

Мехатроніка і цифрові технології природокористування
 Mechatronics and digital technology of nature management



УДК 631.3; 519.71

[https://doi.org/10.37700/enm.2020.2\(16\).128-136](https://doi.org/10.37700/enm.2020.2(16).128-136)

Оптимізація екологічних та якісних показників роботи
 цукрових заводів шляхом удосконалення
 математичного забезпечення АСУТП цукрового виробництва

С.О. Ляшенко¹, А.М. Фесенко², В.В. Юрченко³, О.В. Кісь⁴

^{1, 2} Харківський національний технічний університет сільського господарства
 ім. П.Василенка (м.Харків, Україна)

³ Харківська державна зооветеринарна академія (м.Харків, Україна)

⁴ Харківський національний університет радіоелектроніки (м.Харків, Україна)
 email: ¹ lyashenkosa05@ukr.net; ² alla.ecology3006@gmail.com; ³ viktoriyabir@ukr.net;
 ORCID: ¹ 0000-0001-8304-9309, ² 0000-0002-3950-3604, ³ 0000-0002-7902-3664

Метою дослідження є оптимізація екологічних показників і показників енергоефективності цукрового виробництва при забезпеченні випуску продукції високої якості в процесі випарювання соку у багатокорпусній випарній установці цукрового заводу за рахунок удосконалення та впровадження математичного забезпечення в АСУТП.

На основі даних про споживання енергії та пари проведено аналіз ефективності цукрового виробництва в цілому і по кожній виробничій ділянці окремо. Розрахунковими методами на основі нормативних інструментів для розрахунку базових, проектних викидів в результаті різних процесів визначено вплив найбільш енерговитратних ділянок цукрового заводу, що впливають на стан довкілля. Шляхом диференціювання якісної моделі у розрахунку матеріального балансу виробничого процесу встановлено вплив впровадження удосконаленого математичного забезпечення АСУТП, в якому враховуються показники якості соку і екологічності, на енергоефективність процесу випарювання.

Встановлено що основними складовими впливу на довкілля підприємств цукрової галузі є викиди в атмосферу. Викиди цукрових заводів містять як токсичні речовини (монооксид Карбону, оксиди Нітрогену, Сульфур та тверді частки), так і парникові гази, що спричиняють зміни клімату (вуглекислий газ, монооксид Нітрогену і метан). Скиди цукрових заводів у водні об'єкти небезпечні високим вмістом органіки (за БПК) і можуть спричинити евтрофікацію водойм. З метою екологічного обґрунтування застосування обраних показників у математичному забезпеченні автоматизованих систем управління цукрового виробництва проведено визначення обсягів утворення парникових газів у результаті використання електроенергії, виробленої єдиною енергосистемою України, природного газу, декарбонізації вапняку та зберігання жому. Визначено, що впровадження ефективних систем автоматизації технологічних процесів цукрового виробництва здатне скоротити споживання природного газу (до 17%) та електроенергії (близько 4%). Визначено вплив застосування показників якості у математичному забезпеченні АСУТП на оптимізацію процесу випарювання.

Наслідками досліджень є розробка математичної моделі технологічного процесу випарювання цукрового соку, яка б доповнювала рівняння матеріального балансу врахуванням показника кольоровості соку. Іншим наслідком оптимізації процесу випарювання є зменшення витрати енергоносіїв, що покращує екологічні показники роботи цукрового заводу. Практична цінність дослідження полягає у вирішенні як нагальних проблем економії енергоносіїв в умовах постійного зростання їхньої вартості, так і забезпечення отримання якісної продукції та виконання екологічних вимог як в межах України, так і міжнародних зобов'язань країни. Застосовано нові підходи до розробки математичного забезпечення АСУТП випарного відділення цукрового заводу на основі нейромережевого підходу з урахуванням якості соку для зниження енергоемності процесу і мінімізації викидів парникових газів.

Ключові слова: автоматизовані системи управління (АСУ), показники якості, цукрове виробництво, оцінка впливу на довкілля, енергоресурси, питомі викиди в атмосферу, парникові гази.

1. Вступ. Законодавча база України поступово наближається до законодавчої бази Європейського Союзу. Підписання і ратифікація

парламентом України Паризької угоди щодо протидії змінам клімату наприкінці 2015 року змушує Україну активніше впроваджувати заходи з

підвищення енергоефективності виробництва з метою зменшення викидів парникових газів та формувати систему моніторингу цих викидів.

Важливим етапом реалізації Паризької угоди є постійний контроль і мінімізація викидів парникових газів у межах виробничих циклів і об'єктів теплоенергетики. Відповідно, еколого-економічна оцінка основних галузей економіки може розглядатися як важливий елемент державної політики України [1,2].

Однією з стратегічних галузей сільськогосподарського комплексу є цукрове виробництво. Актуальним питанням на цукрових заводах є отримання якісної конкурентоспроможної продукції з мінімальними енерговитратами та собівартістю і, відповідно, мінімальним забрудненням навколишнього середовища. Оптимізація технологічного процесу, пов'язана з підвищенням якості цукрової продукції, передбачає зменшення тривалості процесу випарювання соку, що мінімізує і споживання енергії заводом. Важливим наслідком даної оптимізації є зниження екологічного сліду виробництва цукру. Екологічний слід полягає у поєднанні декількох складових впливу на довкілля. Цукрове виробництво здійснює вплив на атмосферне повітря через викиди шкідливих речовин, на водні об'єкти шляхом скидів стічних вод з високим рівнем БПК, а також на ґрунт, водні джерела і повітря в результаті утворення твердих відходів виробництва з високим вмістом органічних сполук.

2. Аналіз стану справ та постановка проблеми. Важливим завданням для цукрового виробництва є застосування заходів, що мінімізують виділення парникових газів. Вони утворюються при використанні викопних видів палива (вугілля або природного газу) для високотемпературних виробничих процесів та зберіганням жому [3].

Вирішення цих проблем потребує комплексного підходу, що включає контроль якості сировини для виробництва, використання енергозберігаючого обладнання, теплоізоляцію, утилізацію відходів і т.д. Крім цього, важливим елементом системи підвищення енергоефективності може бути вдосконалення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП), які б використовували більш ефективне математичне забезпечення, побудоване на використанні дискретно-часових моделей штучного нейрона, з урахуванням впливів різних екологічних і технологічних факторів та показників процесу випарювання для оптимізації технологічних процесів [4,5].

Отже, підприємства цукрової галузі можуть бути потужними джерелами забруднення середовища у місці їхнього розташування. Показники виробництва цукру за останні два роки свідчать про стабільність виробництва і залишаються на сталому рівні (2,0-2,05 млн. т.), не дивлячись на деяке скорочення посівних площ цукрового буряку через зниження ціни на цукор на світовому ринку [6,7].

Цукрові заводи є потужними споживачами теплової і електроенергії, води та джерелом утворення відходів біологічного походження. Конкуренція у цій сфері виробництва потребує удосконалення вітчизняного цукрового виробництва. Підвищити ефективність виробництва можна шляхом максимального збільшення виходу якісної продукції з одночасною економією енергоресурсів та раціонального використання сировини.

Цукрове виробництво характеризується такими показниками, як продуктивність та енергоефективність виробництва, якість продукції. Оптимізація цих показників забезпечується застосуванням ефективних технологій виробництва, обладнання, комп'ютеризацією та безпечною організацією цукрового виробництва. На цукрових заводах, що випускають конкурентоспроможну продукцію, застосовують технологічні процеси зі складними комплексами енергетичних і матеріальних потоків і жорсткими вимогами до якості продукції, безпеки виробничих процесів та екологічної складової виробництва.

Цукровий завод, що є складовою цукрового виробництва, складається з таких головних автоматизованих відділень як дифузійне, сокоочисне, випарне та кристалізаційне. Основним відділенням, що найбільше впливає на енергоефективність виробництва та якість продукції є випарне. Воно приймає, переробляє та розподіляє пар по інших відділеннях. Технологічний процес випарювання, що здійснюється у багатокорпусних випарних установках (БВУ), здійснює випарювання соку до заданих показників (якісних та кількісних). Таким чином, однією з основних задач БВУ є забезпечення на виході з установки фіксованого концентрованого розчину показниками, необхідними для отримання якісної продукції. Невідповідність якісних показників отриманого розчину спричиняє додаткові витрати пари [8].

З метою підвищення ефективності автоматизованих виробничих процесів необхідно удосконалити математичне забезпечення АСУТП, яка базується на використанні мікропроцесорної техніки і реалізує інтелектуальні і комп'ютерно-інтегровані системи управління. АСУТП на цукрових заводах, в основному, характеризуються наявністю розрізнених, обмежених і різномірних автоматизованих і інформаційних систем (АСУТП, лабораторні системи, системи обліку енергоносіїв тощо). Таким чином, робота АСУ БВУ скерована на підтримку необхідного технологічного режиму випарювання, з фіксованими розрахованими значеннями показників ТП, стабілізацію рівнів розчину в апаратах, отримання сиропу з відповідними якісними показниками та забезпечення користувачів парою [9].

Усі ці аспекти є важливими чинниками не лише для автоматизації процесу випарювання, а й з метою екологізації виробництва цукру. В даний

час в Україні не сформована комплексна система державних вимог щодо скорочення використання енергоресурсів шляхом впровадження заходів з енергозбереження у цукровій галузі. Розробка та здійснення заходів повністю залежить від ініціативи і рішень, прийнятих керівництвом підприємств та компаній цукрового виробництва, а також на основі їх фінансового становища. Але діючий механізм формування розміру екологічних податків за викиди в атмосферу, скиди у водні об'єкти та розміщення твердих відходів можна розглядати як початковий щабель державної системи примусу до мінімізації впливу виробничих об'єктів на довкілля. У той же час, заходи з модернізації обладнання, спрямовані на скорочення використання енергетичних ресурсів, відповідають пріоритетам, встановленим Урядом в Енергетичній стратегії України на період до 2030 року. Закон України № 2059-VIII Про оцінку впливу на довкілля, прийнятий 23 травня 2017 року, відносить цукрові заводи до другої категорії видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля та підлягають процедурі Оцінки впливу на довкілля. Проведення такої оцінки має на меті не лише відслідковувати можливі екологічні наслідки діяльності, а й розробку системи заходів щодо мінімізації впливу на довкілля [10].

Отже, основні зусилля необхідно скеровувати на розробку ефективних моделей, алгоритмів та критеріїв, що характеризують ТП. У математичному забезпеченні необхідно використовувати значення якісних та екологічних показників, які необхідно буде відобразити у вигляді оптимізаційних моделей технологічного процесу [11, 12, 13].

3. Ціль і задачі. Метою дослідження є оптимізація екологічних показників і показників енергоефективності цукрового виробництва при забезпеченні випуску продукції високої якості в процесі випарювання соку у багатокорпусній випарній установці цукрового заводу за рахунок удосконалення та впровадження математичного забезпечення в АСУТП.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі: аналіз та обґрунтування застосування сучасних підходів, побудованих на екологічних та принципах енергоефективності з метою отримання цукру, що буде мати відповідні показники якості; визначення основних екологічних показників для обґрунтування ефективності технологічного процесу випарювання, що одночасно впливають і на отримання якісної продукції, з метою використання у математичному забезпеченні АСУТП випарного відділення.

4. Визначення ефективності застосування якісного критерію для застосування в АСУТП випарного відділення цукрового заводу.

Оптимізація енергоефективності цукрового заводу, яка також забезпечить скорочення вики-

дів парникових газів має базуватись на такому математичному забезпеченні, яке буде використовувати сучасні критерії якості та екологічності. При цьому потрібні нові критерії: кольоровості соку (для врахування якості сировини) та обмежувальний екологічний фактор питомих викидів парникових газів при побудові дискретно-часової моделі штучного нейрону. Такі математичні моделі та відповідні інженерні розрахунки більш точно відображували б реальний процес випарювання. При цьому необхідно приділити увагу і збуренням, що виникають при випарюванні і змінюють реальні значення показників даного процесу.

Моделювання базується на використанні основних закономірностей визначення кольоровості соку та фізичних закономірностей процесу випарювання. Основою оптимізації процесу випарювання соку є застосування матеріального та теплового балансів, що має вигляд [8, 9]

$$G_{\Pi} = G_{\kappa} + W, \quad (1)$$

де G_{Π} – продуктивність по початковому розчину, кг/год; G_{κ} – продуктивність по кінцевому розчину, кг/год; W – загальна кількість випареної води, кг/год.

Як показують останні дослідження щодо визначення впливу різного типу збурень при випарюванні на якість продукції якісним показником за нормативними вимогами є кольоровість. Він визначається з виразу [14, 15]

$$K_{\kappa} = \frac{K_{\Pi}}{1 - \frac{W_3}{G_{\Pi}}}. \quad (2)$$

де K_{Π} та K_{κ} – початкова та кінцева концентрація випарюваного розчину, од. ICUMSA. W_3 – загальна кількість води, що випаровується за нормативної кольоровості, яка б забезпечувала отримання якісного продукту.

Для визначення впливу різного виду збурень на якісних показник необхідно продиференціювати показник якості по W_3/G_{Π} і отримаємо чутливість кольоровості в розчині (відношення кількості грючої пари до продуктивності), що знаходиться у БВУ. Даний показник можна привести до наступного вигляду

$$\frac{dK_{\kappa}}{d\left(\frac{W_3}{G_{\Pi}}\right)} = \frac{K_{\Pi}}{\left(1 - \frac{W_3}{G_{\Pi}}\right)^2} = \frac{K_{\kappa}^2}{K_{\Pi}}. \quad (3)$$

Відображення диференціалу через кольоровість дає можливість більш точно показати чутливість до різного виду збурень при випарюванні. У результаті вираз (3) прийме вигляд [15]

$$\frac{dK_{\kappa}}{d\left(\frac{W_3}{G_{\Pi}}\right)/\left(\frac{W_3}{G_{\Pi}}\right)} = \frac{K_{\kappa}(K_{\kappa} - K_{\Pi})}{K_{\Pi}}. \quad (4)$$

5. Екологічні складові ефективності цукрового виробництва. Вдосконалення технологіч-

ного процесу випарювання, яке зменшує споживання енергії, підвищує і екологічну ефективність виробництва. Як головний критерій обрано викиди парникових газів в результаті використання вугілля або природного газу.

Екологічна ефективність цукрового виробництва може полягати у скороченні викидів: діоксиду Карбону від спалювання природного газу або вугілля; діоксиду Карбону, пов'язаного зі споживанням електричної енергії із єдиної енергосистеми України та розкладанням вапняку в рамках процесу декарбонізації; метану, спричиненого розкладанням жому на полігонах [3].

Оцінка була здійснена на основі усереднених даних показників Кириківського цукрового заводу по наступних складових [3]:

1. Викиди парникових газів, пов'язані зі споживанням електричної енергії, розраховані згідно з підходом, описаним в Інструменті для розрахунку базових, проектних витоків та/або викидів внаслідок споживання електроенергії [16, 17, 18, 19]. Обсяги виділення вуглекислого газу в результаті використання електроенергії знаходять з виразу

$$BE_{ELEC,y,i} = EC_{BJ,y,i} \cdot EF_{CO2,ELEC,y} \quad (5)$$

де $BE_{ELEC,y,i}$ - викиди парникових газів за базовим сценарієм, пов'язані зі споживанням електричної енергії в рік y заводом i , т CO_2e ; $EC_{BJ,y,i}$ - кількість електричної енергії, спожитої з ОЕС України за рік y цукровим заводом i , МВт·год; $EF_{CO2,ELEC,y}$ - коефіцієнт непрямих викидів парникових газів при споживанні електричної енергії з ОЕС України за рік y , т CO_2e /МВт·год; i - позначення заводу, для якого виконується розрахунок; y – рік, для якого проводяться розрахунки.

2. Викиди парникових газів, пов'язані зі споживанням природного газу, розраховані згідно з підходом, описаним у документі Інструмент для розрахунку проектних викидів або витоків CO_2 від спалювання викопного палива [16, 17, 18, 19]. Обсяги вуглекислого газу визначаємо з формули

$$BE_{NG,y,i} = FC_{BJ,NJ,y,i} \cdot NCV_{NG,y,i} \times EF_{CO2,NG} - EOUT_{y,i} \cdot CEF_{CO2,ELEC,y,i} \quad (6)$$

де $BE_{NG,y,i}$ - викиди парникових газів, пов'язані зі спаленням природного газу в рік y заводом i , т CO_2e ; $FC_{BJ,NJ,y,i}$ - кількість природного газу, спаленого за рік y заводом i , тис.м³; $NCV_{NG,y,i}$ - нижча теплотворна здатність природного газу, спаленого за рік y заводом i , ГДж/тис.м³; $EF_{CO2,NG}$ - коефіцієнт викидів парникових газів для природного газу, т CO_2e /ГДж; $EOUT_{y,i}$ - кількість електричної енергії, відпущеної споживачам на сторону за рік y заводом i , МВт·год; $CEF_{CO2,ELEC,y,i}$ - коефіцієнт викидів парникових газів, пов'язаних з виробництвом електричної енергії цукровим заводом i за рік y , т CO_2e /МВт·год.

3. Викиди в результаті декарбонізації вапняку були розраховані на основі МГЕЗК [17].

Обсяги утвореного вуглекислого газу знаходимо відповідно до формули:

$$BE_{Calc,y,i} = P_{y,i} \cdot SLC_{BL,i} \cdot \frac{SPB_{BL,y}}{SPB_{y,i}} \quad (7)$$

де $BE_{Calc,y,i}$ - викиди парникових газів, пов'язані із декарбонізацією вапняку на заводі i за рік y , т CO_2e ; $P_{y,i}$ - обсяги виробництва цукру цукровим заводом i за рік y , т; $SLC_{BL,i}$ - питомі викиди двоокису Карбону від декарбонізації вапняку заводом i в базовий період, т CO_2e /т цукру; $SPB_{BL,y}$ - середня цукристість буряків, перероблених цукровим заводом i в базовому періоді, %; $SPB_{y,i}$ - цукристість буряків, перероблених за рік y на заводі i , %.

Результати досліджень. Таким чином, з наведених розрахункових методик отримуємо наступний рівень скорочення викидів парникових газів, передусім вуглекислого газу, за умови удосконалення енергоефективності технологічного процесу, наведений у таблиці 1:

Таблиця 1. Скорочення викидів парникових газів у результаті удосконалення та впровадження математичного забезпечення в АСУТП [3]

Напрямок оптимізації технологічного процесу	Зменшення викидів вуглекислого газу, т CO_2e	Зменшення викидів метану, т CO_2e
Зменшення використання електричної енергії, $\Delta BE_{ELEC,y,i}$	1080,4	
Зменшення використання природного газу для виробничих потреб, $\Delta BE_{NG,y,i}$	2842,45	
Зменшення викидів вуглекислого газу в процесі декарбонізації вапняку, $\Delta BE_{Calc,y,i}$	481,94	
Переробка жому, $\Delta BE_{CHA,y,i}$		66 999,02

Отже, сумарне зменшення викидів вуглекислого газу в процесі підвищення енергоефективності складає 4404,79 т CO_2 [3].

В цілому, очікуване зменшення використання природного газу в результаті ефективної автоматизації виробництва становить до 17%.

За наведених показників підвищення екологічності цукрового виробництва ми підвищуємо і конкурентоспроможність продукції за рахунок підвищення її якості. Зменшуючи тривалість процесу випарювання, забезпечуємо досягнення нормативних показників кольоровості цукру (табл. 2).

Таблиця 2. Усереднені значення тривалості випарювання та кольоровості у БВУ цукрових заводів з продуктивністю цукру 6000 т/добу та 3000 т/добу [15]

Вид режиму випарювання	БВУ на заводі з продуктивністю 6000 т/добу			БВУ на заводі з продуктивністю 3000 т/добу		
	Кольоровість сиропу до ВУ, од. ICUMSA	Термін (час) випарювання, хв.	Кольоровість сиропу після ВУ, од. ICUMSA	Кольоровість сиропу до ВУ, од. ICUMSA	Термін (час) випарювання, хв.	Кольоровість сиропу після ВУ, од. ICUMSA
Нормативний (розрахунковий)	210-250	43-57	250-300	220-260	50-60	250-300
Фактичний	200-350	82-104	300-550	280-450	101-118	320-700

Підставивши в отриману формулу (4) значення кольоровості сиропу, що змінювався впродовж процесу випарювання, (табл. 2), визначаємо, що зміна подачі пари на БВУ на 1%, забезпечує відхилення кольоровості продукції на 1,1-1,5% від розрахункових значень.

На основі проведеного аналізу було виявлено наступні види можливого впливу виробництва цукру на довкілля:

1. *Вплив на водне середовище.* Існуючі технології з виробництва цукру передбачають скидання стічних вод на біологічні очисні споруди із обов'язковим хімічним контролем у системі АСУТП цукрового заводу.

2. *Вплив на повітряне середовище.* Впровадження заходів з автоматизації виробництва створює також позитивний вплив і на повітряне середовище шляхом: зменшення викидів NOx, SOx, CO та твердих часток, зменшення викидів вуглекислого газу, зменшення викидів метану.

3. *Утворення відходів, їх переробка та поводження.* Тверді відходи у вигляді жому доцільно переробляти у біогазових установках з метою мінімізації виділення метану. Також у процесі виробництва утворення відходів відбувається після демонтажу застарілого обладнання, труб та ін. Також утворюються будівельні відходи внаслідок демонтажу котлів та будівництва котельних та ін.

Для оцінки впливу на довкілля та використання енергоефективних технологій на цукрових підприємствах України в системі АСУТП необхідно мати наступну інформацію та проводити розрахунки по визначенню:

1. *Обсягу викидів парникових газів, пов'язаних зі споживанням електричної енергії цукровими заводами.* Всі представлені величини визначаються на основі статистичних даних підприємства і загально прийнятих показників викидів.

2. *Порядок поводження з відходами.* Для організації та проведення роботи по управлінню відходами наказом закріплюються особи, відповідальні за управління відходами. На кожному підприємстві паспортизації підлягають усі без винятку відходи, для яких встановлюють дозволи на здійснення операцій щодо поводження з ними (зокрема, на утворення та розміщення). До утилізації відходів залучують організації, які мають ліцензії на виконання даних робіт.

3. *Обсяги споживання енергоресурсів, виробництва цукру, обсяги декарбонізації вапняку та його склад.* До необхідної інформації відносять: обсяги виробленого цукру, кількість спожитої електричної енергії з ОЕС України, кількість електричної енергії, відпущеної стороннім споживачам, кількість спаленого природного газу, кількість спаленого вугілля, цукристість перероблених буряків, кількість декарбонізованого вапняку, вміст CaCO₃ у декарбонізованому вапняку, вміст MgCO₃ у декарбонізованому вапняку.

Проведення такого аналізу впливу цукрового заводу на довкілля можна розглядати як один з етапів дематеріалізації виробництва та підвищення ефективності використання джерел енергії в системі АСУТП, що, в свою чергу, забезпечує не лише екологічність, а й економічність виробництва.

7. Висновки. Цукрове виробництво є потужним джерелом впливу на довкілля. Встановлено що основними складовими впливу на довкілля підприємств цукрової галузі є викиди в атмосферу. Викиди цукрових заводів містять як токсичні речовини (монооксид Карбону, оксиди Нітрогену, Сульфуру та тверді частки), так і парникові гази, що спричиняють зміни клімату (вуглекислий газ, монооксид Нітрогену і метан). Скиди цукрових заводів у водні об'єкти небезпечні високим вмістом органіки (за БПК) і можуть спричиняти евтрофікацію водойм.

Введення в математичне забезпечення АСУТП, побудоване на застосуванні нейроматематичних підходів, при моделюванні процесу випарювання, екологічних показників та показників якості цукрового виробництва дасть можливість зменшити споживання електроенергії з об'єднаної енергосистеми України (близько 4%), а також природного газу на технологічні потреби та декарбонізацію вапняку (до 17%). Визначено, що зміна подачі пари на ВУ на 1%, забезпечує відхилення кольоровості продукції на 1,1-1,5% від розрахункових значень.

Заходи з енергоефективності, в свою чергу, здатні зменшити викиди вуглекислого газу в межах 4400 т CO₂. Додаткове переобладнання виробництва, направлене на утилізацію жому шляхом сушіння і гранулювання або біогазового бродиння, додатково знизить викиди метану в атмосферу протягом сезону роботи майже на 67 тис. т CO₂ та дає змогу зменшити розмір екологічного податку.

Застосування сучасних енерго- і ресурсозбеігаючих технологій, керованих АСУ, є дієвим шляхом як для вирішення питань зниження собівартості та підвищення конкурентоспроможності цукрової продукції, а також повного використання сировини і ефективної організації робочого процесу, так і для зменшення впливу цих виробництв на довкілля.

Література

1. Паризька угода (Угоду ратифіковано Законом № 1469-VIII від 14.07.2016). Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/995_l61

2. Юрченко В. В. (2011). Важность понимания проблемы парникового эффекта для профессиональной деятельности специалиста сельскохозяйственной сферы. Бюллетень научных работ БелГСХА. 28. 91-94.

3. Ляшенко С.О., Фесенко А.М., Ляшенко О.С., Юрченко В.В. (2018). Впровадження АСУТП цукрового виробництва в Україні: екологічні аспекти. Інженерія природокористування. 2(10) 31-40.

4. Castaldini S. (2007). Control system Pcs7 and M.I.S. together for the complete automation of the process in the sugar beet factory of Co.Pro.B. Computer Aided Chemical Engineering. 24. 841-846. doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80163-5

5. Rajaeifar M., Hemayati S., Tabatabaei M., Aghbashlo M., Mahmoudi S. (2019). A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 103. 423-442.

6. 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-yevropejskih>

7. Власенко Л. О. Ладанюк А. П. (2010). Підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок використання методів діагностики та прогнозування. Восточно-Европейский журнал передових технологій. 2/3 (44). 57-62. Режим доступу: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/1078>

8. Штангеев К. О. (2015). Випарні установки та теплові схеми цукрових заводів. 57.

9. В. Ю. Белоусов, А. Ф. Литвинов, О. А. Потопов, Ю. Н. Горчинский (2002). Стратегия автоматизации производства сахара. Сахар. 1. 40-42.

10. Фесенко А.М., Панкова О.В., Гутянський Р.А., Цехмейструк М.Г., Безпалько В.В. (2016) Оцінка впливу сільськогосподарського підприємства на якість повітря. Інженерія природокористування. 1 (5). 131-135

11. Опорний конспект лекцій з дисципліни «Теорія прийняття рішень». Режим доступу: <http://dSPACE.tneu.edu.ua/retrieve/52501/lek.pdf>.

12. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління: підручник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» (2017) / Ю.М. Ковриго, О.В. Степанець, Т.Г. Баган, О.С. Бунке; КПІ ім. Ігоря Сікорського. 155. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23117/1/Suchasna-teoriia-upravlinnia_Kovrygo_et.al.pdf

13. Ляшенко С.О. (2014). Синтез нейросетевых подходов управления сложными динамическими процессами в сахарном производстве. Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 61(1103). 30-39.

14. Ladanyuk A., Kyshenko V., Shkolna O. (2015). Evaporator control under conditions of uncertainty: intellectualization of applied functions. Scientific works of The National University of Food Technologies. 21. 67-15.

15. Serhii Liashenko, Alla Fesenko, Oleksii Liashenko, Victor Kis, Heorhii Ivashchenko. (2020) Determination and Estimation of the Influence of different Types of Disturbances on the Thick Juice Colour to Apply in Automated Process Control Systems of the Sugar Mill Evaporator. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020. 5. 2133-2139. doi.org/10.30534/ijeter/2020/107852020

16. Інструмент для розрахунку проектних викидів або витоків CO₂ від спалювання вихопного палива (Tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion), Версії 02. Режим доступу: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-03-v2.pdf>

17. Керівництво МГЕЗК з національних інвентаризацій парникових газів 2006 року. Режим доступу: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf

18. 1996 МГЕЗК Керівні принципи національних інвентаризацій парникових газів (1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories); Режим доступу: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6a.htm>

19. 2006 МГЕЗК Керівні принципи національних інвентаризацій парникових газів (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories); Режим доступу: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf

References

1. Paris agreement (the agreement ratified by the law № 1469-VIII from 14.07.2016). Available at: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/995_l61

2. Yurchenko V. (2011). Vaznost ponimaniya problemy parnikovogo effekta dlya professionalnoy

deyatelnosti specialista selckohozaystvennoy sphery. Buletin nauchnykh robot Belcha. 28. 91-94.

3. Lyashenko S.O., Fesenko A.M, Lyashenko O.S., Yurchenko V.V. (2018). Vprovadzhennya ASUTP czukrovogo vy`robny`chtva v Ukrayini: ekologichni aspekty`. Inzheneriya pry`rodokory`stvannya. 2(10) 31-40.

4. Castaldini S. (2007). Control system Pcs7 and M.I.S. together for the complete automation of the process in the sugar beet factory of Co.Pro.B. Computer Aided Chemical Engineering. 24. 841-846. doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80163-5

5. Rajaeifar M., Hemayati S., Tabatabaei M., Aghbashlo M., Mahmoudi S. (2019). A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 103. 423-442.

6. Vymogy do vyrobnychtva czukru pryve-deno u vidpovidnist` do yevropejskyx. Uryadovyj portal. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/vimogido-virobnictva-cukru-privedeno-u-vidpovidnist-do-yevropejskih>

7. Vlasenko L. O. Ladanyuk A. P. (2010). Pidvyshhennya efektyvnosti funkcionuvannya tehnologichnogo kompleksu czukrovogo zavodu za raxunok vykorystannya metodiv diagnostyky ta prognozuvannya. Vostochno-Evropejskyj zhurnalпередових технологій. 2/3 (44). 57-62. Available at: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/1078>

8. Shtanghejev K. (2015). Vyparni ustanovky ta teplovi skhemy cukrovkykh zavodiv. Kyiv, 57.

9. V. Yu. Belousov, A. F. Lytvynov, O. A. Potapov, Yu. N. Gorchynskyj (2002). Strategyya avtomatyzacyi proyzvodstva saxara. Saxar. 1. 40-42.

10. Fesenko A.M., Pankova O.V., Gutynskyj R.A., Cexmejstruk M.G., Bezpalko V.V. (2016) Ocinka vplyvu silskogospodarskogo pidpryyemstva na yakist povitrya. Inzheneriya pry`rodokory`stvannya. 1 (5). 131-135

11. Opornyj konspekt lekcij z dyscypliny «Teoriya pryjnyattya rishen». Available at: <http://dSPACE.tneu.edu.ua/retrieve/52501/lek.pdf>.

12. Suchasna teoriya upravlinnnya. Chastyna 2. Prykladni aspekty suchasnoyi teorii upravlinnnya:

pidruchnyk dlya stud. specialnosti 151 «Avtomatyzaciya ta kompyuterno-integrovani tehnologiyi», specializacij «Avtomatyzovane upravlinnnya tehnologichnymy procesamy», «Kompyuterno-integrovani texno-logichni procesy ta vyrobny`chtva» (2017) / Yu. M. Kovry`go, O. V. Stepa-necz`, T. G. Bagan, O. S. Bunke; KPI im. Igorya Sikors`kogo. 155. Available at: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23117/1/Suchasna-teoriia-upravlinnna_Kovrygo_et.al.pdf

13. Lyashenko S.O. (2014). Syntez nejrosetevykh podxodov upravlenyya slozhnymy dy`namycheskymy processamy v sa-xarnom proyzvodstve. Visnyk NTU «XPI». Zbirnyk naukovykh prac. Seriya: Systemny`j analiz, upravlinnnya ta in-formacijni tehnologiyi. 61(1103). 30-39.

14. Ladanyuk A., Kyshenko V., Shkolna O. (2015). Evaporator control under conditions of uncertainty: intellectualization of applied functions. Scientific works of The National University of Food Technologies. 21. 67-15.

15. Serhii Liashenko, Alla Fesenko, Oleksii Liashenko, Victor Kis, Heorhii Ivashchenko. (2020) Determination and Estimation of the Influence of different Types of Disturbances on the Thick Juice Colour to Apply in Automated Process Control Systems of the Sugar Mill Evaporator. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020. 5. 2133-2139. doi.org/10.30534/ijeter/2020/107852020

16. Tool to calculate project or leakage CO2 emissions from fossil fuel combustion, Version 02. Available at: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-03-v2.pdf>

17. Kerivnychtvo MGEZK z nacionalnyx inventaryzacij parnykovyx gaziv 2006 roku. Available at: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf

18. 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6a.htm>

19. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available at: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf

Аннотация

Оптимизация экологических и качественных показателей работы сахарных заводов путем совершенствования математического обеспечения АСУТП сахарного производства

С.О. Ляшенко, А.М. Фесенко, В.В. Юрченко, О.В. Кись

Оптимизация экологических показателей и показателей энергоэффективности сахарного производства в условиях обеспечения выпуска продукции высокого качества при выпаривании сока в многокорпусной выпарной установке за счет усовершенствования и внедрения математического обеспечения в АСУТП.

На основе данных о потреблении энергии и пара проведен анализ эффективности сахарного производства в целом и по каждому производственному участку отдельно. Расчетными методами на основе нормативных инструментов для расчета базовых, проектных выбросов в результате различных

процессов определено влияние наиболее энергозатратных участков сахарного завода, влияющих на окружающую среду. Путем дифференцирования расчета материального баланса производственного процесса установлено влияние внедрения усовершенствованного математического обеспечения АСУТП, в котором учитываются показатели качества сока, на энергоэффективность процесса выпаривания. В статье рассматривается влияние на окружающую среду производства сахара. Рассмотрены особенности работы сахарных заводов Украины и мира. Проведен анализ эффективности сахарного производства в целом и по каждому производственному участку отдельно. Определено влияние наиболее энергоемких участков сахарного завода, которые влияют на окружающую среду. Для повышения конкурентоспособности сахарного производства эффективность работы предприятия должна определяться не только из соображений себестоимости конечной продукции, но и с помощью комплексной стратегической оценки энергоэффективности технологического процесса и минимизации вредного влияния на экологическую ситуацию. Важным элементом развития современных технологий является разработка таких подходов, которые направлены на оптимизацию использования сырья, воды и энергии и получение при этом качественной конкурентоспособной продукции. Эффективное использование энергоресурсов, пара, пресной воды возможно путем внедрения современных АСУТП на сахарных заводах Украины, где будет использоваться математическое обеспечение, построенное на интеллектуальных подходах. Для получения эффективного математического обеспечения выделены факторы, влияющие на процесс производства и алгоритмы работы АСУТП.

Определены экологические показатели и показатели качества сахарной продукции, которые необходимо учитывать при построении моделей технологического процесса. Установлено, что основными составляющими влияния на среду предприятий сахарной отрасли являются выбросы в атмосферу. Выбросы сахарных заводов содержат как токсичные вещества (оксид углерода, оксиды азота и серы, твердые частицы), так и парниковые газы, вызывающие изменения климата (углекислый газ, монооксид азота, метан). Сбросы сахарных заводов в водные объекты опасны высоким уровнем органики (по БПК) и могут вызывать эвтрофикацию водоемов.

С целью экологического обоснования применения выбранных показателей в математическом обеспечении автоматизированных систем сахарного производства проведено определение объемов образования парниковых газов в результате использования электроэнергии, выработанной единой энергосистемой Украины, природного газа, декарбонизации известняка и хранения жома. Определено, что внедрение эффективных систем автоматизации технологических процессов сахарного производства способно сократить потребление природного газа на 17% и электроэнергии на 4%. Применены новые подходы к разработке математического обеспечения АСУТП выпарного отделения сахарного завода с учетом качества сока для снижения энергоемкости процесса и минимизации выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: *автоматизированные системы управления (АСУ), показатели качества, сахарное производство, оценка влияния на среду, энергоресурсы, удельные выбросы в атмосферу, парниковые газы.*

Abstract

Optimization of environmental and qualitative indicators of work of sugar mills as a result of improvement of the mathematical support in the automated process control systems of sugar production

S.O. Liashenko, A.M Fesenko, V.V. Yurchenko, O.V. Kis

The article considers the environmental impact of sugar production. Features of Ukrainian and global sugar factory operation were described. Authors worked out the efficiency analysis of whole sugar production and each of the production stage. They determined the influence of the most energy-consuming stages of a sugar mill which affect the environment.

In order to increase the competitiveness of sugar production the effectiveness of a sugar mill operation should be determined not only for reasons of the final product cost but for the comprehensive strategic assessment of energy efficiency of the technological process and minimization of harmful effects on the environment. An important factor of the development of modern technologies is using approaches aimed at optimizing the use of raw materials, water and energy and obtaining high-quality competitive products. Efficient using of energy resources, steam, fresh water is possible through the application of modern automated process control systems at Ukrainian sugar factory where will use the mathematical support based on intellectual approaches. To obtain the effective mathematical support factors which influence the production process and the algorithms of the automated process control systems were identified.

The article determined environmental and qualitative factors of sugar that should be considered in the construction of the technological process models. As it is shown the main components of the environmental impact are emission into the atmosphere. Sugar mill emissions contain both toxic substances (Carbon monoxide, Nitrogen dioxides, Sulfur dioxides and Particulate matter) and greenhouse gases that cause climate change (Carbon dioxide, Nitrogen monoxide and methane). Sugar mill discharges into water objects are dangerous by the high contents of organic matter (according to the BOD₅) and may cause eutrophication. For the purpose of environmental substantiation of application of the selected indicators in mathematical support of automated systems of sugar production, we determined the greenhouse gas emissions as a result of the use of electricity generated by Ukraine's unified energy system, natural gas, calcination of limestone and storage of pulp.

It was determined that the implementation of effective automated control systems of sugar production is able to reduce natural gas consumption (up to 17%) and electricity (about 4%) and lower the emissions of carbon dioxide and methane, the main greenhouse gases, significantly. The influence of application of qualitative factors in the mathematical support of the automated process control systems on the optimization of evaporation was determined.

Keywords: *the automated process control systems, qualitative factors, sugar production, environmental assessment, energy resources, specific emissions into the atmosphere, greenhouse gases.*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Liashenko, S. O. et al. (2020) 'Optimization of environmental and qualitative indicators of work of sugar mills as a result of improvement of the mathematical support in the automated process control systems of sugar production', *Engineering of nature management*, (2(16), pp. 128 - 136.

Подано до редакції / Received: 12.08.2020