

Пономаренко В. В.,
Пушанко Н. М.,
Пушанко М. М.

РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ

Проведено аналіз стану утилізації викидів на вітчизняних та зарубіжних цукрових заводах. Констатується значне забруднення навколишнього середовища промисловими викидами при низькій стимуляції вирішення цих питань. Одна з причин — відсутність економічно обґрунтованих технологічних схем. Запропонована схема утилізації викидів передбачає попереднє оброблення бурякової стружки відпрацьованими газами з апаратів сатурації та сульфитації.

Ключові слова: викиди, цукровий завод, агресивні гази, технологічна схема, сатуратор, сульфитатор, екстрагування.

1. Вступ

Викиди CO₂ промисловими підприємствами кожний рік збільшуються на 2,7 % і на 2015 вони на 60 % більші рівня 1990 року — базового року для Київського протоколу [1]. Однією з причин небажання займатись утилізацією викидів є відсутність контролюючих стимулів та субсидій для здійснення цих програм.

Проте утилізація викидів стає перспективним напрямом, оскільки може перетворити викиди CO₂ в хімічні речовини і паливо. Діоксид вуглецю може зберігатись або використовуватись в різних галузях промисловості при виробництві продуктів харчування, напоїв, у фармацевтичній промисловості. Він може бути перетворений в продукцію високого попиту: мочевину, метанол і біопаливо.

Значні викиди парникових газів відбувається при роботі електростанцій, заводів по виробництву цементу та цукру з тростинної та бурякової сировини. Для таких підприємств викиди CO₂ є значною та невирішеною проблемою [1, 2]. Для їх зменшення рекомендується використовувати відходи цукрового виробництва (віджату цукрову тростину), як замітник частини цементу. Доведено, що вона має в'язучі властивості, може бути використана разом з цементом, покращує механічні властивості та довговічність матеріалів на основі цементу. Такий підхід до утилізації відходів цукрового заводу рекомендується для країн виробників цукру з цукрової тростини, таких як Бразилія, Індія та ін.

Все більшого значення набувають екологічно чисті технології, які зменшують викиди парникових газів [3, 4]. Це особливо актуально, коли основними забруднюючими промисловими підприємствами є цукрова промисловість. Таку думку висловили дослідники Індії, де цукрова промисловість є однією з найбільш забруднюючих технологій. Техніко-економічне обґрунтування показує, що експлуатаційні затрати цукрового заводу можуть бути на 42 % менші при використанні відпрацьованого газу з електростанцій. Яким чином отримувати соку авторами не пояснюється, а запропонований шлях не вирішує проблему утилізації викидів самого цукрового заводу.

В роботі [5] звертається увага на те, що при виробництві цукру проходить значне забруднення середовища твердими відходами, такими як жом. Після технологічної обробки його можливо використовувати як замітник деякої частини деревини при виробництві паперу.

Тверді відходи цукрового заводу на відміну від парогазових викидів знайшли застосування в різних галузях господарства як добавки до основного компоненту.

У виробничі сезони викиди цукровими заводами парогазових сумішей в атмосферу є звичним явищем і сприймаються як неминучість. Серед них найбільшими за кількістю та агресивністю є викиди відпрацьованого сатураційного газу з апаратів першої та другої сатурації, а також викиди з апаратів сульфитації.

В складі відпрацьованого сатураційного газу знаходиться до 15 % невикористаного діоксиду вуглецю, краплі води та водяна пара. Температура парогазової суміші в межах 75...85 °C на першій сатурації та 92...100 °C на другій сатурації. Для заводу середньої продуктивності 3000 т буряків/добу об'єм викидів на першій сатурації досягає 5000 м³/год., на другій сатурації — 2000 м³/год.

В складі відпрацьованого газу з апаратів сульфитації знаходиться до 5 % невикористаного газу SO₂, краплі води та водяна пара при температурі 70...105 °C.

Кількісна оцінка викидів в кожному конкретному випадку залежить від багатьох факторів. Основними з них є якість виробництва сатураційного та сульфитаційного газів, досконалість обладнання для проведення процесів сатурації і сульфитації та дотримання оптимальних режимів його роботи.

Крім забруднення атмосфери викидами парогазових сумішей на цукрових заводах втрачається значний тепловий потенціал. Відсутність бажання займатись утилізацією викидів цукрових заводів пояснюється необхідністю вкладання коштів в реалізацію таких проектів, загальною кризою, в тому числі і в цукровій промисловості.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У викидах відпрацьованих газів достатньо висока концентрація CO₂ та SO₂. При вказаних об'ємах це приводить до значного забруднення атмосфери.

Втрати теплового потенціалу з викидами відпрацьованих газів з апаратів першої та другої сатурації є також доволі значні. Так на першій сатурації втрати теплового потенціалу складають 2,5...4,0 % до маси буряків [6], що приводить до зниження температури соку в апараті на 3...5 °С. Об'єм газу, що викидається складає двадцять-сорок об'ємів рідини, що підлягає обробці.

Трохи нижчими (в 3...4 рази) є теплові втрати з викидами відпрацьованих газів з апаратів другої сатурації [7]. Це зв'язано з меншими витратами газу на виконання процесу, але температура проведення другої сатурації є вищою. Об'єм газу, що викидається складає біля двадцяти об'ємів обробленої рідини.

З відпрацьованим сульфитаційним газом втрачається біля 0,25 % рідини до маси буряків і відбувається зниження її температури в межах 1...1,4 °С [8].

Теплові втрати можливо зменшити при збільшенні використання діоксиду вуглецю та SO₂ шляхом модернізації апаратів. Наприклад, підняття рівня соку в апараті першої сатурації з 4 м до 6 м приводить до збільшення коефіцієнта використання CO₂ до 70 %, що еквівалентно зменшенню теплових втрат на 1 % до маси буряків [6]. Недоліком такого способу підвищення використання CO₂ є значно збільшені затрати енергії на стиснення газу, заміна самого газового обладнання на більш потужне.

В роботі [9] проаналізовано процес очищення соку по схемі пов'язаної сад-76, що впроваджена на цукровому заводі в Сербії. Для подачі сатураційного газу в апарат використовують розподільники газу в вигляді трубок Ріхтера. Це дозволило підвищити використання CO₂, а економічний аналіз показав, що затрати на обробку соку зменшились.

Ефективним способом підвищення використання діоксиду вуглецю в апаратах першої та другої сатурації є розпилювання цукрового розчину в надсоковому просторі, або розпилювання в додатково встановленому абсорбері, який являється першою ступінню сатурації [10]. В останньому випадку крім збільшення коефіцієнту використання CO₂ досягається покращення якісних показників цукрового розчину, що дозволяє отримати додатково білий кристалічний цукор.

Запропоновано декілька схем підвищення утилізації CO₂ за рахунок повторного використання CO₂ з відпрацьованого сатураційного газу апаратами першої та другої сатурації. Так, згідно схеми [11] пропонується спосіб сатурації цукрових розчинів, оснований на використанні відпрацьованого сатураційного газу першої сатурації в якості сатураційного газу на другій сатурації. Це зменшує загальні витрати газу на проведення процесів сатурації та заощаджує паливо, що використовується для його отримання в вапняково-обпалювальній печі. Оскільки сатураційний газ після першої сатурації має температуру соку і насичений парами води, то використання такого газу на другій сатурації зменшує втрати тепла з вихідним газом, а температура соку на другій сатурації не знижується. Крім того, повторне використання сатураційного газу приводить до більш повного виснаження сатураційного газу від діоксиду вуглецю, а це в свою чергу дозволить зменшити забруднення атмосфери.

Згідно робіт [12, 13] пропонується використовувати відпрацьований сатураційний газ з апарату другої сатурації на першій ступені першої сатурації, яка проходить при більш низькій температурі (80...85 °С).

В цьому випадку відбувається передача теплоти цукровому розчину та відпадає необхідність підігрівати сік після апарату першої сатурації перед фільтрацією до температури 90 °С. Оскільки такий газ в попередньому випадку викидався в атмосферу, то згідно запропонованого способу сатурації відбувається економія теплоти. Внаслідок того, що у відпрацьованому сатураційному газі з апарату другої сатурації знаходиться велика кількість діоксиду вуглецю, його достатньо для проведення першої ступені I сатурації в двохсекційному сатураторі в розпилюючому режимі з 20...30-процентною ступінню карбонізації. При цьому досягається також покращення якісних показників обробленого соку.

Для використання тепла відпрацьованих газів запропоновано кілька конструкцій теплообмінників. В сатураторі-нагрівачі [14] на витяжній трубі пропонується встановити пристрій у вигляді циклона з подвійними стінками, між якими по гвинтовій траєкторії циркулює вода та центральної труби для відводу суміші газів. В результаті рекуперативного теплообміну відбувається нагрівання води, яку можна використовувати на виробництві.

В роботі [15] для утилізації теплоти і очистки парогазових викидів пропонується додатково підключити до каналу парогазової суміші пароконтактний теплообмінник — очисник, що має регулюючу заслінку в каналі парогазової суміші, який має впускний та випускний колектори-кожухи, з'єднані між собою трубами-кожухами, в яких розміщені трубні пучки і підключені вхідними патрубками до каналів парогазової суміші і пароконтактного теплообмінника-очисника. Регулююча заслінка в каналі парогазової суміші встановлена напроти вхідного патрубка теплообмінника-утилізатора і в закритому положенні перекриває 40...60 % площі перетину каналу парогазової суміші. Така конструкція утилізатора теплоти, на думку авторів, дозволить отримати теплу воду для потреб виробництва.

Утилізацією сірчистого газу та теплових викидів після сульфитаторів практично не займався ніхто. Лише констатувався факт їх наявності. Головна причина тут в агресивності парогазової суміші, в якій містяться сірчана та сірчиста кислоти. Хімічна корозія утилізаторів теплоти приводить до досить швидкого виходу з ладу обладнання (сталеві труби відводу відпрацьованого сульфитаційного газу в атмосферу міняють кілька разів за сезон цукроваріння). Використання спеціальних корозієстійких матеріалів приводить до значного збільшення вартості обладнання.

Практично відсутній досвід використання теплового потенціалу відпрацьованих газів і на зарубіжних цукрових заводах. На одному з заводів [16] відпрацьовані гази відводять з апаратів першої та другої сатурації, очищують в циклонних сепараторах від крапель рідини та вентилятором подають в загальну димову трубу заводу. Такий підхід до вирішення проблеми утилізації теплового та хімічного потенціалу не вирішує її, а заганняє вглиб. Зміна місця викидів дозволяє тільки розсіяти шкідливі гази на більшій території, а не утилізувати їх. Про економію теплового потенціалу мова навіть не йде.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є викиди цукрового заводу з апаратів сатурації та сульфитації.

Ціллю даного дослідження є розробка технологічної схеми використання хімічного та теплового потенціалу газів після сатураційних та сульфитаційних апаратів для попередньої обробки бурякової стружки перед її подачею в дифузійний апарат з метою зменшення забруднення довкілля та економії енергетичних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- виконати аналіз сучасного стану апаратурного оформлення сатурації та сульфитації на вітчизняних і зарубіжних цукрових заводах;
- дослідити ефективність наявних технологічних схем використання відпрацьованих газів;
- запропонувати технологічну схему використання хімічного та теплового потенціалу відпрацьованих газів, що відповідає економічній доцільності, є простою в реалізації, поліпшує екологічну ситуацію.

4. Матеріали та методи визначення концентрацій діоксиду вуглецю в сатураційному газі

4.1. Матеріали та обладнання для вимірювання стану сатураційного газу. Для дослідження параметрів газу на виході з апаратів сатурації використовувались:

- ртутний термометр для визначення температури газу на виході;
- лабораторний газоаналізатор ГХП-3М для визначення концентрації CO₂;
- скляний холодильник газу на проточній воді для приведення сатураційного газу на виході до нормальної температури 20 °С;
- таблиці стану вологої пари.

4.2. Методика визначення концентрацій діоксиду вуглецю. Концентрацію діоксиду вуглецю на вході та виході з апаратів сатурації визначали лабораторним газоаналізатором. Для цього сатураційний газ попередньо охолоджували в холодильнику при температурі проточної води 20 °С, при якій досягалась термодинамічна рівновага. Відділялась сконденсована вода, а охолоджений газ об'ємом 100 мл прокачувався через лабораторний газоаналізатор, заповнений перманганатом калію. По зміні об'єму газової фази в колбі газоаналізатора знаходилась об'ємна концентрація CO₂.

5. Результати досліджень кількісних та якісних показників роботи апаратів сатурації

Була досліджена робота типових апаратів сатурації в барботажному режимі та модернізованого апарату сатурації з першою розпилюючою стадією контакту фаз під надлишковим тиском та наступною — барботажною. Вимірювання концентрацій діоксиду вуглецю на вході та виході проводились при проведенні першої та другої сатурацій в виробничих умовах в різні роки. Коефіцієнт використання діоксиду вуглецю визначали з формули:

$$K_{\text{вик}} = \frac{100(c_{\text{вх}} - c_{\text{вих}})}{c_{\text{вх}}(100 - c_{\text{вих}})}, \quad (1)$$

де $c_{\text{вх}}$ — концентрація CO₂ на вході в сатуратор, % об.;
 $c_{\text{вих}}$ — концентрація CO₂ на виході з сатуратора, % об.

Порівняльні дані роботи типового сатуратора та двохсекційного сатуратора з початковою розпилюючою ступінню представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні показники роботи типового та двохсекційного сатураторів

Показники	Типовий сатуратор	Двохсекційний сатуратор
Тиск в розпилюючому абсорбери, МПа	—	0,05
Лужність дефекованого соку, % СаО	1,39	1,42
Лужність нефільтрованого соку 1 сатурації	0,085	0,084
Коефіцієнт використання CO ₂	66,3	85,0
Швидкість відстоювання осаду, см/хв.	2,7	3,1
Доброякісність соку 2 сатурації	88,4	89,17
Солі Са ⁺⁺ соку 2 сатурації	0,0648	0,0553

Отримані дані свідчать про збільшення використання CO₂ в двохсекційному сатураторі майже на 20 %. Цукрові розчини після обробки в такому сатураторі мають більш високі якісні показники, що дозволяє на заключній стадії отримати більше кристалічного цукру.

Виміри концентрацій CO₂ в дослідному сатураторі представлені в табл. 2. Середній показник коефіцієнту використання діоксиду вуглецю на 15...20 % більший за аналогічний показник в типовому сатураторі [17].

Таблиця 2

Концентрація діоксиду вуглецю в дослідному двохсекційному сатураторі з початковою розпилюючою стадією

№ досліду	Концентрація CO ₂ на вході в сатуратор, [CO ₂] ^{вход.} , об. %	Концентрація CO ₂ на виході з сатуратора, [CO ₂] ^{вих.} , об. %	Коефіцієнт використання CO ₂ , K _{вик} ^{CO₂}
1	22	6,0	77,4
2	22	5,5	79,4
3	21	8,0	67,3
4	25	5,0	84,2
5	23	7,5	72,9
6	23,5	9,0	67,8
7	22	8,0	68,9
8	27	10,0	70,0
9	25	7,6	75,7
Серед. знач.	—	—	73,7

Таким чином, впровадження у виробництво двохсекційних апаратів сатурації дозволяє покращити якість цукрових розчинів та зменшити викиди відпрацьованих газів в атмосферу.

При дослідженні роботи інших типів апаратів сатурації [17] з покращенням газорозподіленням сатураційного газу по перерізу сатуратора, з використанням пульсаційних ефектів, секціонованих, була також відмічена тенденція збільшення використання діоксиду вуглецю.

Дані результати доводять можливість зменшення забруднення атмосфери шкідливими газами та втрат тепла з відпрацьованим газом.

6. Обговорення результатів дослідження. Процес десорбції CO₂ та SO₂ буряковою стружкою

Значним резервом економії матеріальних та енерго-ресурсів на цукровому заводі є утилізація теплового та хімічного потенціалів відпрацьованих газів. Обладнання повинно бути простим по конструкції та ефективним з точки зору теплопередачі, а утилізоване тепло використано на технологічні цілі.

Зменшення кількості викидів за рахунок покращення гідродинамічних умов ведення процесів і збільшення коефіцієнта використання CO₂ і SO₂ в сатураторах і сульфитаторах можливо досягти при максимальній швидкості процесів масопередачі, які відбуваються при оптимальних значеннях гідравлічного опору обладнання і залежать від висоти шару продукту, що обробляється, його газомісткості, швидкості руху газової фази.

Масопередача речовини з однієї фази в іншу проходить згідно основного закону масопередачі: швидкість процесу дорівнює рушійній силі, поділеній на опір:

$$\frac{dM}{dFD\tau} = \frac{\Delta c}{R}, \quad (2)$$

де M — кількість речовини, яка переходить з однієї фази в іншу; F — поверхня контакту або розділу фаз; Δc — рушійна сила процесу, тобто різниця рівноважної і робочої концентрацій; τ — час; R — опір.

Величина, зворотна опору R , є коефіцієнт масопередачі:

$$K = 1/R. \quad (3)$$

Коефіцієнт масопередачі виражає собою кількість речовини, що переходить з однієї фази в іншу за одиницю часу через одиницю поверхні контакту фаз при рушійній силі, що дорівнює одиниці. При проведенні масопередачі важко розчинних газів, яким і є CO₂, опір масопередачі зазвичай знаходиться зі сторони газової фази та залежить від її швидкості. Рух газової фази в абсорбері характеризують критерієм Рейнольдса:

$$Re_r = \frac{w_r d_c \rho_r}{\mu_r}, \quad (4)$$

де w_r — швидкість газу в даному перерізі реактора, м/с; μ_r — коефіцієнт динамічної в'язкості, н с/м²; $d_c = 4F/\Pi$ — еквівалентний діаметр бульбашки газової фази в рідкій фазі, м; F , Π — площа і периметр змоченого перерізу, м² і м відповідно.

Оскільки визначення коефіцієнта масопередачі K , віднесеного до одиниці поверхні, являє собою складну задачу в зв'язку з невизначеністю площі поверхні розділу фаз, користуються об'ємним коефіцієнтом масопередачі k_v . Було проведено дослідження масопередачі в системі сатураційний газ — цукровий розчин в розпилюючому режимі, що дозволило визначити його залежність від режимних параметрів у вигляді [10]:

$$k_v = 0,57 w_r^{0,3} U^{0,56} (G_{H_2O} / V_{аб})^{-0,28}, \quad (5)$$

де w_r — приведена швидкість газу, м/с, U — густина зрошення, м³/(м²·с), G_{H_2O} — масова кількість випарованої води, кг/с, $V_{аб}$ — об'єм розпилюючого абсорбера, м³.

Рівняння (4) справедливе в діапазоні зміни параметрів:

$$w_r = 0,01 \text{ — } 1,2 \text{ м/с; } U = 0,005 \text{ — } 0,05 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$$

Рівняння (5) достатньо повно відображає фізико-хімічні процеси, що відбуваються в розпилюючому абсорбері і дозволяє з високою точністю знайти k_v . Паровий потік в газову фазу суттєво зменшує масопередачу CO₂ з сатураційного газу в цукровий розчин і відіграє значну роль при високій температурі другої сатурації. Цьому є підтвердження більш низький коефіцієнт використання діоксиду вуглецю на другій сатурації.

Приведені співвідношення дозволяють коректно розрахувати коефіцієнт масопередачі CO₂ в двохсекційному сатураторі з першою розпилюючою ступенню контакту фаз, що співпадає з експериментальними даними.

В свою чергу гідравлічний опір обладнання ΔP залежить від типу абсорбера, що використовується в даному технологічному процесі та пропорційний швидкості газової фази:

$$\Delta P \approx \xi \frac{\rho_r w_r^2}{2}, \quad (6)$$

де v — швидкість руху газової фази, м/с; ρ_r — густина газу, кг/м³.

З приведених рівнянь можна зробити висновок, що при збільшенні швидкості руху газової фази збільшується гідравлічний опір обладнання, і відбувається збільшення швидкості масопередачі. Тобто дана задача є оптимізаційною.

Другим значним резервом збільшення швидкості масопередачі є створення максимально великої поверхні контакту фаз, що можливо при розпилюванні рідини форсункою. Верхньою межею цього процесу є виніс рідкої фази газовою.

Аналіз рівнянь масопередачі показує, що створення обладнання, в якому процеси масопередачі відбуваються з високою інтенсивністю, однозначно приводить до зменшення викидів. Такий шлях зменшення забруднення середовища реалізується в сучасних апаратах сатурації, одним з яких є сатуратор з першою розпилюючою стадією контакту фаз та наступною барботажною. Проведені дослідження показали можливість зменшення викидів та покращення якісних показників обробленого соку. Однак, викиди хоч і зменшуються, та вони все таки є.

Для їх утилізації авторами статті пропонується проста в реалізації технологічна схема. Вона дозволяє мінімізувати вплив агресивних газів на середовище, та повністю утилізувати на технологічні потреби теплоту насиченого водяним паром відпрацьованого сатураційного газу.

Зменшення концентрації CO₂ та SO₂ в відпрацьованих газах можливе при абсорбційному очищенні, як найбільш економічному та простому в реалізації.

Невирішеним питанням є те, на які технологічні потреби направити утилізовані потенціали, щоб потім не виникла нова проблема утилізації скидів.

Технічний аналіз відділень цукрового заводу показав, що найкращим варіантом для використання відпрацьованих газів з апаратів сатурації та сульфитації є попередня обробка ними бурякової стружки. В дифузійні апарати бурякова стружка потрапляє з низькою температурою (особливо це відчутно в холодну пору року), а тому на початковій стадії екстрагування цукрози майже не відбувається [18]. Для прогріву стружки використовують рекуперативний та інтенсивний підвід тепла через стінки парових камер, нагріваючи її до оптимальної температури 65...70 °С. Однак, швидко нагріти великий об'єм холодної стружки в апараті теплообмінно, бо температура стінок теплообмінних поверхонь не може бути високою, оскільки можливе розварювання стружки, внаслідок чого значно погіршується екстрагування цукрози, збільшуються її втрати в жомі (по технологічним показникам вони не повинні перевищувати 0,3...0,4 % до маси жому). Для досягнення нормативних величин втрат продуктивність дифузійних апаратів знижують.

Для покращення процесу екстрагування цукрози використовується попереднє ошпарювання стружки гарячим дифузійним соком, або насиченим водяним паром [7] з температурою 101 °С.

В останньому випадку, пара віддає теплоту пароутворення та нагріває стружку, конденсується на ній і потрапляє в дифузійний апарат. При контакті пари високого потенціалу з буряковою стружкою відбувається денатурація оболонок клітин і клітинний сік вільно переходить в екстрагент. Однак внаслідок контакту бурякової стружки з насиченим паром можливе розварювання стружки, втрата нею пружності, різке погіршення умов процесу екстрагування цукрози і загалом не отримується очікуваний позитивний ефект.

Подача для ошпарювання бурякової стружки відпрацьованого сатураційного або сульфитаційного газів дозволяє:

- скоротити процес теплової обробки бурякової стружки шляхом попереднього контакту з викидами гарячого сатураційного та сульфитаційного газів;
- внаслідок наявності в відпрацьованому сатураційному газі невикористаного CO_2 концентрацією 10–15 об. % одночасно з конденсацією пари з сатураційного газу проходить процес абсорбції CO_2 з утворенням на буряковій стружці вугільної кислоти (H_2CO_3) та знижується рН, що, як відомо, призводить до покращення вилучення цукрози з бурякової стружки за рахунок збільшення її пружності;
- внаслідок неповної утилізації SO_2 в відпрацьованому газі після сульфитаційних установок проходить процес абсорбції SO_2 , що знижує рН розчину та покращує екстрагування цукрози з бурякової стружки за рахунок збільшення її пружності;

— досягається додаткова утилізація діоксиду вуглецю з відпрацьованого сатураційного газу та діоксиду сірки з відпрацьованого газу після сульфитаційних установок, що зменшує забруднення атмосфери та додатково утилізує тепло великого об'єму газу, що викидався в атмосферу.

Принципова схема використання відпрацьованого сатураційного газу з апаратів сатурації та сульфитації представлена на рис. 1.

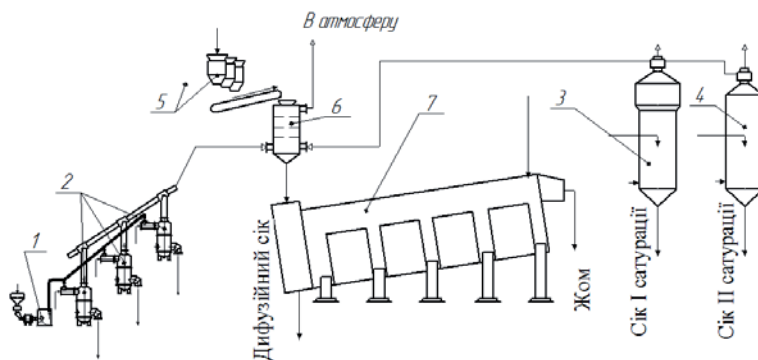


Рис. 1. Принципова схема ошпарювання бурякової стружки: 1 — сіркоспалювальна піч; 2 — апарати сульфитації; 3 — апарат першої сатурації; 4 — апарат другої сатурації; 5 — бурякорізки; 6 — ошпарювач бурякової стружки; 7 — дифузійний апарат

Буряки зрізуються на стружку в бурякорізках 5, яка потрапляє в предошпарювач 6, в нижню частину якого направляється відпрацьований газ з апаратів сульфитації 2 та апаратів першої та другої сатурації 3 і 4. В апараті 6 проходить контактний теплообмін та абсорбція агресивних газів, після чого вони видаляються в атмосферу. Попередньо оброблена бурякова стружка потрапляє в дифузійний апарат 7 для екстрагування цукрози.

В ролі ошпарювача бурякової стружки може бути використана вертикальна циліндрична ємність (предошпарювач) з перфорованими перегородками всередині та вирізом для переходу стружки з секції в секцію. Принципова схема такого предошпарювача приведена на рис. 2.

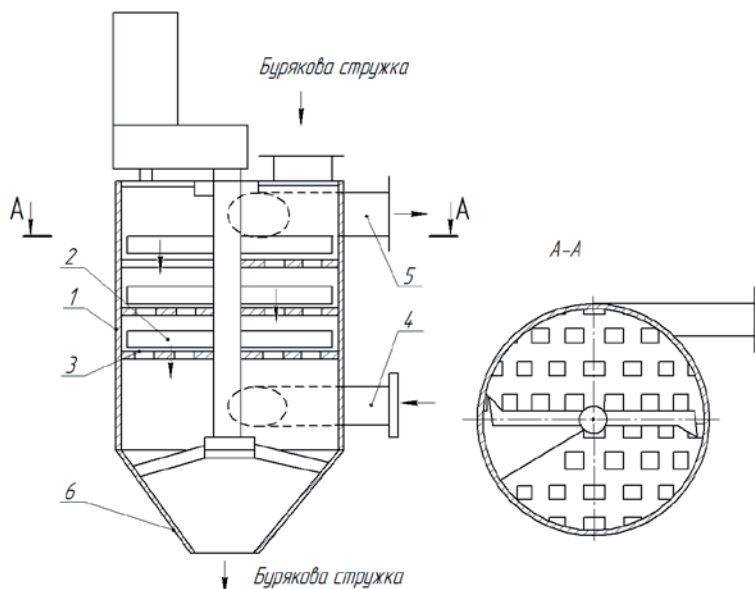


Рис. 2. Предошпарювач бурякової стружки: 1 — корпус; 2 — рухомі лопатки; 3 — перфоровані сита; 4 — патрубок підводу відпрацьованих газів; 5 — патрубок відводу газів; 6 — вивантажувальний конус

За допомогою рухомих лопаток на валу стружка переміщується по перегордкам до вирізів та пересипається через них в нижню секцію і з неї потрапляє в дифузійний апарат. Відпрацьований газ подається в нижню частину ємності під нижню перфоровану перегородку. При переході з секції в секцію ошпарювача буде зменшуватись температура відпрацьованого газу та концентрація діоксиду вуглецю та сірки.

На виході з такого ошпарювача внаслідок контактного теплообміну температура сатураційного газу практично рівна температурі стружки, а концентрація CO₂ та SO₂ в такому газі значно знижується, що зменшує забруднення атмосфери агресивними газами.

Слід також звернути увагу на те, що при конденсації пари на поверхні холодної стружки відбувається зменшення об'єму газу, тобто ошпарювач стружки працює як контактний конденсатор, тому додаткового обладнання для подачі відпрацьованого газу в нього не потрібно.

Крім того, зменшення рН розчину внаслідок утворення вугільної або сірчаної кислоти дозволить зменшити витрати сірки або сірчаної кислоти (в залежності від способу сульфатації рідини) для сульфатації екстрагенту, що подається в дифузійний апарат до оптимального значення рН 5,8...6,1.

7. Висновки

1. Констатуються наявність значних втрат теплового та хімічного потенціалу на цукрових заводах внаслідок значних викидів сатураційного та сульфатаційного газів після апаратів. Утилізацією викидів займаються епізодично без системного підходу. Одна з причин такого стану — відсутність стимулювання та економічно вигідних для виробництва схем їх утилізації.

Інтенсифікація процесів масопередачі в сатураторах та сульфитаторах приводить до зменшення таких викидів. Запропоноване обладнання для проведення процесів сатурації, наприклад сатуратор з першою розпилюючою стадією сатурації та наступною барботажною, дозволяє зменшити викиди CO₂ майже на 20 % без значних додаткових затрат.

2. На цукрових заводах відсутні технологічні схеми, що дозволяють економічно вигідно повністю утилізувати як теплові викиди, так і хімічний потенціал газів.

3. Запропонована технологічна схема кінцевої утилізації агресивних викидів після апаратів сатурації та сульфатації передбачає попереднє ошпарювання бурякової стружки перед її подачею в дифузійний апарат. Реалізація запропонованої схеми дозволяє економити матеріальні та теплові потоки цукрового заводу, зменшити витрати палива та матеріалів на виробництво цукру-піску. Обладнання просте по конструкції і може бути виготовлено в майстернях цукрового заводу.

Література

- Cuéllar-Franca, R. M. Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts [Text] / R. M. Cuéllar-Franca, A. Azapagic // Journal of CO₂ Utilization. — 2015. — Vol. 9. — P. 82–102. doi:10.1016/j.jcou.2014.12.001
- Fairbairn, E. M. R. Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits [Text] / E. M. R. Fairbairn, B. V. Americano, G. C. Cordeiro, T. P. Paula, R. D. Toledo Filho, M. M. Silvosio // Journal of Environmental Management. — 2010. — Vol. 91, № 9. — P. 1864–1871. doi:10.1016/j.jenvman.2010.04.008
- Duraccio, V. Carbon capture and reuse in an industrial district: A technical and economic feasibility study [Text] / V. Duraccio, M. G. Gnoni, V. Elia // Journal of CO₂ Utilization. — 2015. — Vol. 10. — P. 23–29. doi:10.1016/j.jcou.2015.02.004
- Mahwar, R. S. Environmental auditing programme in India [Text] / R. S. Mahwar, N. K. Verma, S. P. Chakrabarti, D. K. Biswas // Science of The Total Environment. — 1997. — Vol. 204, № 1. — P. 11–26. doi:10.1016/s0048-9697(97)00161-7
- Klemeš, J. Making progress toward sustainability by using cleaner production technologies, improved design and economically sound operation of production facilities [Text] / J. Klemeš, D. Huisingh // Journal of Cleaner Production. — 2005. — Vol. 13, № 5. — P. 451–454. doi:10.1016/j.jclepro.2004.01.001
- Разладин, Ю. С. Справочное пособие по экономии топливных энергоресурсов на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / Ю. С. Разладин, С. Ю. Разладин. — К., 2010. — 582 с.
- Штангеев, К. О. Шляхи енергозбереження в цукровому виробництві [Текст]: навч. посібник / К. О. Штангеев. — К.: УДУХТ, 2003. — 32 с.
- Выскребцов, В. Б. Утилизация сернистого ангидрида и расход серы [Текст] / В. Б. Выскребцов // Сахар. — 2003. — № 5. — С. 46–48.
- Maravić, N. Economic analysis and LCA of an advanced industrial-scale raw sugar juice purification procedure [Text] / N. Maravić, F. Kiss, L. Šereš, B. Bogdanović, B. Bogdanović, Z. Šereš // Food and Bioproducts Processing. — 2015. — Vol. 95. — P. 19–26. doi:10.1016/j.fbp.2015.02.004
- Ponomarenko, V. Sprays fluid: an effective way to intensify the processes in the food [Text] / V. Ponomarenko, N. Pushanko. — Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. — 120 p. — ISBN: 978-3-659-70944-9.
- Пономаренко, В. В. Способи підвищення використання діоксиду вуглецю в апаратах першої та другої сатурації [Текст] / В. В. Пономаренко, В. Г. Мирончук // Цукор України. — 2013. — № 7–8(91–92). — С. 17–21.
- Пономаренко, В. В. Спосіб підвищення ефективності роботи сатураційних апаратів [Текст] / В. В. Пономаренко // Цукор України. — 2014. — № 7(103). — С. 13–16.
- Спосіб сатурації цукрових розчинів [Електронний ресурс]: Патент 104097 UA, МПК С 13В 20/00 (2013.01) / Пономаренко В. В., Пушанко Н. М.; заявник Національний університет харчових технологій. — № а 201213580, заявл. 27.11.2012; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/5-104097-sposib-saturacii-cukrovikh-rozchiviv.html>
- Сатуратор-нагрівач [Електронний ресурс]: Патент 25558 UA, МПК С13Д 3/04 (2007.01) / Пушанко М. М., Пушанко Н. Н., Гагіна Д. О.; заявник Національний університет харчових технологій. — № а 200704073; заявл. 13.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/2-25558-saturator-nagrivach.html>
- Установка для утилізації теплоти та очистки парогазових викидів виробництв [Електронний ресурс]: Патент 36136 UA, МПК F28D7/00, F28C3/06 / Разладин С. Ю., Разладин Ю. С., Прядко М. С.; заявник Національний університет харчових технологій. — № а 99116058; заявл. 04.11.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/4-36136-ustanovka-dlya-utilizacii-teplotita-ochistki-parogazovikh-vikidiv-virobniactv.html>
- Расширение мощностей по очистке сока на сахарном заводе Бреда [Текст] // Инф. бюллетень БМА. — 1994. — 32 с.
- Штангеев, В. О. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства [Текст] / В. О. Штангеев, В. Т. Корбер, Л. Г. Белостоцкий и др.; под ред. В. О. Штангеева. — К.: Цукор України, 2003. — Ч. 1. — 352 с. — ISBN 966-96351-0-1.
- Broughton, N. W. Some technological aspects of alkaline diffusion [Text] / N. W. Broughton, N. F. Wkoge // International Sugar Journal. — 1992. — Vol. 94, № 1126. — P. 38–49.

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫБРОСОВ САХАРНОГО ЗАВОДА

Проведен анализ состояния утилизации выбросов на отечественных и зарубежных сахарных заводах. Констатируется значительное загрязнение окружающей среды промышленными

выбросами при низкой стимуляции решения этих вопросов. Одна из причин — отсутствие экономически обоснованных технологических схем. Предложенная схема утилизации выбросов предполагает предварительную обработку свекловичной стружки отработанными газами из аппаратов сатурации и сульфитации.

Ключевые слова: выбросы, сахарный завод, агрессивные газы, технологическая схема.

Пономаренко Віталій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, e-mail: vponomarenkov@ukr.net.

Пушанко Наталія Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології цукру та підготовки води, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, e-mail: oks-n@ukr.net.

Пушанко Микола Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, e-mail: npushankon@i.ua.

Пономаренко Віталій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет пищевых технологий, Киев, Украина.

Пушанко Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии сахара и подготовки воды, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

Пушанко Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

Ponomarenko Vitaly, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: vponomarenkov@ukr.net.

Pushanko Natalia, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: oks-n@ukr.net.

Pushanko Nicholas, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: npushankon@i.ua

УДК 66.066

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47694

**Севостьянов И. В.,
Слабкий А. В.,
Полищук А. В.,
Ольшевский А. И.**

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИБРОУДАРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ПРЕСС-ФОРМЕ

В статье приводится схема высокоэффективной установки с гидроимпульсным поводом для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств (спиртовой барды, пивной дробины, свекольного жома, кофейного и ячменного шлама) в пресс-форме закрытого типа. Приведено также сравнение экономической эффективности предлагаемой установки с эффективностью другого известного оборудования для обезвоживания отходов пищевых производств.

Ключевые слова: виброударное обезвоживание, отходы пищевых производств, пресс-форма, экономическая эффективность.

1. Введение

Проблема утилизации отходов пищевых производств (спиртовой барды, пивной дробины, свекольного жома, кофейного и ячменного шлама) является одной из наиболее актуальных в Украине, поскольку на данный момент большая часть данных отходов выливается на грунт, что приводит к загрязнению окружающей среды. Однако в случае обезвоживания отходов они могут успешно использоваться в качестве добавки к сельскохозяйственным кормам, либо как высококалорийное топливо [1], таким образом, комплексно решаются проблемы утилизации отходов, повышения эффективности производства и защиты окружающей среды.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящий момент известно достаточно большое количество способов обезвоживания отходов пищевых производств и оборудования для их реализации, каждый из которых имеет свои недостатки [1]. Разработке и исследованию данных способов и оборудования посвящено значительное число научных работ [2–13]. Механические способы обезвоживания осуществляются

в основном на шнековых и ленточных прессах, а также на декантерных центрифугах [2–4], иногда с наложением вибрационных воздействий для интенсификации [5, 6] и обеспечивают конечную влажность спиртовой барды, свекольного жома и пивной дробины в пределах 30–76 % (меньшее значение достигается при существенном снижении производительности рабочего процесса и увеличения его энергоемкости). Последнее вынуждает после предварительного механического обезвоживания отходов подвергать их дополнительной сушке, что обуславливает существенное увеличение общей энергоемкости процесса утилизации (до 740–760 кВт·ч/т [7, 8, 11]), даже в случае использования наиболее экономичных вакуумных сушилок. Термические способы, реализуемые на тех же сушилках являются наиболее энергоемкими. Электролитическое обезвоживание [10] сравнительно малопродуктивно (используется в основном для осветления небольших объемов соков) и требует достаточно больших затрат энергии. Аналогичные недостатки имеют химические и биологические способы (длительность разделения твердой и жидкой фаз порции отходов в биологических реакторах может составлять 10–40 ч), тогда как оборудование для их осуществления является чрезвычайно громоздким и дорогим [12, 13]. Таким образом, проблема разработки высокоэффективных способа