

Способи підвищення використання діоксиду вуглецю в апаратах першої та другої сатурації

В.В. Пономаренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій
В.Г. Мирончук, доктор технічних наук, професор кафедри Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій

У статті розглянуті способи підвищення використання діоксиду вуглецю та зроблена їх оцінка. Запропоновано використовувати відпрацьований сатураційний газ з апарату першої сатурації на другій сатурації. При цьому зменшується загальна витрата сатураційного газу а також втрати тепла.

Ключові слова: сатуратор, станція сатурації, барботаж, ежектори, форсунка, діоксид вуглецю, втрати тепла.

В статье рассмотрены способы повышения использования диоксида углерода и сделана их оценка. Предложено использовать отработанный сатурационный газ из аппарата первой сатурации на второй сатурации. При этом уменьшается общий расход сатурационного газа а также потери тепла.

Ключевые слова: сатуратор, станция сатурации, барботаж, эжекторы, форсунка, диоксид углерода, потери тепла.

The paper considers ways to increase the use of carbon dioxide, and made their assessment. Proposed to use the exhaust gas from carbonated carbonation device first to the second carbonation. This reduces the total consumption of carbonated gas and heat loss.

Keywords: saturator station carbonation bubbling ejectors nozzle carbon dioxide, heat loss.

Постановка проблеми

Аналіз роботи апаратів сатурації на цукровому заводі показує, що коефіцієнт використання діоксиду вуглецю є низьким а викиди відпрацьованого сатураційного газу призводять не тільки до значного забруднення атмосфери але і до великих втрат тепла. Для покращення роботи станцій сатурації по використанню діоксиду вуглецю пропонується в основному два шляхи:

- підвищення рівня соку в апаратах, через який барботує сатураційний газ та встановлення в барботажному об'ємі сатуратора різних конструкцій газорозподільників, пульсаторів;
- в надсоковому просторі сатуратора встановлення додаткових розподільників соку;
- також відомий і загалом практично не використовується спосіб підвищення використання CO_2 , коли сатураційний газ перед подачею в апарати насичується водяними парами до рівноважного стану або перевищує його при температурі сатурації. В цьому випадку також прискорюються процеси масопередачі та підвищується використання CO_2 , температура розчину в апаратах не знижується.

Такі заходи загалом раціональні, однак вони направлені в основному на вирішення пробле-

ми підвищення використання діоксиду вуглецю (CO_2) в окремо взятому апараті першої або другої сатурації. Комплексного підходу до вирішення проблеми низького використання CO_2 не відомо.

Аналіз останніх публікацій

Основними недоліками роботи апаратів першої і другої сатурації [1] є:

- низький ефект очищення цукрового розчину від нецукрів, що не перевищує 40%;
- низька ефективність використання діоксиду вуглецю (коефіцієнт використання CO_2 в апаратах 1-ої сатурації - 60-65% , в апаратах 2-ої сатурації – не перевищує 50%);
- значні втрати тепла з вихідним газом.

Збільшення ефективності очищення соку 1 сатурації вапняково-вуглекислотним методом досягається секціонуванням апарату. Переходячи із секції в секцію лужність соку поступово зменшується і нецукри ефективно осаджуються на кристалах карбонату кальцію.

Що стосується підвищення використання діоксиду вуглецю з сатураційного газу, то одним із способів є збільшення рівня соку через який барботує сатураційний газ [2]. При цьому дійсно збільшується коефіцієнт використання CO_2 . На-

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

приклад, при збільшення рівня соку з 4 м до 6 м, коефіцієнт використання зростає до 90%.

Одним з ефективних способів підвищення використання CO_2 є використання гідравлічних форсунок для диспергування соку в надсоковому просторі сатуратора. При цьому досягається утилізація CO_2 на 15-20% більша [3].

Перевагою такого способу збільшення використання CO_2 є незначні капітальні витрати та можливість силами заводу зробити таку модернізацію.

У Росії останнім часом ведуться роботи по використанню ежекційних апаратів в якості першої ступені сатурації. Такі пристрої прості по конструкції, ефективні по проведенні масообмінних процесів, знижують тиск подачі сатураційного газу в апарат, секціонують апарати сатурації, що дозволяє отримувати цукрові розчини з меншим вмістом нецукрів внаслідок отримання карбонату кальцію з підвищеною адсорбційною здатністю.

Сатуратор такої конструкції [4] являє собою двосекційний апарат з першою ежекційною ступенню та наступною барботажною. В ежекційний апарат подається дефекований сік та частина (біля 40-60%) свіжого сатураційного газу. Друга частина газу потрапляє в барботажну ємкість типового сатуратора. Авторами також передбачені інші схеми проведення сатурації в апаратах першої сатурації з використанням ежекторів [5].

При цьому досягнуто підвищення коефіцієнту використання CO_2 , наприклад, при сатурації клеювки цукру-сирцю при початковій концентрації газу 28-36% до 63-72%. Час сатурації склав 1хв. в ежекційній ступені та 4 хв. в барботажній.

Мета статті

Таким чином, наведений аналіз способів підвищення використання CO_2 в апаратах сатурації показує, що дані методи можливо використовувати в окремо взятому апараті. Оцінимо енергетичні затрати на проведення сатурації.

Виклад основного матеріалу

Підняття рівня соку в апаратах сатурації є доволі простим рішенням для досягнення більш високого коефіцієнту використання CO_2 . Однак, крім нових капітальних витрат на встановлення більш потужного обладнання для стиснення газу необхідно затрачувати також більше енергії. Визначимо роботу адиабатичного стиснення 1 м^3 газу $L_{ад}$, що затрачується додатково для проведення сатурації шляхом підняття рівня соку в апараті з 4 м (мін надлишковий тиск стиснення газу в компресорі 0,04 МПа) до 6 м (мін надлишковий тиск стиснення – 0,06 МПа) та при температурі газу на вході 30°C [6]:

$$L_{ад} = \frac{k}{k-1} \cdot p_1 \cdot v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right],$$

де k – показник адиабати;

p_1 – тиск всмоктування, $p_1 = 0,03$ МПа;

p_2 – тиск нагнітання; $p_2^1 = 0,14$ МПа, $p_2^2 = 0,16$ МПа;

v_1 – питомий об'єм газу при всмоктуванні; $v_1 = 0,714$ $\text{м}^3/\text{кг}$.

Оціночний розрахунок показує, що при стисненні кожного 1 м^3 газу за таких умов потрібно додатково затратити 0,01 МДж енергії.

Потужність на валу двигуна компресора при стисненні 1 м^3 газу та при його механічному к.к.д. $\eta_{\text{мех}} = 0,8$ можливо знайти по формулі:

$$N = \frac{L_{ад}}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{p_1 v_1 \cdot \ln(p_2/p_1)}{1000 \cdot \eta_{\text{мех}}}$$

Після підстановки величин потужність N , при стисненні газу до надлишкового тиску 0,04 МПа складе:

$$N_1 = 42,6 \text{ кВт}$$

а при стисненні газу до надлишкового тиску 0,06 МПа:

$$N_2 = 52,8 \text{ кВт}$$

Тобто, для стиснення 1 м^3 газу необхідно затратити додатково 10,2 кВт.

Температура газу адиабатичного стиснення знаходиться за формулою:

$$T_k = (273 + t_1) \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

де t_1 – температура газу на вході.

В першому випадку газ буде мати температуру біля 83°C , в другому – 96°C .

При використанні розпилювання соку в надсоковому просторі сатуратора потужність насоса, що стискує рідину знаходиться з виразу:

$$N = \frac{Q \rho g H}{1000 \zeta},$$

де Q – витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – манометричний тиск рідини, м. Для можливості диспергування рідини форсункою манометричний тиск рідини повинен бути біля 0,2 МПа.

ζ – к.к.д. насоса, може бути 0,8.

Підстановка числових величин дає необхідну орієнтовану потужність для стиснення 1 м^3 рідини – 245 кВт.

Враховуючи, що при сатурації цукрових розчинів на кожний кубічний метр рідини необхідно барботувати через шар розчину біля сорока об'ємів газу можна бачити, що для того, щоб отримати коефіцієнт використання діоксиду вуглецю біля 80% шляхом підняття рівня соку в апараті до 6 м або шляхом розпилювання рідини в надсоковому просторі сатуратора в останньому випадку затрати енергії будуть приблизно в 7 разів менші. Що ж стосується збільшення ефекту очищення цукрового розчину, то в випадку розпилювання соку він досягається, так як при цьому проходить секціонування апарату, що, як відомо, приводить до виділення зони більш високої лужності де від-

бувається утворення кристалічного карбонату кальцію високої адсорбційної здатності на якому проходить виділення нецукрів, а отже і досягається більш висока якість очищення. Стосовно апаратів сатурації, в яких збільшений рівень соку з метою досягнення більш високого коефіцієнту використання CO_2 , можна відмітити, що при цьому збільшується лише об'єм апарату, погіршуються гідродинамічні умови, присутнє явище «сумарної лужності» (лужність соку в апараті рівна лужності соку на його виході).

Та не дивлячись на безперечні переваги розпилювання соку в надсоковому просторі перед простим збільшенням рівня соку та приведені орієнтовані розрахунки при виборі шляху підвищення утилізації CO_2 на заводі приймається другий шлях. Можливо тут грає роль столітній досвід роботи станції сатурації в барботажному режимі, відомі наперед недоліки роботи та шляхи боротьби з ними, а можливо такі недоліки приймаються як належне.

Нами пропонується новий спосіб сатурації цукрових розчинів, що оснований на використанні відпрацьованого сатураційного газу першої сатурації в якості сатураційного газу на другій сатурації [7].

Спосіб очищення цукрового розчину полягає у наступному (один з варіантів технологічної схеми - **рис.1**).

апарат першої сатурації 2, де він обробляється сатураційним газом, який отримується на заводі в вапняково-обпалювальній печі з концентрацією 30–35% CO_2 . В сатураторі при температурі ведення процесу близько 78°C в результаті абсорбції діоксиду вуглецю цукровим розчином і хімічної реакції його з розчиненим вапном утворюються кристали карбонату кальцію, які на своїй поверхні адсорбують нецукри і таким чином проходить фізико-хімічне очищення цукрового розчину від нецукрів.

Після обробки розчину до кінцевої лужності 0,1% CaO сік нагрівається в підігрівачах 3 до температури $85\text{--}90^\circ\text{C}$ і поступає в напірний збірник 4, з якого направляється в фільтри згущувачі 5 (або у відстійники), де проходить розділення соку на освітлену фракцію і суспензію. Згущена суспензія направляється в вакуум-фільтри 6 для виділення з неї освітленого соку.

Весь отриманий освітлений сік подається на контрольну фільтрацію в дискові фільтри 7.

Після фільтрів сік насосом подається на підігрівач 8, нагрівається до температури 95°C і направляється в ежекційний змішувачий апарат 9.

Сюди ж подається, при необхідності, для збільшення адсорбційного очищення і отримання фільтруемого осаду вапнякове молоко в кількості біля 0,2% CaO . В ежекційному апараті за рахунок витoku струмини рідини через сопло форсунки ство-

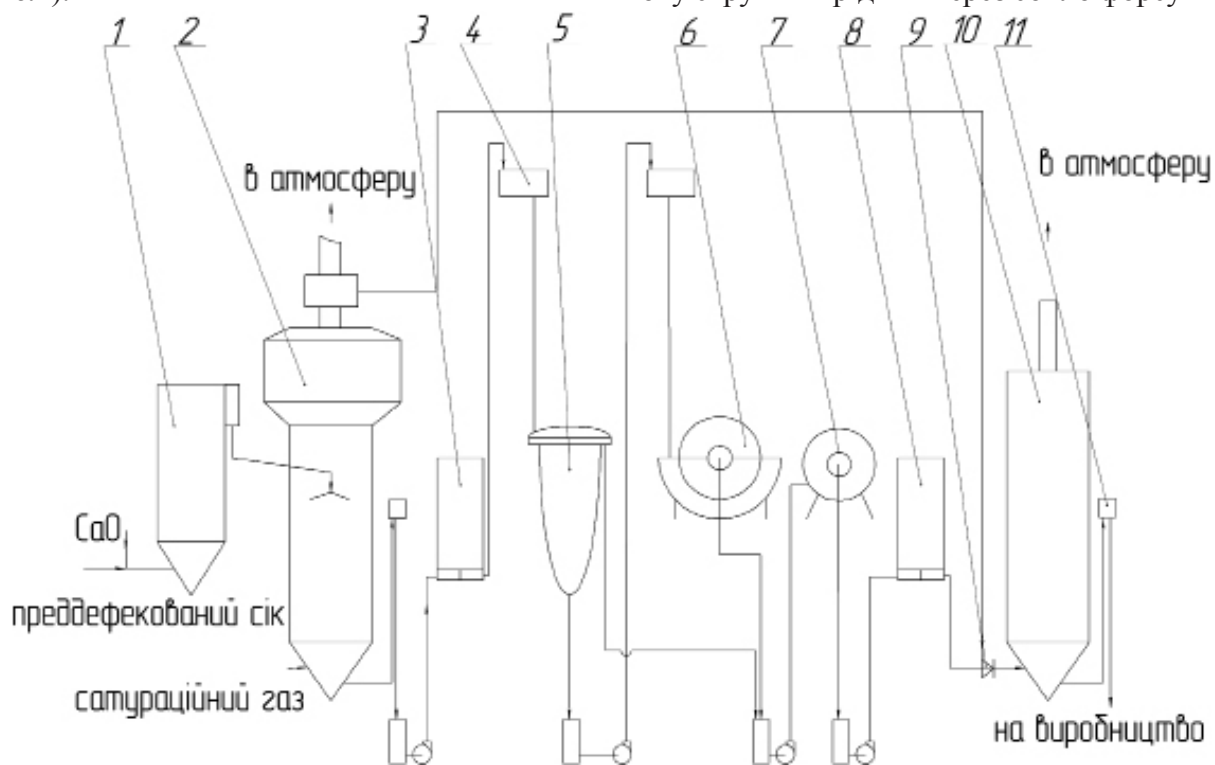


Рис. 1. Технологічна схема використання CO_2

Преддефектований цукровий розчин потрапляє в дефекатор 1 на основну дефекацію, куди також добавляється 2,5–3% CaO де проходить хімічне очищення цукрового розчину від нецукрів. Лужність соку при цьому складає рН 12,2–12,3.

Дефектований цукровий розчин подається в

рюються умови для втягування відпрацьованого сатураційного газу з апарату першої сатурації.

Далі з ежекційного апарату суміш соку, сатураційного газу та вапнякового молока поступає в апарат другої сатурації 10, де лужність соку знижується до 0,015–0,020% CaO і вже такий сік че-

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

рез переливний ящик 11 поступає на подальшу обробку на виробництво.

Сатураційний газ, який потрапляє в ежекційний апарат з апарату першої сатурації має достатню кількість діоксиду вуглецю для проведення процесу другої сатурації. Так при вхідній концентрації CO_2 в апарат першої сатурації 30-35% та при коефіцієнті використання діоксиду вуглецю порядку 60–70% вихідна концентрація CO_2 в газі складає 9–14%.

При таких концентраціях реагентів для нормального протікання процесу другої сатурації повинне виконуватись співвідношення сік-газ близько 20 (або кожна частина соку повинна ежектувати 20 частин відпрацьованого сатураційного газу з апарату першої сатурації).

Такий коефіцієнт ежекції отримують в струминних ежекційних апаратах з дисперговою струминою, де в якості робочого сопла використовується різні розпилювачі рідини (форсунки).

Сатураційний газ, який потрапляє з вапняково-обпалювальної печі в апарат першої сатурації насичений парами води при температурі близько 30°C та має температуру після стискання близько 70°C . В апараті сатурації газ насичується парами води та приходить в стан рівноваги при температурі $75-78^\circ\text{C}$. При цьому температура соку знижується на $2-5^\circ\text{C}$. При роботі по схемі очищення цукрового розчину, прийнятій за типову, сатураційний газ з вихідною концентрацією CO_2 9–14% видаляється в атмосферу, значно її забруднюючи та вносячи з собою значну кількість тепла.

У випадку використання для очищення цукрового розчину запропонованої схеми в апараті другої сатурації, де температура процесу становить біля 95°C для приведення в стан рівноваги буде потрібно значно менше тепла, ніж при використанні газу з вапняково-обпалювальної печі, а значить і зниження температури соку в апараті другої сатурації буде мінімальним.

Таким чином, для можливості роботи заводу по даній схемі додатково встановлюється ежекційний апарат з дисперговою струминою рідини в якості робочого тіла та трубопроводи подачі відпрацьованого сатураційного газу з апарату першої сатурації в ежекційний апарат.

Використання відпрацьованого сатураційного газу з апарату першої сатурації дозволить зменшити загальні витрати сатураційного газу на проведення процесів сатурації, що в свою чергу дозволить заощадити деяку кількість палива, що використовується для отримання сатураційного газу в вапняково-обпалювальній печі. Так як сатураційний газ після першої сатурації знаходиться при температурі соку і насичений парами води, то використання такого газу на другій сатурації зменшить втрати тепла з вихідним газом а значить і зменшить зниження температури соку на другій сатурації, що приведе до зменшення витрати кіль-

кості тепла для подальшого підігріву соку. Крім того, повторне використання сатураційного газу після апарату першої сатурації на другій сатурації приведе до більш повного виснаження сатураційного газу від діоксиду вуглецю, а це в свою чергу дозволить зменшити забруднення атмосфери.

Висновки

1. Коефіцієнт використання діоксиду вуглецю в апаратах сатурації є низьким, що приводить до значного забруднення атмосфери CO_2 а також до великих втрат тепла з викидними газами.

2. Збільшення використання CO_2 шляхом підняття рівня соку в апараті є енергозатратним методом та не покращує якість очищення соку від нецукрів.

3. Більш доцільним методом збільшення використання діоксиду вуглецю є розпилювання соку в надсоковому просторі сатуратора: з однієї сторони це потребує значно менших затрат енергії, а з другої сторони це секціонує апарат на зони а отже покращує ефективність очищення соку від нецукрів.

4. Перспективним є використання відпрацьованого сатураційного газу з апарату першої сатурації на другій сатурації. Вмісту CO_2 достатньо для проведення другої сатурації, також знижуються затрати тепла з відпрацьованим сатураційним газом.

Список використаних джерел

1. *Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства*. В 2-х ч. Ч.1. / В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.; Под ред. В.О. Штангеева. – К.: «Цукор України», 2003. – 352 с.

2. *Повышение утилизации углекислого газа в типовых сатураторах*. / Карташов А.К.; Онишко Л.И., Щеголев В.Н. и др. – Сахарная промышленность, 1970, №6, С. 29-31.

3. *Результаты промышленных испытаний распылительного сатуратора* / Пасечник В.П., Федоткин И.М., Тимонин А.Н. и др. - Сах. пр-ть, 1978, № 5, С. 69-72.

4. *Сатуратор для сахаросодержащего раствора*. Петров С.М., Подгорнова Н.М., Воинов С.К., Китаева Н.Л., описание изобретения к патенту RU№2292400 С1, 27.01.2007 г.

5. *Воинов С.К.* Совершенствование способа инъекционно-барботажной сатурации клеровки сахара-сырца.- Дис.... к.т.н., М.: 2008 г.С. 162.

6. *Насосы, компрессоры, вентиляторы*. Шлипченко З.С., К., Техніка, 1976, 368 с.

7. *Спосіб очищення цукрових розчинів*. Патент на винахід UA № 99474 / Мирончук В.Г., Пономаренко В.В., Гандабура І.В.- опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.

Рецензент:
М.М. Пушанко, д.т.н., проф.