

# ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ САТУРАЦІЇ У ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ У НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Ющук І.В., Ющук П.О.

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна  
yuschuk\_inna@ukr.net*

*Work on optimization of calculation process for the equipment intended for the absorption of carbon dioxide with the aim to neutralize calcium hydroxide when purifying crude juice in sugar production. Developed a mathematical model and parametric scheme to calculate the process of carbonation. Determined that the saturation with carbon dioxide of kiln gas negative impact on coefficient of its use. Was established that with the increase of CO<sub>2</sub> in the gas efficiency of its use decreases.*

Викиди CO<sub>2</sub> промисловими підприємствами кожний рік збільшуються на 2,7 % і на 2015 вони на 60 % більші рівня 1990 року — базового року для Кіотського протоколу [1].

У виробничі сезони викиди цукровими заводами парогазових сумішей в атмосфері є звичним явищем і сприймаються як неминучість. Для таких підприємств викиди CO<sub>2</sub> є значною та невирішеною проблемою [3]. Серед них найбільшими за кількістю та агресивністю є викиди відпрацьованого сатураційного газу з апаратів першої та другої сатурацій.

В складі відпрацьованого сатураційного газу знаходиться до 15 % невикористаного діоксиду вуглецю, краплі води та водяна пара. Кількісна оцінка викидів в кожному конкретному випадку залежить від багатьох факторів. Основними з них є якість виробництва сатураційного газу, досконалість обладнання для проведення процесу сатурації та дотримання оптимальних режимів його роботи.

Втрати можливо зменшити при збільшенні використання діоксиду вуглецю шляхом модернізації апаратів. Наприклад, підняття рівня соку в апараті першої сатурації з 4 м до 6 м приводить до збільшення коефіцієнта використання CO<sub>2</sub> до 70 %, що еквівалентно зменшенню теплових втрат на 1 % до маси буряків [2]. Недоліком такого способу підвищення використання CO<sub>2</sub> є значно збільшені затрати енергії на стиснення газу, заміна самого газового обладнання на більш потужне.

На кафедрі інформатики (НУХТ, м. Київ) проведено роботу по оптимізації процесу розрахунку обладнання, що призначене для поглинання діоксиду вуглецю з метою нейтралізації гідроксиду кальцію при очищенні дифузійного соку в цукровому виробництві.

З цією метою була розроблена математична модель розрахунку технологічного процесу сатурації. На математичній моделі першої сатурації досліджувався вплив конструктивних розмірів апарату: діаметра апарату, висоти соку в апараті, і технологічних параметрів: вмісту CO<sub>2</sub> в сатураційному газі, витрат вапна на очищення, температури соку в апараті,

швидкості спливання газових бульбашок на швидкість поглинання  $\text{CO}_2$  лужним соком.

Математична модель складається з рівнянь, що описують гідродинаміку руху бульбашок сатураційного газу в продукті, що обробляється, а також рівнянь для опису масообміну в апараті з урахуванням розрахунку поверхні поділу фаз і коефіцієнтів дифузії діоксиду вуглецю і масовіддачі при абсорбції в рідинному середовищі. Кінцевою метою цієї роботи є досягнення оптимального значення діаметру сатуратора в залежності від вмісту діоксиду вуглецю в сатураційному газі.

При оптимізації був врахований взаємозв'язок вище перерахованих параметрів процесу і зроблений контрольний розрахунок. За табличними даними отримані рівняння, які були використані в моделі. Це величина сталої Генрі для температур у межах  $20\text{--}90^\circ\text{C}$ , яку визначаємо за формулою, що отримана методом найменших квадратів з абсолютною похибкою, яка становить  $\delta_2 = 1,6 \cdot 10^{-2}$

$$H_e = 0,654 \cdot 10^{-4} t^2 - 9,162 \cdot 10^{-3} t + 0,157, \quad (1)$$

величина рівно вагового парціального тиску водяної пари, яку визначаємо за рівнянням, що отримано з абсолютною похибкою  $\delta_2 = 4,818 \cdot 10^{-3}$

$$P = 2,48 \cdot 10^{-4} t^2 - 2,0613 \cdot 10^{-2} t + 0,5252, \quad (2)$$

і значення динамічної в'язкості соку, яка отримана по апроксимованій з середньоквадратичною похибкою  $\delta_2 = 5,38 \cdot 10^{-10}$  формулі

$$\mu = 2 \cdot 10^{-7} t^2 - 3,8 \cdot 10^{-5} t + 2,27 \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Результатом роботи є визначення того, що теоретичний розмір сатуратора менший від тих апаратів, що використовуються на цукрових заводах і змінюється від 2,5 до 2,1 метрів із збільшенням вмісту діоксиду вуглецю в сатураційному газі. Насичення діоксидом вуглецю сатураційного газу негативно впливає на коефіцієнт його використання. Із збільшенням вмісту  $\text{CO}_2$  у газі у два рази ефективність його використання зменшується на 25%.

Так збільшення вмісту  $\text{CO}_2$  в сатураційному газі з 20 до 36% приводить до практично пропорційного збільшення швидкості поглинання  $\text{CO}_2$  сатураційним газом з  $6,0 \cdot 10^{-4}$  до  $9,0 \cdot 10^{-4}$  кмоль/с м<sup>3</sup>. При цьому збільшення діаметра апарату з 2-х до 3-х метрів дало лише незначний приріст швидкості поглинання на 2–3 % (рис. 1).

Так для заводу потужністю по переробці 3000 тисяч тон буряків на добу, з витратами на очищення 2,5% CaO до маси буряків і висотою соку в сатураторі 3,5 метри зменшення діаметра апарату з трьох до двох метрів і зменшенням швидкості спливання бульбашок сатураційного газу від 0,3 до 0,1 м/с приводить до зростання швидкості поглинання CO<sub>2</sub>.

Збільшення рівня соку в апараті від 3-х до 4-х метрів, при решті сталих параметрів, приводить до незначного збільшення, на  $0,2 \cdot 10^{-4}$  кмоль/см<sup>3</sup>, а збільшення температури процесу від 65 до 75 °С до збільшення на  $0,75 \cdot 10^{-4}$  кмоль/см<sup>3</sup> швидкості поглинання CO<sub>2</sub>.

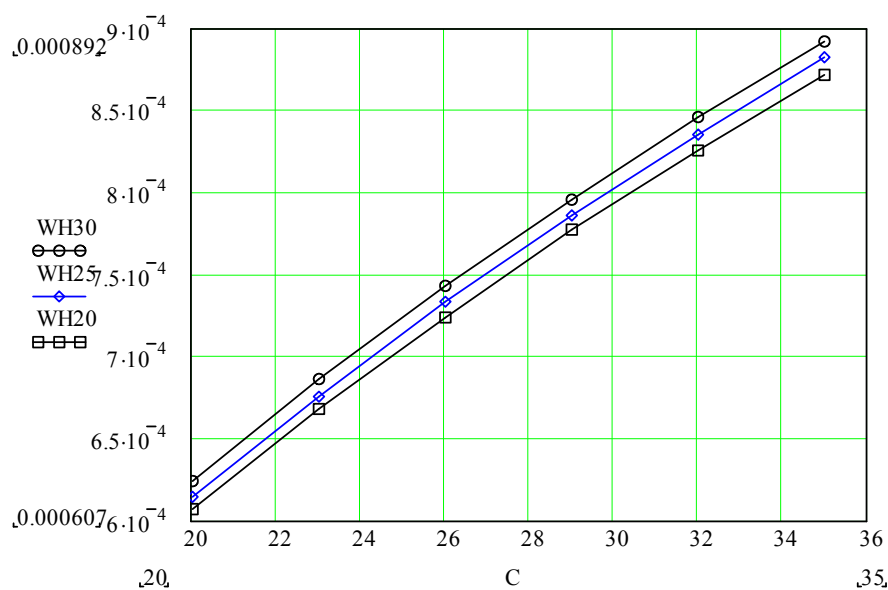


Рис. 1. Залежність швидкості поглинання CO<sub>2</sub> від вмісту CO<sub>2</sub> в газі і діаметра апарату (WH30 – 3 м; WH25 – 2,5 м; WH20 – 2 м)

## Література

1. Cuellar-Franca, R. M. Carbon capture, storage and utilisation technologies: Acritical analysis and comparison of their lifecycle environmental impacts [Text] / R. M. Cuellar-Franca, A. Azapagic // Journal of CO2 Utilization. — 2015. — Vol. 9. — P. 82–102. doi:10.1016/j.jcou.2014.12.001
2. Разладин, Ю. С. Справочное пособие по экономии топливных энергоресурсов на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / Ю. С. Разладин, С. Ю. Разладин. — К., 2010. — 582 с.
3. 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. Silvano // Journal of Environmental Management. — 2010. — Vol. 91, № 9. — P. 1864–1871. doi:10.1016/j.jenvman.2010.04.008