу погіршується передусім через підвищення вмісту золи та кольоровості.

З практики відомо, що для отримання цукру-піску високої якості чистота сиропу повинна бути близько 92%. Крім того, необхідно мати на увазі, що чистота сиропу залежить від якості буряка, що перероблюється та ефективності очищення дифузійного соку. Вважається, що з буряка з вмістом цукру 16-18 %, можна отримати сироп з чистотою 92% і вище. Отримання сиропу з чистотою 92 % і вище можливе, якщо вміст золи складає 2,00-2,75 г / 100 г цукру, кольоровість сиропу не вище 25-30 од. ICUMSA. При переробці буряка вміст завислих речовин не більше 30 мг на 1 л сиропу і т. д.

Причинами високої кольоровості сиропу може бути:

- використання буряку поганої якості;
- незадовільна робота станції сокодобування (погана якість стружки, підвищена температура, мікробіологічне зараження соку);
- незадовільна робота станції очищення дифузійного соку;
- порушення режиму роботи випарної установки (недостатня кількість соку другої сатурації, не витримано рівень соку в корпусах випарної установки (ВУ), збільшення часу випарювання соку у ВУ [11].

Запобігти цим проблемам можна використовуючи автоматизований контроль за роботою теплової схеми бурякоцукрового заводу. Автоматизований контроль має забезпечувати:

- нагрівання продуктів до температур, що передбачені технологічними режимами;
- згущення соку у випарній установці до заданої концентрації сухих речовин у сиропі та мінімально можливого значення кольоровості та розкладу цукру;
- уварюванню утфелю;
- постачання на ТЕЦ (котельної) чистого конденсату;
- забезпечення заводу гарячою водою [12].

До якісних показників сиропу, крім кольоровості, відносяться лужність, каламутність, зольність тощо [13].

Цукор як товарний продукт містить у своєму складі різні органічні і неорганічні домішки. Такі речовини як азотисті сполуки, редукувальні і мінеральні речовини впливають на кольоровість. Під час технологічних процесів, у яких не витримано технологію виробництва, відбуваються складні перетворення цих органічних речовин, внаслідок чого утворюється темне забарвлення цукрових розчинів. Основне забарвлення обумовлюється продуктами лужного розпаду інвертного цукру і меланоїдинами [14].

Закордонні виробники вважають, що існує чітка кореляційна залежність між показниками «кольоровість», «каламутність», «зольність» тощо. Зробивши порівняльну оцінку критеріїв якості, які використовують на зарубіжних та вітчизняних підприємствах по виробництву цукрової продукції і ДСТУ 4623:2006, можна підтвердити цю кореляційну залежність.

Окрім того, необхідно відмітити, що на якість продукції та процес випарювання впливають різні складові соку, які під впливом концентрації і температури трансформуються в цукрових розчинах і випадають в осад. Відкладення осадів на поверхні нагріву, яке зазвичай називають накипом, залежить від способу отримання і очищення соку, від складу буряка, від складу і властивостей допоміжних матеріалів. Крім того, осади на поверхні нагріву зменшують коефіцієнт теплопередачі, що призводить до зниження продуктивності випарної станції [12].

Постійна продуктивність випарної установки за кількістю випареної води може підтримуватися лише протягом деякого часу. Збільшення тривалості її роботи у ненормативних режимах призводить до уповільнення росту концентрації сухих речовин у сиропі і значного збільшення витрати тепла (пари) на технологічні потреби виробництва.

Для видалення накипу застосовуються найрізноманітніші способи - хімічні, механічні, гідродинамічні, ультразвукові, біологічні і т.д. Але найбільш актуальними у наш час і найпоширенішими є способи попередження накипоутворення на випарній установці без зупинки її роботи. З цією метою і за кордоном, і в Україні використовують реагенти, так звані антинакипіни, що додають у сік, який подається на ВУ [15].

Враховуючи складність процесу випарювання соку у випарних установках актуальним завданням щодо подальшої оптимізації режимів роботи випарної установки і енергоефективності роботи всього цукрового заводу є визначення якісних складових продукції, які необхідно застосувати при виборі математичного забезпечення у системі автоматизованого управління технологічним процесом випарювання.

3. Ціль і задачі.

Визначення впливу технологічних показників роботи випарної установки в системі АСУТП на якісні показники цукру та екологічну ефективність.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити основні показники, що визначають отримання якісного продукту відповідно до сучасних міжнародних вимог;
- обґрунтувати ефективність режимів роботи випарної установки, які дають можливість отримати цукор відповідної якості.

4. Визначення доцільності використання показників якості в АСУТП. Сучасний цукровий завод є високоефективним об'єктом, що складається з багатьох складних виробничих етапів. Залежно від якості сировини, технічного забезпечення у ході переробки продукції оператори часто бувають вимушені змінювати технологічну схему переробки продукції залежно від змін показників якості та кількості продукції за допомогою АСУТП [6].

Основні технологічні процеси супроводжуються значним споживанням теплової енергії. Основним напрямком економії палива в цукровій галузі є зменшення витрат теплової енергії (пари) на технологічні потреби. Основним теплогенеруючим відділенням цукрового заводу є випарне, з основним його обладнанням – випарною установкою (ВУ) [6].

Тому для цукрових заводів України стратегічний напрямком економії – зменшення споживання свіжої пари (тепла) у технологічному процесі при

забезпеченні конкурентоспроможної якості. Відповідно і питання ефективної роботи випарного відділення на цукровому заводі є пріоритетним.

Основними показниками якості цукру відповідно до ДСТУ 4623:2006 та міжнародних вимог є: поляризація, масова частка інвертного цукру, масова частка вологи, тип забарвлення, вміст золи, кольоровість у розчині.

Значення рН та інші якісні показники, що наведені в ДСТУ 4623:2006 і відображені в міжнародних нормативних вимогах, у процесі випарювання відхиляються мало від нормативних значень, а кольоровість при застосуванні навіть найсучасніших методів очищення (фільтри, реактиви, тощо) змінюється суттєво. Тому, найбільш важливим показником, що впливає на ефективність випарювання, вважається кольоровість [7].

Розглядаючи заходи, що використовуються у сучасному виробництві для покращення якісних показників при випарюванні, варто відмітити, що сік, який надходить на випарювання, може очищуватися за допомогою різних технологій та реактивів. Зокрема, це відокремлення домішок до та після випарювання при різних значеннях рН, додавання MgO у розчин, клиноптилоліту тощо. Методи і ефективність очищення дифузійного соку наведені в табл. 3.

Порівнюючи отримані показники якості, наведені в таблиці 3, можна відмітити, що ефектив-

ність очищення дифузійного соку різними способами до потрапляння у випарну установку складає у середньому від 53% до 85%.

Результати впровадження заходів по очищенню сиропу після випарної установки показують, що ефективність очищення у середньому коливається від 55% до 88%.

Крім того, необхідно враховувати, що при надмірному застосуванні різних реагентів та інгібіторів, вони не розчинюються при випарюванні, а переходять у кристалізаційне відділення. І щоб досягти отримання цукру нормованого складу необхідно знову відправляти клерований сироп на випарне відділення, а це призведе до додаткових витрат пари. А це підвищує собівартість продукції [6].

Ефективність запропонованих заходів досить значна, але і вона не дає можливості привести якісні показники цукру до нормативних. Відповідно, необхідно застосовувати не тільки заходи по очищенню, але і комплексні заходи з удосконалення АСУТП по випарюванню соку відповідно до вимог якості з відповідними технічними та технологічними інженерними розрахунками.

Впровадження удосконаленої системи управління процесом випарювання на Першому ім. Петровського цукровому заводі (с. Б. Колодязь Харківської області) дає можливість покращити якісні показники цукрової продукції на випарній установці і зменшити енергетичні затрати. Дані щодо результатів впровадження наведено у табл. 4.

Таблиця 3. Вплив різних методів очищення дифузійного соку до та після випарної установки на якісні показники

Якісні показники дифузійного соку	До ВУ (дифузійний сік до ВУ)		Після ВУ (сироп після ВУ)	
	Звичайна схема очищення	Удосконалена схема	Звичайна схема очищення	Удосконалена схема
Схеми очищення соку (звичайна та з відокремленням соку – луг MgO до рН 9,4)				
Кольоровість, од. ICUMSA	309-368	230	756-902	591
рН	9,18-9,20	9,22	8,68-8,70	8,71
При рН = 6,75 (звичайна схема та удосконалена схема з додаванням MgO)				
Кольоровість, од. ICUMSA	338-430	204	491-637	302
рН	8,70-9,40	9,40	8,30-9,01	9,00
При рН = 7,09 (звичайна схема та удосконалена схема з додаванням клиноптилоліту)				
Кольоровість, од. ICUMSA	160-293	128-260	332-509	290-456
рН	9,12-9,15	9,04-9,05	8,70-8,72	8,75-8,78

Наведені показники якості та енергозатрат свідчать, що впровадження заходів з покращення автоматизованої системи управління роботою ВУ дає досить непогані результати. Зокрема, кольоровість при виході з ВУ становить близько 250 од. ICUMSA у порівнянні з початковим 450 од. ICUMSA. Це дає можливість отримати кольоро-

вість цукру на рівні 30 од. ICUMSA, що відповідає показникам ДСТУ 4623:2006 (45 од. ICUMSA) і майже відповідає нормативному значенню міжнародних вимог до якості цукру 1 категорії (22,5 од. ICUMSA, табл. 2).

Кольоровість у запропонованому варіанті на виході з ВУ знизилась на 55%, а цукру на 32%.

Таблиця 4. Значення енергетичних, якісних та економічних показників роботи випарної установки при впровадженні математичного та програмного забезпечення у системі автоматизованого управління випарним відділенням

Варіант роботи заводу	Кольоровість цукру, од. ICUMSA	Кольоровість сиропу після ВУ, од. ICUMSA	Загальні витрати умовного палива, % до маси буряка	Витрати природного газу, м ³ на 1 тону буряку	Вартість спожитого природного газу за продуктивності заводу 3000 т буряка, грн/добу	Економія енерговитрат, грн/добу
До впровадження заходів	95	450	3,49	30,64	602040	72300
Після впровадження заходів	30	250	3,02	26,96	529740	

* Ціна на газ за жовтень 2019 складає 6549,60 грн/1000 м³ [16]

Знижені витрати умовного палива при цьому становлять 3,02 % до маси буряку, що становить 86% від базової схеми випарювання. Для отримання кольоровості, що відповідає нормативним вимогам (22,5 од. ICUMSA), витрати умовного палива повинні складати близько 2, 6% [17].

Витрати природного газу на 1 тону переробленого буряка знизилась до 88 %, і це зменшує на аналогічний відсоток частку вартості газу у собівартості продукції.

Удосконалення системи АСУ випарним відділенням дозволяє покращити показники якості цукрової продукції до нормативних вимог та знизити витрати на виробництво за рахунок енергозбереження до 72300 грн. за добу.

Подальше удосконалення роботи випарного відділення варто проводити за такими напрямками:

1. Застосовувати різні сучасні хімічні препарати для зниження кольоровості до та після випарного апарату.

2. Контролювати рН, вміст сухих речовин (СР), кольоровість, зольність.

3. Оптимізувати температурні режими роботи за рахунок зміни тиску пари, температури та використання тепла вторинних джерел.

4. Застосувати удосконалені схеми випарювання. Наприклад, переносити паровідбори з перших корпусів на наступні, що зменшує час перебування соку в зоні високих температур. А це за інших однакових умов зменшує розкладення цукру і наростання кольоровості соку при випаровуванні.

5. Оптимізувати кількість вапняного молока у розчині перед випарною установкою.

6. Зменшити розведення соку при очищенні за рахунок скорочення витрати СаО (за рахунок поліпшення якості сировини, технології дифузійного процесу й очищення отриманого соку), використанням більш досконалих камерних фільтрів,

які забезпечують менше розведення соку і фільтрують під тиском, а також за рахунок використання частини найбільш рідких промиїв для гашення вапна.

7. Для зменшення витрат пари на технологічні потреби необхідно забезпечити скорочення сумарної кількості паровідборів із корпусів випарної установки. Але при цьому відповідно зменшиться кількість випареної води і знизиться концентрація отриманого сиропу, що призведе до збільшення витрати пари на уварювання утфелю у вакуум-апаратах. Для запобігання цього потрібно перерозподілити паровідбори з корпусів випарної установки таким чином, щоб забезпечити випаровування необхідної кількості води із соку, або за рахунок організаційно-технічних заходів зменшити кількість соку, що подається на випаровування.

Основні заходи енергозбереження та екологічної безпеки, що знаходять застосування у різних варіантах і комбінаціях на бурякоцукрових заводах, можна звести до трьох груп.

У першій групі представлено комплексні заходи, які забезпечують зменшення величин паровідборів із випарної установки при одночасному підвищенні концентрації сиропу, як правило, не вище граничної і підтримання показників якості продукції у необхідних межах.

У другій групі наведено заходи, застосування яких створює потенціал економії пари (тепла) у технологічному процесі. Для повної реалізації цього потенціалу необхідно їх впроваджувати одночасно із заходами, що компенсують недовипаровування води у випарній установці.

У третій групі зібрано заходи, які в одних умовах можуть виступати як комплексні, а в інших – в якості створюючих потенціалів економії пари (тепла) у технологічному процесі. Для них важливими є конкретні умови їхньої реалізації в енерготехнологічній схемі цукрового заводу.

Висновки. Проаналізувавши основні сучасні вимоги до цукрової продукції у світі, необхідно відмітити, що основою для отримання конкурентоспроможної цукрової продукції є визначення таких основних показників як кольоровість, рН та зольність.

Для отримання цукрової продукції, що відповідає міжнародним показникам якості, необхідно у АСУ технологічними процесами дефекосатурації, випарювання та кристалізації ввести показники якості.

Застосування сучасного математичного забезпечення в АСУ випарного відділення, де враховано технологічні і якісні показники, дає можливість покращити вихідні показники якості цукру до 10-15%.

Для отримання кращих якісних показників цукру необхідно підвищувати ефективність АСУ комплексно на всіх ділянках цукрового заводу. На основі нових показників якості необхідно побудувати науково обґрунтовані математичні моделі цих процесів і ввести їх у програмне забезпечення АСУТП. Комплексну автоматизацію технологічних і теплотехнічних процесів на всіх ділянках цукрового виробництва необхідно застосовувати відповідно до технологічних розрахунків, де були б враховані і показники якості на всіх етапах цукрового виробництва.

Література

1. ДСТУ 4623-2006. Національний стандарт України. Цукор білий. Технічні умови. Київ, 2007. 18 с.
2. Вимоги до виробництва цукру приведено у відповідність до європейських. Урядовий портал. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/vimogi-do-virobnictva-cukru-privedeno-u-vidpovidnist-do-evropejskih>.
3. Власенко Л. О. Підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок використання методів діагностики та прогнозування / В. О. Власенко, А. П. Ладанюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 2/3(44). – С. 57-62. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/1078>.
4. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Агропромиздат, 1986. – 436с.
5. Ensinas A. Design of Evaporation Systems and Heaters Networks in Sugar Cane Factories Using a Thermoeconomic Optimization Procedure / A. V. Ensinas, S. A. Nebra, M. A. Lozano, L. Serra // Int. J. of Thermodynamics. 2007. – Vol. 10 (No. 3) – P. 97-105.
6. Штангеев К. О. Випарні установки та теплові схеми цукрових заводів. – Київ, 2015. – 57 с.
7. Галацан Л.А. Робота цукрових заводів України при переробці цукрових буряків урожаю

2018 року // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України – Перспективи розвитку цукрової промисловості України. – К.: НУХТ, 2019. С.18-30.

8. Ярчук М.М. Підсумки роботи бурякоцукрової галузі України за 2012 рік та завдання на поточний рік // Інформація про підсумки роботи НАЦУ «Укрцукор» в 2012 році. С.40-66. – Режим доступу: <https://docplayer.net/59592905-Pidsumki-roboti-buryakocukrovoyi-galuzi-ukrayini-za-2012-rik-ta-zavdannya-na-potochniy-rik.html>.

9. Ярчук М.М. Підсумки роботи бурякоцукрової галузі України за 2013 рік та завдання на поточний рік // Інформація про підсумки роботи НАЦУ «Укрцукор» в 2013 році. С.28-71. – Режим доступу: <https://docplayer.net/80023422-Pidsumki-roboti-buryakocukrovoyi-galuzi-ukrayini-za-2013-rik-ta-zavdannya-na-potochniy-rik.html>.

10. Эффективный сахарный завод. Вопросы проектирования // О.В. Никитин, В.И. Михайлов, А. П. Ветров. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1494/3/EFFECTIV.pdf>

11. Сироп и его влияние на качество сахара. Агропромышленный портал России. – Режим доступу: <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6926-sirop-i-ego-vliyanie-na-kachestvo-sahara.html>.

12. ПУП 15.83-37-106:2007. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру із цукрових буряків. Київ, 2007. 432 с.

13. Петриченко, І. Б. Інноваційні технології галузі: курс лекцій для студентів спеціальності "Технології цукру та полісахаридів" ден. та заочн. форм навч. / І. Б. Петриченко, Ю. М. Резніченко – К.: НУХТ, 2013. – 174 с. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/9398>.

14. Скорик К.Д. Вплив порушень технологічних режимів виробництва на якість цукру. – Режим доступу: http://www.ipdo.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=433&Itemid=10&lang=uk.

15. Хомічак Л. Причини утворення і способи попередження інкрустації на теплотехнологічному обладнанні бурякоцукрового виробництва//Науково-практичний центр цукробурякового виробництва. Науку у виробництво. 2017. №3. – Режим доступу: http://sugar-journal.com.ua/customer/files/Vestnik_ua/2017/09/4-10.pdf.

16. Прейскурант на природний газ із ресурсів акціонерного товариства «Національна акціонерна компанія «Нафтогаз України» – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Naftogaz-gaz-prices-ne-PSO-October-2019.pdf>.

17. Белорусский государственный концерн пищевой промышленности «Белгоспищепром». Качество сахара и пути его повышения. Рекомендации. - Минск 2008г. – 78 с. – Режим доступу: <https://works.doklad.ru/view/1o83b5aGd64.html>.

References

1. DSTU 4623:2006. *Cukor bilyj. Tekhnichni umovy.* (2007). Kyiv, 18.
2. *Vymogy do vyrobnytctva cukry pryvedeno u vidpovidnist do yevropejskyh.* Available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/vimogi-do-virobnictva-cukru-privedeno-u-vidpovidnist-do-yevropejskyh>.
3. Vlasenko L. Ladanyuk A. (2010). *Pidvyshchennya efektyvnosti funkcionyvannya tehnologichnogo kompleksu cykrovogo zavodu za rahunok vykorystannya metodiv diagnistyky ta prognozuvannya.* *Vostochno-Evropejskii zurnal peredovyh tehnologiy.* 2/3(44). 57-62. Available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/1078>.
4. Saponov A. (1986). *Tehnologiya saharnogo proizvodstva.* Moscow, 436.
5. Ensinas A. Nebra S. A., Lozano M. A., Serra L. (2007). *Design of Evaporation Systems and Heaters Networks in Sugar Cane Factories Using a Thermoeconomic Optimization Procedure.* *Int. J. of Thermodynamics.* 10 (No. 3) 97-105.
6. Shtanghejev K. (2015). *Vyparni ustanovy ta teplovi skhemy cukrovkyh zavodiv.* Kyiv, 57.
7. Galatcan L. (2019). *Robota cukrovkyh zavodiv Ukrainy pry pererobtci cukrovkyh burakiv urozayu 2018 roku.* *Materialy miznarodnoii naukovo-tehnichoi konferencii cukrovkyh Ukrainy Perspektivy rozvytku cukrovii promyslovosti Ukrainy.* Kyiv. 18-30.
8. Yarchuk M. *Pidsumky roboty burakocukrovii galuzi Ukrainy za 2012 rik ta zavdannya na potochnyi rik.* *Informaciya pro pidsumky roboty NACU Ykrcukor v 2012 rotci.* 40-66. Available at: <https://docplayer.net/59592905-Pidsumki-roboti-bur-yakocukrovoyi-galuzi-ukrayini-za-2012-rik-ta-zavdannya-na-potochniy-rik.html>.
9. Yarchuk M. *Pidsumky roboty burakocukrovii galuzi Ukrainy za 2013 rik ta zavdannya na potochnyi rik.* *Informaciya pro pidsumky roboty NACU Ykrcukor v 2013 rotci.* 28-71. Available at: <https://docplayer.net/80023422-Pidsumki-roboti-bur-yakocukrovoyi-galuzi-ukrayini-za-2013-rik-ta-zavdannya-na-potochniy-rik.html>.
10. Nikitn O., Mihaylov V., Venrov A. *Effectivnyi saharnyi zavod. Voprosy proektirovaniya.* Available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1494/3/EFFECTIV.pdf>.
11. Sirop I yego vliyaniye na kachestvo sahara. *Agropromyshlennyi portal Rissiyi.* Available at: <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6926-sirop-i-yego-vliyanie-na-kachestvo-sahara.html>.
12. PUP 15.83-37-106:2007 «Pravyla vedennja tehnologichnogo procesu vyrobnytctva cukru iz cukrovkyh burjakiv» (2007). Kyiv, 432.
13. Petrichenko I. (2013). *Innovatciini tehnologii galuzi: kurs lekcii dlia studentiv.* Kyiv. 174. Available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/9398>.
14. Skoryk K. (2014). *Vplyv porushenj tehnologichnykh rezhymiv vyrobnytctva na yakist cukru.* Lviv. Available at: http://www.ipdo.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=433&Itemid=10&lang=uk
15. Khomichak L. (2017). *Prychyny utvorennja i sposoby poperedzhennja inkrustacii na teplotekhnologichnomu obladdanni burjakocukrovogho vyrobnytctva // Naukovo-praktychnyj centr cukroburjakovogho vyrobnytctva.* *Nauku u vyrobnytctvo.*, 3. Available at: http://sugar-journal.com.ua/custom/files/Vestnik_ua/2017/09/4-10.pdf.
16. *Preiskurant na pryrodnyi haz iz resursiv aktsionernoho tovarystva «Natsionalna Aktsionerna Kompaniia «Naftohaz Ukrainy».* Available at: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Naftogaz-gaz-prices-ne-PSO-October-2019.pdf>.
17. *Belorusskyi Hosudarstvennyi Kontsern Pyshevoi Promyshlennosti «Belhospyshcheprom».* *Kachestvo Sakhara Y Puty Eho Povysheniya. Rekomendatsyy.* (2008). Minsk. 78. Available at: <https://works.doklad.ru/view/1o83b5aGd64.html>

Аннотация

Обоснование применения показателей качества в энерго- и экологически эффективных АСУ сахарного производства

С.А. Ляшенко, А.М. Фесенко, А.С. Ляшенко, В. Н. Кись

Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы сахарной отрасли и конкурентоспособности сахарных заводов Украины. Проведенный анализ нормативной и законодательной базы в области регулирования работы сахарных заводов показал повышение внимания к показателям качества сахара. Сделано сравнение украинской нормативной базы а также технических и качественных требований, применяемых в ведущих странах - производителях сахарной продукции. Определены проблемы, с которыми сталкиваются инженерные службы, обеспечивающие функционирование производственных процессов. На основе проведенного анализа определены подразделения сахарного производства, работа которых больше всего влияет на показатели качества.

Рассмотрены средства, применяемые в этих подразделениях и их влияние на качественные показатели сахара. Определено, что на показатели качества полученной продукции существенно влияет неэффективная работа выпарного отделения.

Рассмотрены причины и обстоятельства неэффективной работы сахарных заводов с невысоким качеством продукции. В частности, определены несоответствия в работе выпарного отделения сахарного завода, которые вызывают увеличение продолжительности процесса выпаривания, что, в свою очередь, приводит к нарастанию цветности сахара. Таким образом, существует четкая зависимость между обеспечением высокого качества сахара и продолжительностью процесса выпаривания, а значит и эффективностью потребления энергоносителей на предприятиях. Другая сторона энергоэффективности - это уменьшение влияния на окружающую среду в результате экономии энергоресурсов и уменьшения выбросов парниковых газов. Эффективное регулирование работы всех подразделений сахарного завода путем совершенствования автоматизированных систем управления (АСУ) технологическими процессами может обеспечить комплексную оптимизацию производства, которая приведет к улучшению качества продукции до международных требований, уменьшению потребления энергии и снижению влияния на окружающую среду.

Показано влияние технологических (температура, давление и т.д.) и технических показателей процесса выпаривания (поверхности нагрева, объемы выпарных аппаратов, накипь и т.п.), а также показателей качества (сухие вещества, щелочность, доброкачественность, мутность, цветность и т.д.) на качество продукции. Проанализировано, как качественные и количественные показатели технологического процесса выпаривания влияют на качество выпускаемой продукции.

На основе данных о работе сахарных заводов Украины за последние годы, где инженерные службы занимались вопросами получения качественной продукции, определены наиболее эффективные направления улучшения качества сахара. В качестве главных направлений избраны: оптимизация режимов работы выпарной установки, применение современных химических средств, которые добавляются в растворы (сок и сироп), применение автоматизированных систем управления, основанных на эффективном математическом и программном обеспечении.

Сравнительный анализ влияния технологических мероприятий по повышению качественных показателей, которые контролировались на входе и выходе выпарной установки, стал основой для проведения оценки экономической эффективности предложенных направлений. Определен уровень уменьшения эксплуатационных расходов на энергоресурсы при оптимизации процессов выпаривания сахарного сока по поддержанию минимально необходимой продолжительности технологического этапа. При таких условиях наблюдается существенное уменьшение нарастания цветности сока. Предложен комплекс мер по оптимизации процесса получения сахара с качественными показателями, конкурентными на сахарном рынке.

Ключевые слова: показатели качества, цветность, зольность, выпарная установка, технологический процесс, температура, себестоимость, автоматизированная система управления.

Abstract

Reasoning the use of qualitative indicators in energy efficient and environmental friendly automated process control systems of sugar production

S.O. Liashenko, A.M. Fesenko, O.S. Liashenko, B.M. Kis

The article considers questions of efficiency increase for a sugar industry and the competitiveness of sugar mills in Ukraine. The analysis of the regulatory and legislative framework on the regulation of the sugar mills operation showed an increase in attention to the quality of sugar. A comparison of the Ukrainian regulatory framework and the technical and quality requirements applied in the leading countries - producers of sugar products is made. The issues faced by the engineering services that ensure the functioning of the production processes are identified. On the basis of the analysis, we identified the sections of sugar production with the greatest influence on the qualitative indicators. The tools used in these sections and their impact on the quality of sugar are discussed. It is determined that the quality of the obtained products is significantly influenced by the inefficient operation of the evaporation department.

The reasons and circumstances causing inefficient operation of sugar mills with low quality of the products are considered. In particular, we identified inconsistencies in the sugar mill evaporation department operation, which result in an increase in the evaporation duration. And it in turn leads to an increase in the color of sugar. Thus, there is a clear correlation between the ensuring high quality of sugar and the evaporation process

duration, and therefore the efficiency of energy consumption at the plants. On the other hand energy efficiency causes the reduction of environmental impact as a result of energy savings and the reduction of greenhouse gas emissions. Effective regulation of the operation at all departments of a sugar plant through the improvement of automated process control systems can comprehensively optimize the production, which will improve the quality of the products to the international requirements, reduce energy consumption and minimize environmental impact.

The influence of technological (temperature, pressure, etc.), technical parameters of the evaporation (heating surface, volumes of evaporators, scale, etc.), and qualitative indicators (dry matter, alkalinity, quality, turbidity, colour, etc.) on the quality of the products are shown. It is analyzed how the qualitative and quantitative indicators of the evaporation affect the quality of the products.

Using the data about the operation of Ukrainian sugar mills in recent years where engineering services had been concerned with obtaining high quality products, we determined the most effective ways to improve the quality of sugar. These main ways are: optimization of the operating conditions at juice evaporators; the use of modern chemical additives to sugar solutions (juice and syrup); the use of automated process control systems based on the effective mathematical and software.

The comparative analysis of the impact of technological measures to improve the quality indicators that were monitored at the inlet and outlet of the evaporators has become the basis for evaluating the cost-effectiveness of the proposed ways. The level of operating cost reduction for energy resources has been determined under the condition of sugar juice evaporation optimization to maintain the minimum required duration of the technological stage. Under these conditions, there is a significant decrease in the increase in the colour of the juice. We proposed a set of measures to optimize the process of sugar producing with qualitative parameters which are competitive at the sugar market.

Keywords: *quality indicators, colour, ash content, evaporator, technological process, temperature, cost, automated process control system.*

Бібліографічне посилання / Bibliography citation: Harvard

Liashenko, S. *et al.* (2019) 'Reasoning the use of qualitative indicators in energy efficient and environmental friendly automated process control systems of sugar production', *Engineering of nature management*, (3(13)), pp. 47 - 56.

Подано до редакції / Received: 28.10.2019