

Фесенко А. М.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
Імені Петра Василенка
E-mail: alla.ecology3006@gmail.com

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИПАРЮВАННЯ СОКУ
НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСК ТП ВИПАРНОГО ВІДДІЛЕННЯ
ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ**

УДК 664.1:681.5: 519.71

Фесенко А. М. «Визначення впливу випарювання соку на якісні показники для математичного забезпечення АСК ТП випарного відділення цукрового заводу»

В статті розглянуто ефективність роботи випарних відділень цукрових заводів в Україні, і, відповідно вплив роботи АСК ТП випарних відділень цукрових заводів, що забезпечують парою всі основні енергоефективні відділення цукрового виробництва.

Проведено аналіз проблем у цукровому виробництві і показників технологічного характеру у головному відділенні цукрового заводу - випарному. Визначено значний вплив роботи випарного відділення на енергоефективність роботи цукрового заводу та на якість цукрової продукції заводу. На основі проведеного аналізу було визначено вплив та залежність технологічних показників та показників тривалості процесу випарювання на якісні показники соку при випарюванні та на кінцевий результат цукрового виробництва - якість цукру.

Проведено аналіз проблеми функціонування автоматизованих систем управління технологічним процесом випарювання.

В роботі відображено шляхи вирішення проблем, що виникають при зниженні якості продукції, порушенні режиму випарювання і невідповідному реагуванні АСК ТП на ці збудження.

У зв'язку зі складністю процесу випарювання соку у (БВУ) багатокорпусній випарній установці і впливом різних показників процесу випарювання, як технологічного так і якісного характеру, визначено основні вектори процесу управління в АСК ТП випарювання соку.

Для вирішення цієї проблеми розглянуто та запропоновано більш сучасні критерії ефективності цукрового виробництва на основі нормативних вимог та застосуванні сучасних теоретичних підходів та практичного досвіду. Запропоновано впровадження та використання критеріїв якості для математичного забезпечення АСК випарним відділенням, що дасть можливість застосувати енергоефективні та конкурентно спроможні технології у виробництві цукрової продукції. Обґрунтована ефективність запропонованих критеріїв та математичних моделей, що враховують вплив збуджень, які мають місце в технологічному процесі, на тривалість випарювання.

Наведено алгоритм, що дає можливість застосувати запропоновані моделі у системі АСК ТП. На основі проведених досліджень та розрахунків є підстава стверджувати, що отримані залежності якісних показників від тривалості та технологічних показників випарювання можна використовувати у математичному забезпеченні системи автоматизованого керування випарюванням соку у БВУ цукрового заводу.

Ключові слова: математична модель, показники якості, багатокорпусна випарна установка, критерії ефективності, технологічний процес, автоматизована система керування.

Фесенко А. М. «Определение влияния выпаривания соку на качественные показатели для математического обеспечения АСУ ТП выпарного отделения сахарного завода»

В статье рассматривается эффективность работы выпарных отделений сахарных заводов Украины и, соответственно, влияние работы АСУ ТП на энергоэффективность всего завода, поскольку данное отделение обеспечивает паром все основные подразделения сахарного производства.

Был проведен анализ существующих в сахарном производстве проблем и показателей технологического характера в главном отделении сахарного завода – выпарном. Было установлено, что работа выпарного отделения оказывает значительное влияние на энергоэффективность завода в целом и на качество сахарной продукции завода. Основываясь на проведенном анализе, было установлено влияние и зависимость технологических показателей и показателей длительности процесса выпаривания на качественные показатели сока во время выпаривания и на конечный результат сахарного производства – качество сахара.

Проведен анализ проблем в функционировании автоматизированных систем управления технологическим процессом выпаривания.

В работе отражены пути решения проблем, что возникают при снижении качества продукции, нарушении режима выпаривания и несоответствующем реагировании АСУ ТП на эти возмущения.

В связи со сложностью процесса выпаривания соку в многокорпусной выпарной установке (МВУ) и влиянием разнообразных показателей процесса выпаривания, как технологического, так и качественного характера, определены основные векторы процесса управления в АСУ ТП выпаривания соку.

Для решения этой проблемы рассмотрены и предложены более современные критерии эффективности сахарного производства на основе нормативных требований и применении современных теоретических подходов и практического опыта. Предложено внедрить и использовать критерии качества для математического обеспечения АСУ выпарным отделением, что даст возможность применить энергоэффективные и конкурентоспособные технологии в производстве сахарной продукции. Обоснована эффективность предложенных критериев и математических моделей, которые учитывают влияние возмущений, формирующихся в технологическом процессе, на время выпаривания.

Разработан алгоритм, который дает возможность применить предложенные модели в АСУ ТП. На основе проведенных исследований и расчетов можно утверждать, что полученные зависимости качественных показателей от длительности выпаривания и его технологических показателей повышают точность математического обеспечения системы автоматизированного управления выпариванием сока в МВУ сахарного завода.

Ключевые слова: математическая модель, показатели качества, многокорпусная выпарная установка, критерии эффективности, технологический процесс, автоматизированная система управления.

A. Fesenko "Determination of the influence of the evaporation of juice on qualitative indicators for the mathematical support of Automated Process Control Systems of the Sugar Mill Evaporator"

The article considers the effectiveness of Ukrainian sugar mill evaporator operation and the influence of their Automated Process Control Systems (APCS) on energy effectiveness of the whole factory because this department provides all main sections of sugar production with steam.

Author worked out the analysis of current issues in sugar production and technological indicators in the main department of the sugar mill, evaporation department. It was determined the evaporation department operation considerably affects both the energy effectiveness of the factory and the quality of sugar products. Based on the analysis, the influence and dependence of technological indicators and indicators of the duration of the evaporation process on the qualitative indicators of juice during evaporation and on the quality of sugar were determined.

The analysis of problems in functioning automated process control systems of evaporation process was conducted.

The work shows the ways of solving problems that appear while decreasing the quality of products, the evaporation mode is violated and the inappropriate response of the APCS to these disturbances.

Because of complexity of the juice evaporation in the multiple evaporation station (MES) and influence of various indicators of the evaporation both technological and qualitative nature, the main vectors of the management in automated process control systems of the juice evaporation were determined.

To solve this issue, more modern criteria for the sugar production effectiveness are considered, and proposed on the basis of regulatory requirements and the application of modern the oretical approaches and practical experience. It is proposed to apply and use qualitative criteria for the mathematical support of the APCS at the evaporation department, which will make it possible to apply energy-efficient and competitive technologies in the production of sugar products. The effectiveness of the proposed criteria and mathematical models is substantiated, which take into account the influence of disturbances formed in the technological process on the evaporation duration.

An algorithm has been developed that makes it possible to apply the proposed models in the automated process control system. On the basis of the studies and calculations, it can be argued that the obtained dependences of the qualitative indicators on the duration of the evaporation and its technological indicators increase the accuracy of the mathematical support of the automated process control system for juice evaporation in the MES of a sugar mill.

Keywords: mathematical model, qualitative indicators, multiple evaporation station, criteria of effectiveness, technological process, Automated Process Control Systems.

Вступ

Підвищення випуску якісної конкурентноспроможної цукрової продукції для держави є актуальним питанням для продуктового забезпечення населення України. Цукрове виробництво характеризується такими важливими показниками як продуктивність, енергоефективність виробництва та якість продукції. Однію із таких важливих ланок у виробництві цукру є цукровий завод.

Для отримання конкурентноспроможної продукції у цукровій галузі України необхідно більше уваги приділяти втіленню сучасних технологій, в яких використовується АСК ТП.

АСК ТП застосовують комп'ютерно-програмне забезпечення, побудоване на застосуванні інтелектуальних підходів у сисемі керування виробничим процесом, а також застосуванню новтнього обладнання на цукрових заводах, які повинні відповідати сучасним вимогам і досягненням науки та техніки [1].

Актуальність проблеми

Це питання є актуальним тому, що цукрове виробництво є одним з найбільш енергозатратних та технологічно досить складним, що має вагу при значній дороговизні енергоресурсів. Відповідно, виникає питання щодо оптимізації у цукровому виробництві таких складових, як застосування сучасних технологій та обладнання, енергозатратності, випуску якісної конкурентноспроможної продукції та енергоефективності виробництва. Вирішення цих проблем вирішується застосуванням сучасних автоматизованих систем керування технологічними процесами. Для підвищення ефективності роботи технологічного комплексу цукрового заводу доцільно удосконалювати математичне забезпечення у системах автоматизованого керування технологічним процесом, тощо, моделями, методами та алгоритмами діагностики і прогнозування, які дозволять у реальному часі оперативно виявляти, розпізнавати і прогнозувати зміни в технологічному процесі. При цьому, важливим питанням є визначення впливів різних факторів та показників технологічного процесу, застосування їх у математичному забезпеченні системи автоматизованого керування відділеннями цукрового заводу, що дасть можливість підвищити ефективність цукрового виробництва до сучасних вимог [1 – 2].

Аналіз останніх досліджень

Отримання енергоефективних та якісних показників цукрового забезпечується застосуванням ефективних технологій виробництва, обладнання, компютеризацією та безпечною організацією цукрового виробництва. На цукрових заводах застосовуються неперервні технологічні процеси зі складними комплексами енергетичних і матеріальних потоків і жорсткими вимогами до якості продукції, безпеки виробничих процесів та до екологічних вимог щодо впливу на навколишнє середовище.

Цукровий завод, що є складовою цукрового виробництва складається з таких головних автоматизованих відділень, як дифузійне, сокоочисне, випарне та кристалізаційне. Основним відділенням, що найбільш впливає на енергоефективність виробництва та якість продукції є випарне, яке приймає, переробляє та розподіляє пар по інших відділеннях. Неперервні технологічні процеси, що мають місце на цукрових заводах, характеризуються багатьма зв'язаними між собою техніко-технологічними процесами (ТП), і одним з таких процесів є випарювання, що здійснюється у багатокорпусних випарних установках у випарному відділенні. БВУ здійснює випарювання соку до заданих показників (якісних та кількісних) та забезпечує вторинними парами теплообмінне обладнання по інших відділеннях заводу [3].

Таким чином, робота БВУ скерована на підтримку необхідного технологічного режиму випарювання, з фіксованими розрахованими значеннями показників ТП, стабілізації рівнів розчину в апаратах, отримання сиропу з відповідними якісними показниками та забезпечення користувачів паром.

Забезпечити наведені складові ТП випарювання, що мають місце при роботі випарного відділення, можна лише тільки при:

- використанні якісної сировини з розрахованими показниками;
- контролі динамічності змін розчину при роботі БВУ, що викликані зміними показниками тепло- та масообмінних процесів;
- покращанні реагування АСК на зміни в технологічному процесі випарювання;
- зменшенні складності та ємкості інженерних розрахунків теплового процесу випарювання, що застосовуються в математичному забезпеченні системи автоматизованого керування відділення.

Останні показники пов'язані з тривалістю виконання процесу випарювання, що вказує на особливу важливість цих показників при виконанні технологічного процесу.

Підвищення вимог до якості цукрової продукції, що виробляється в Україні, до нормативних європейських вимог та вимог, що використовуються у країнах з розвинутою цукровою галуззю дасть можливість отримувати конкурентноспроможну цукрову продукцію [4 – 5].

Серед значної кількості показників, що характеризують якість соку при випарюванні відносять чистоту, концентрацію, кольоровість, каламутність тощо. Не відповідність показників якості, які отримуються після випарювання є однією з основних причин погіршення якості цукру. Найчастіше, закордонні виробники, використовують такий якісний показник цукрової продукції, як кольоровість, що характеризується речовинами, що з'являються у процесі переробки та зберігання продукції. Значне наростання кольоровості спостерігається при згущенні соку зниженої якості та при інших порушеннях режиму випарювання. Крім того із-за відхилень у технологічних процесах, що мають місце на дільницях дифузії та очищені соку, буде здійснюватися загоряння поверхні нагрівання БВУ, що буде приводити до збільшення терміну перебування соку у випарних апаратах установки і відповідно зростатиме кольоровість соку [4 – 8].

Крім того, важливими складовими, що впливають на порушення режиму роботи БВУ і, відповідно, впливають і на кольоровість соку, є недостатня подача соку з відділення сатурації, не забезпечення необхідного рівню соку та відповідної тривалості перебування соку у корпусах БВУ. Кольоровість, що виникає при згущенні соку у випарному відділенні залежить не тільки від якісних показників соку, а і від техніко-технологічних показників процесу випарювання у БВУ [9 – 10].

Для виконання плану заходів з імплементації Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом і їхніми державами-членами на 2017-2019 роки, Мінагрополітики запровадило положення Директиви Ради ЄС № 2001/111/ЄС від 20 грудня 2001 р. про відповідні певні види цукру, призначені для харчового споживання відповідно вимог ЄС. Основними показниками, якості цукру є зміст сахарози, золя, редукованих речовин, вологості та кольоровості [6 – 7]. Одним з основних якісних показників цукру, що використовуються Європейським Співтовариством і державами, які ефективно займаються виробництвом цукру, а також відповідно ДСТУ 4623:2006, є кольоровість. Нормативні значення показників кольоровості у розчині, для 1-4 категорій цукру визначаються в одиницях ICUMSA. Аналіз якісних характеристик та вимог до цукру у цукровому виробництві наведено у роботах [1, 4, 5, 8 – 10].

Зростання кольоровості залежить і від витримування оптимальних параметрів процесу випарювання, а саме: підтримання тиску пара, рівня соку в корпусах БВУ, рівномірної подачі соку на ВУ, температури в апаратах, а також появи накипу у трубках БВУ тощо. Ці показники, що впливають на зміни якісних показників соку, можна поділити на технічні та технологічні, і відхилення зазначених параметрів від оптимальних величин впливає на тривалість перебування соку в апаратах і його температуру, від чого і залежить наростання кольоровості. Відповідно, виходячи з сутності процесу випарювання, треба відмітити необхідність контролю показників, що постійно змінюються в залежності від змін показників розчину у процесі випарювання. [3,11 – 13].

Контроль за показниками процесу випарювання здійснює АСК випарного відділення, система управління якої базується на застосуванні математичного забезпечення, у якому використовується методика розрахунку теплового, або матеріального балансу теплового процесу випарювання.

Складність інженерних розрахунків теплового процесу випарювання полягає у тому, що необхідно знати велику кількість показників, що будуть використовуватися для визначення необхідних параметрів ТП випарювання, таких як теплотехнічні якості розчину, витрату розчину, температуру розчину, тиск пару, тощо. Крім того, у розрахунку безпосередньо не використовується показники якості соку.

При цьому, для теплового розрахунку процесу випарювання, що полягає у визначенні у кінці розрахунку площі поверхні теплообміну випарних апаратів та витрати пару, застосовується досить складна методика розрахунку, де використовують значну кількість різного виду критеріїв (Рейнольдса, Нунсельта, тощо) та усереднених значень показників.

Виходячи з наведеного, можна відмітити, що методика розрахунку теплового процесу, де не використовується критерії якості та застосовується значна кількість значень показників, що, ускладнюють визначення реальних значень ТП випарювання, що, в свою чергу, призводить до збільшення терміну на процес випарювання, і відповідно, зниженню ефективності процесу випарювання та роботи АСК у цілому [3,11 – 14].

В наш час, на відміну від класичної теорії управління, об'єктом вивчення якої є одновимірні системи, що описуються лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами, сучасна теорія управління застосовує результати, що використовуються для різних класів багатовимірних систем, які можуть задаватися різного виду рівняннями. Сучасна теорія управління включає в себе теорію оптимального управління, тобто оптимальні системи, при функціонуванні яких мінімізується або максимізується заданий функціонал якості. Крім того, важливим питанням, щодо визначення ефективності процесу випарювання є визначення якісних критеріїв управління [15].

Виходячи з наведеного аналізу, можна зробити висновки, що для досягнення цієї мети необхідно застосовувати удосконалене математичне забезпечення АСУ у випарному відділенні, яке дасть можливість привести якісні показники розчину до нормативних. Побудова та запровадження ефективних моделей для АСК, що реагують на зміни у ТП випарного відділення дадуть можливість підвищити ефективність виробництва, енергоефективність та якість продукції.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є підвищення якості продукції впродовж випарювання соку у БВУ цукрового заводу за рахунок розробки та впровадження сучасних математичних моделей, методів та алгоритмів автоматизованого керування, які враховують якісні критерії випарювання для застосування у математичному забезпеченні АСК ТП.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні задачі: аналіз та обґрунтування застосування сучасних критеріїв, алгоритмів та моделей що дають можливість визначення якості цукрової продукції впродовж процесу випарювання, а також оцінка і визначення різного виду показників та збурень, що впливають на якість продукції та тривалість випарювання, і які використовуються у математичному забезпеченні АСК ТП випарного відділення.

Результати досліджень

БВУ працюють в невизначених умовах, що поділяються по невизначеності мети, невизначеності зовнішнього середовища та невизначеності особи, що приймає рішення. Основою ефективності ТП випарювання є правильна визначеність мети - задання критерію функціонування. Найбільш ефективним критерієм функціонування БВУ може бути критерій, який би враховував всі проблемні питання процесу випарювання. Але нестационарність роботи БВУ, що викликана змінними в часі параметрами уварюваного розчину та змінними показниками тепло- та масообмінних процесів випарювання, ускладнює визначення такого загального критерію і знижує ефективність цього критерію.

Всі збурення, що виникають при виварюванні призводять до нестационарності роботи БВУ, що в свою чергу приводять до збільшення терміну на випарювання, і, відповідно до впливу на такий якісний показник, як кольоровість.

Для забезпечення ефективного керування процесом випарювання БВУ по якісному показнику для математичного забезпечення АСК ТП, пропонується метод автоматичного

зосередженого керування окремими параметрами процесу випарювання в умовах нестационарності та змінності статичних та динамічних параметрів. Метод автоматичного зосередженого керування по якісних показниках базується на наступних функціях:

1. Інформаційні – збирання, обробка та збергання інформації про початковий та кінцевий стан об'єкта управління, а також про показники, що характеризують стан об'єкта у процесі випарювання.

2. Визначення відхилень технологічних та технічних параметрів від розрахункових нормативних значень, а також показників стану обладнання та розчину, що випаровується.

3. Розрахунок значень величин та показників, що визначаються розрахунковим способом.

4. Відображення та реєстрація інформації.

5. Обмін інформацією для АСК з іншими виробничими підрозділами цукрового заводу та оператором.

Управляючі функції повинні підтримувати екстремальні значення критерію управління при виникненні збуджень, що впливають на процес випарювання. При цьому управляючі функції поділяються на наступні групи:

– перша – визначення оптимального впливу;

– друга – реалізація цього впливу шляхом формування управляючих впливів на об'єкт управління (стабілізація, програмне управління, програмно-логічне управління).

Зміст метода полягає у тому що перед початком роботи БВУ необхідно визначити параметри ТП і провести в АСК розрахунок теплового режиму роботи БВУ. Стандартний тепловий розрахунок процесу випарювання полягає у визначенні показників випарюванні, на основі розрахунку теплового та матеріального балансів.

Розрахунок багатокорпусної випарної установки, як правило, виконується у два етапи: спочатку виконується проєктний розрахунок з метою визначення параметрів роботи установки у корпусах, визначення поверхні і розмірів гріючої камери, а потім проводять розрахунок перевірки з метою уточнення параметрів процесу і умов теплопередачі в корпусах БВУ.

Вихідні дані для розрахунку БВУ повинні включати: продуктивність установки та число корпусів, склад випарюваного розчину, його початкову і кінцеву концентрації, параметри властивостей гріючої пари (тиск і температуру), а також тиск вторинної пари.

Стандартний тепловий розрахунок складається з наступних розрахунків: розрахунок випарювання води, визначення температурних депресій та густини розчину за корпусами, коригування температурної депресії та тиску розчину, визначення значень температури гріючої пари, вторинної пари, розчину, розрахунок витрати гріючої пари, випареної води по корпусам, кінцевих концентрацій, визначення коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі, розрахунок теплового навантаження і площ нагріву ВУ[3 – 4].

Різниця запропонованого методу від існуючих полягає в тому, що в стандартний розрахунок теплового навантаження вноситься критерій якості - кольоровість, і вже у відповідності до вимог щодо якості продукції, проводяться тепловий та матеріальний розрахунки процесу випарювання. Якісний показник визначається за допомогою фотоколометричного визначення кольоровості, і по алгоритму розрахунку теплового режиму випарювання, визначається коригована концентрація розчину. По вхідних показниках, використовуючи теорію теплового та матеріального балансу, запропоновано математичну модель, що дає можливість визначати показники кольоровості на всіх етапах випарювання.

При цьому є можливість здійснювати коригування теплового процесу випарювання по якісних показниках в АСК випарного відділення на всіх етапах випарювання. При цьому коригування технологічних показників соку здійснюється для всіх 4-х категорій, що характеризують якість цукру.

Удосконалення методики розрахунку теплового режиму роботи випарної установки полягає у введенні критерію якості розчину у математичне забезпечення АСК. Алгоритм

розрахунку, що забезпечує метод автоматичного зосередженого керування процесом випарювання відображено на рис. 1[16].

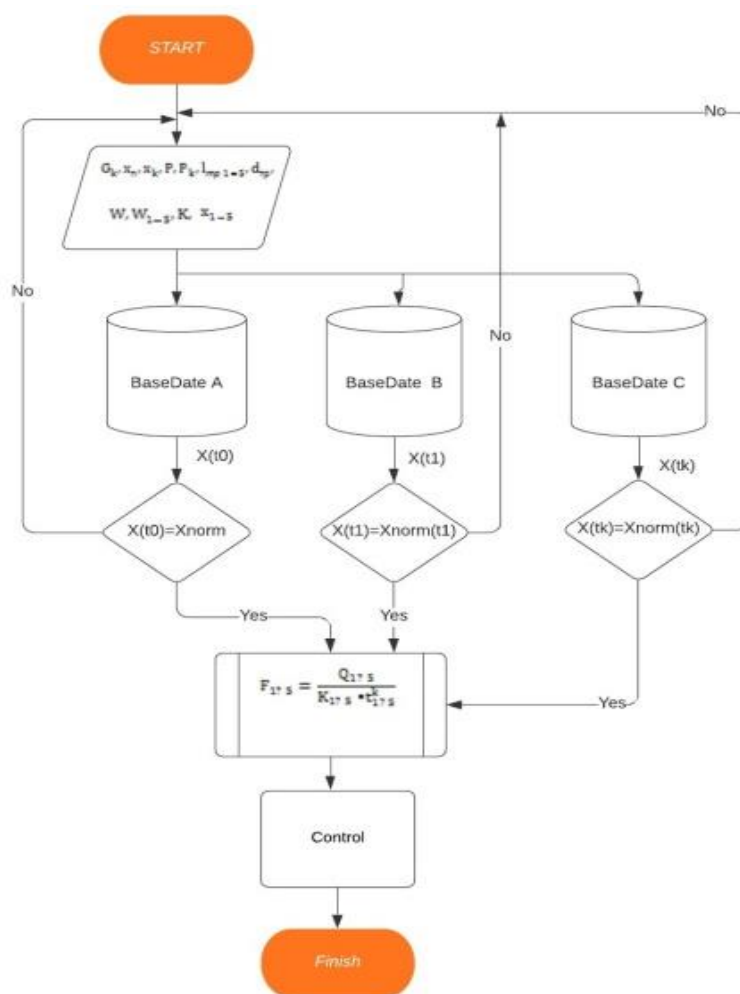


Рис. 1. Блок-схема алгоритму удосконаленого розрахунку теплового режиму випарювання для математичного забезпечення АСК ТП

У блок схемі відображено рух даних ТП випарювання до бази даних (А, В, С) та отриманні вихідних показників теплового розрахунку – теплового навантаження, та кількості пару та розчину, необхідних для АСК випарної станції.

Типові збурення, що призводять до нестаціонарності роботи АСК, поділяють на зовнішні та внутрішні. Всі ці збурення, що призводять до нестаціонарності роботи БВУ, що в свою чергу приводять до збільшення терміну на випарювання і, відповідно до підвищення значень такого якісного показника, як кольоровість. Для мінімізування цих збурень, які виникають під час процесу випарювання, необхідно ввести в теплових розрахунок процесу випарювання критерій якості, який дасть можливість визначити кольоровість впродовж всього процесу випарювання і контролювати якісні показники розчину, які можна буде використовувати в АСК випарним відділенням для контролю та регулювання ТП випарювання, відповідно запропонованого алгоритму розрахунку теплового процесу для АСК.

Тому для визначення впливу різних факторів на процес випарювання води з розчину у БВУ розглянуто рівняння матеріального балансу, що має вигляд [2, 7, 9,13]:

$$G_{II} = G_k + W \quad (1)$$

де G_{II} – продуктивність по початковому розчину, кг/год;
 G_k – продуктивність по кінцевому розчину, кг/год;

W – загальна кількість випареної води, кг/год.

У розчині, що випарюється у БВУ, присутній такий показник як кольоровість (K), який затверджено нормативними вимогами, і відповідно затвердженої методики, наведеної у ДСТУ 4866:2007/ГОСТ 12572-2007, визначається у лабораторних умовах на виробництві за допомогою фотоколометричного способу наступним чином:

$$K = \frac{1000 \cdot D_{560}}{c \cdot l} \quad (2)$$

де c – концентрація, г/дм³; D_{560} – значення оптичної густини цукрового розчину у БВУ за довжини хвилі 560 нм; l – довжина кювети, см. (5 см – для сиропу);
1000 – коефіцієнт перерахування кольоровості в одиниці ICUMSA [5].

Цей показник впродовж випарювання змінюється разом зі зміною балансу розчину, тому рівність твердої речовини можна відобразити у вигляді:

$$G_{II} K_{II} = G_K K_K, \quad (3)$$

де K_{II} та K_K – початкове та кінцеве значення кольоровості розчину, що випарюється, од. ICUMSA.

Скориставшись формулами (1) та (3), визначимо загальну кількість води (W)_з, що випаровується при кольоровості, яку необхідно мати для отримання якісного продукту:

$$W_3 = G_{II} \left(1 - \frac{K_{II}}{K_K}\right). \quad (4)$$

Визначивши залежність кольоровості та концентрації розчину від випареної води для регулювання кольоровості розчину, що отримаємо після випарювання, треба визначити чутливість АСК випарного відділення до збурень, що виникають від впливу тепла, що витрачається для випарювання, а також продуктивність та склад розчину, що подається на випарювання. З рівняння (4) можна визначити значення якості продукції, яке буде мати вигляд:

$$K_K = \frac{K_{II} \cdot v}{1 - \frac{W \cdot s}{G_{II}}}, \quad (5)$$

де v – емпіричний коефіцієнт оптичної густини розчину (0,2...0,8);

s – градульований показник випареної води [5].

Відображення диференціалу через кольоровість у формулі (5) дає можливість більш точно показати чутливість до різного виду збурень при випарюванні, результати підтверджуються моделлю, яка відображує вплив теплового режиму роботи БВУ на кольоровість. Чутливість змін кольоровості розчину до змін теплових процесів, що виникають при випарювання складає 1...1,5% [16, 17].

Збільшення терміну випарювання та збільшення температури кипіння призводить до зростання втрат цукру від термічного розкладу та наростання кольоровості сиропу. Наростання цукрових речовин та та втрати цукру корелюють між собою [19].

Відповідно, знаючи величину об'ємної втрати розчину із БА, і його густину можливо визначити величину середнього терміну перебування розчину у кожному ВА, і відповідно і у всій БВУ.

Нормативні та фактичні значення концентрації, а також кольоровості та значення кольоровості із розрахунків, проведених відповідно наведеної формули (5), наведено в таблиці 1. При цьому фіксувався термін випарювання розчину у БВУ.

Показники контролювались при роботі БВУ заводу з продуктивністю 3000 т. буряка/добу, з площами теплообміну по корпусах БВУ - 1к-2360м², 2к-3000м²; 3к-2360/1200м²; 4к-1200м²; 5к-100м², Значення показників кольоровості розчину для цих

режимів роботи БВУ (нормативного, фактичного та розрахованих) фіксувались до та після процесу випарювання [8, 19].

Таблиця 1.

Усереднені значення терміну випарювання та кольоровості у БВУ цукрових заводів з продуктивністю цукру - 3000 т/добу.

Режим випарювання	ВУ з площею теплообміну 3000 м ²				Термін випарювання, хв
	До випарювання		Після випарювання		
	Кольоровість розчину, од. ICUMSA	Концентрація розчину, %	Кольоровість розчину од. ICUMSA	Концентрація розчину, %	
Нормативний	210-260	13-17	260-320	62-70	50-70
Фактичний	280-450	12-18	320-700	60-72	101-118
Розрахований (по якісних показниках)	600-1500	4-16	60-120	40-83	-
Розрахований з корекцією (по якісних показниках)	230-260	15-16	320-380	67-68	-

Аналізуючи отримані значення, можна відмітити, що кольоровість, у середньому підвищується на 30-50%. Значення рН до та після БВУ коливалось у межах від 8,3 та 9,1, а СР від 14% до 70%. В процесі випарювання застосовувались різного виду хімічні препарати для очистки розчину у БВУ та різні види фільтрації розчину на переддифікації перед випарюванням, із застосуванням сучасних хімреактивів.

Висновки

В роботі проведено аналіз щодо ефективності існуючих підходів по математичному забезпеченню АСУ ТП випарювання, що є перспективним напрямком по підвищенню конкурентноспроможності цукрової продукції. Розглянуто види збурень, які мають місце при випарюванні соку, і їх вплив на показники ефективності виробництва. Значення показників якості, що використовувались у запропонованій методиці, при розрахунках теплового режиму роботи ВУ, дійсно залежать від змін матеріального та теплового балансу розчину, що випаровується. Кориговані по якісних показниках концентрації розчину, відповідно розрахунку теплового режиму роботи БВУ, підтверджується досить добрими показниками чутливості змін кольоровості розчину до зміни у тепловому процесі. Запропоновані метод та алгоритм для математичного забезпечення АСУ випарного відділення дають можливість підвищити ефективність цукрового виробництва та підвищити якість продукції [16].

Список використаних джерел

1. 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>.
2. Власенко Л. О. Підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок використання методів діагностики та прогнозування /Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк/ Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. – Вип. 2/3 (44). – С. 57-62.
3. Штангеев К. О. Випарні установки та теплові схеми цукрових заводів. ЮНІДО, Київ, 2015.

4. ДСТУ 4623-2006. Національний стандарт України. Цукор білий. Технічні умови. Київ, 2007.
5. Методи визначення кольоровості і каламутності розчину. ДСТУ 4866:2007/ГОСТ 12572-2007. Київ: Держспоживстандарт України, 2007.
6. Качество сахара и пути его повышения. – Режим доступу: <https://works.doklad.ru/view/1o83b5aGd64/all.html>.
7. Штангеев К.О. Час перебування розчину у випарній установці / К.О. Штангеев/ Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку цукрової промисловості України». НУХТ, К., 2019. –С. 98-101.
8. Кривовоз А.Г., Цветность – показатель качества пищевых продуктов /А. Г. Кривовоз, Ю. И. Сидоренко / Пищевая промышленность, 2009. –Вип. 11. – С. 14.
9. Ляшенко С.О. Обґрунтування застосування показників якості в енерго– та екологічно ефективних АСУ цукрового виробництва / Ляшенко С. О., А. М. Фесенко, О. С. Ляшенко, В. М. Кісь // Інженерія природокористування: науковий журнал, 2019.– Вип.4(14)– С. 47-56.
10. Нарастание цветности на выпарной установке. Агропромышленный портал России. – Режим доступу: <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6927-narastanie-cvetnosti-na-vuparnou-ustanovke.html>.
11. Ляшенко С.А. Определение параметров производственных опасных факторов для моделирования процесса выпаривания в сахарном производстве / С.А. Ляшенко, А. М. Фесенко, А.С. Ляшенко /Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Механізація сільськогосподарського виробництва», 2017. Вип. 180.– С. 182-190.
12. Процеси та апарати хімічних виробництв. Distance Learning. СумДУ – Режим доступу: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266104/index.html>.
13. Выпаривание и выпарные агрегаты – Режим доступу: <https://allbeton.ru/upload/iblock/188/viparivanie-i-viparnie-agregati.pdf>.
14. Опорний конспект лекцій з дисципліни «Теорія прийняття рішень» – Режим доступу: <http://dspace.tneu.edu.ua/retrieve/52501/lek.pdf>.
15. Ковриго Ю. М. 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» / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке /. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2017. – 155 с.– Режим доступу:https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23117/1/Suchasna-teoriia-upravlinnia_Kovrygo_et.al.pdf.
16. Liashenko S. 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 /S. Liashenko, A. Fesenko, O. Liashenko, V. Kis, H. Ivashchenko /International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020. – Том 8, Вип. 5,– С. 2133-2139.
17. Ladanyuk A. Evaporator control under conditions of uncertainty: intellectualization of applied functions. / A. Ladanyuk, V. Kyshenko, O. Shkolna/ Scientific works of The National University of Food Technologies, 2015. – volume 21, issue 6. – pp.7-15.

References

1. Requirements for sugar production are brought in line with European ones. Government portal. – Available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/vimogi-do-virobnictva-cukru-privedenou-vidpovidnist-do-yevropejskih>.
2. Vlasenko L. O. Improvement of the efficiency of the technological complex of the sugar

mill through the use of diagnostic and forecasting methods /L. O. Vlasenko, A. P. Ladanyuk/ Eastern European Journal of Advanced Technology, 2010. – Iss. 2/3 (44). – pp.57-62.

3. Shtangeyev K. O. Evaporators and thermal schemes of sugar factories. YuNIDO, Kyiv, 2015.

4. DSTU 4623-2006. National standards of Ukraine. Whitesugar. Technical conditions, Kyiv, 2007.

5. Methods for determining the color and turbidity of the solution. DSTU 4866:2007/GOST 12572-2007. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2007.

6. The quality of sugar and ways to improve it. – Available at: <https://works.doklad.ru/view/1o83b5aGd64/all.html>.

7. Shtangeyev K. O. The duration of staying the thin juice in the evaporator/ K. O. Stangeyev/ Proceedings of the international scientific and technical conference "Prospects for the development of the sugar industry of Ukraine". NUFT,K., 2019. –pp. 98-101.

8. Krivovoz A. G. Color is an indicator of food quality/A. G. Krivovoz, Yu. I. Sidorenko / Food industry, 2009. –Iss. 11. – pp. 14.

9. Liashenko S. O. 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 // Engineering of nature management, 2019.–Iss.4(14)–pp. 47-56.

10. Increase in color in the evaporator. Agroindustrial portal of Russia. – Available at: <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6927-narastanie-cvetnosti-na-vyparnoy-ustanovke.html>.

11. Lyashenko S. O. Determination of parameters of occupational hazards to model the evaporation process in sugar production/ S. O. Lyashenko, A. M. Fesenko, O. S. Lyashenko /Bulletin of the KhNTUSG. «Mechanization of agriculture», 2017. Iss. 180.– pp. 182-190.

12. Processes and apparatus of chemical production. Distance Learning. SumSU – Available at: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266104/index.html>.

13. Evaporator sand evaporators – Available at: <https://allbeton.ru/upload/iblock/188/viparivanie-i-viparnie-agregati.pdf>.

14. Concise «Decision theory» – Available at: <http://dSPACE.tneu.edu.ua/retrieve/52501/lek.pdf>

15. Kovrigo Yu. M. Modern management theory. Part 2. Applied aspects of modern management theory: a textbook for students of specialties 151 «Automation and computer-integrated technologies», specializations «Automated process control», «Computer-integrated technological processes and production» / Yu. M. Kovrigo, O. V. Stepanets, T. G. Bagan, O. S. Bunke /KPI named after Igor Sikorsky, Kyiv, 2017. – pp. 155.– Available at:https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23117/1/Suchasna-teoriia-upravlinnia_Kovrygo_et.al.pdf.

16. Liashenko S. 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 /S. Liashenko, A. Fesenko, O. Liashenko, V. Kis, H. Ivashchenko /International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020. – V. 8, Iss. 5. –pp.2133-2139.

17. Ladanyuk A. Evaporator control under conditions of uncertainty: intellectualization of applied functions. / A. Ladanyuk, V. Kyshenko, O. Shkolna/ Scientific works of The National University of Food Technologies, 2015. – vol.21, issue 6. –pp. 7-15.

Фролов Є.А.

Національний університет
«Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
E-mail: kaf054@i.ua

Попов С.В.

Полтавський державний
аграрний університет
E-mail: stanislav.popov@pdaa.edu.ua

**ДЕТОНАЦІЙНО-ГАЗОВЕ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ
ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**