

ЦУКОР УКРАЇНИ №11-12(119-120)'2015

науково-практичний галузевий журнал

Засновники:

– Національна асоціація цукровиків України
– Український НДІ цукрової промисловості
– Національний університет харчових технологій

Головний редактор –

Василенко С.М., д.т.н.

Відповідальний редактор –

Полтораки В.В.

Редакційна колегія:

Дикун А.Є., голова редколегії, гол. правл. НАЦУ «Укрцукор»
Українець А.І., д.т.н., проф., ректор НУХТ
Бутнік-Сіверський О.Б., д.е.н.
Борисюк П.Г., к.с.-г.н.
Грабовська О.В., д.т.н.
Зайчківський А.О., д.е.н.
Загородній Г.Д., акад. АІНУ, гол. Ради НАЦУ «Укрцукор»
Мостенська Т.Л., д.е.н.
Калініченко М.Ф. (заст. гол. ред.)
Ладанюк А.П., д.т.н.
Логвін В.М., д.т.н.
Миرونчук В.Г., д.т.н.
Прядко М.О., д.т.н.
Рева Л.П., д.т.н.
Роїк М.В., акад. УААН, д.с.-г.н.
Сінгаєвський І.О., д.е.н.
Сичевський М.П., д.е.н. член-кор. НААНУ
Федулова І.В., д.е.н.
Хоменко М.Д., д.т.н.
Хомічак Л.М., д.т.н., член-кор. НААНУ
Чернявська Л.І., д.т.н.
Штангеев В.О., д.т.н.
Штангеев К.О., к.т.н.
Юхновський О.І., к.с.-г.н.
Ярчук М.М., к.е.н.

Редакція:

Сидоренко Н.В.

Веретка:

Кондратьєв Д.В.

Адреса редакції:

вул. Б. Грінченка, 1, оф. 522,
м. Київ, 01001, Україна

Факс: (044) 279-57-42

ukr.sugar.journal@gmail.com

Матеріали номера розглянуті та рекомендовані до публікації Науково-технічною радою УкрНДІЦП – протокол №1 від 25.03.2015 р.

Підписано до друку 25.12.2015 р.
Формат: 60X84 1/8. Друк офсетний.
Тираж 600 прим. Замовлення №10

Друкарня: ПП «Санспарель»,
01014, Україна, м. Київ,
вул. Струтинського, 6

Редакція не несе відповідальності за зміст рекламних статей та оголошень

Свідотство про державну реєстрацію КВ №16915-5685Р від 19.08.2010 р.

© «Цукор України», 2015

ЗМІСТ

НОВИНИ

Україна	4
СНД	6
Світ	7

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

Гідродинаміка окремих струменів рідини в апаратах з циліндричними розподільними пристроями [В.І. Бондар, С.М. Василенко, В.В. Шутюк]	9
Рух кремнію в напівпродуктах бурякоцукрового виробництва при використанні кремнієвмісних реагентів для додаткового очищення дифузійного соку [Л.П. Рева, С.А. Шульга]	13
Використання дигідрофосфату амонію для додаткового очищення клеровок жовтого цукру [С.П. Олянська, Я.С. Номировська, В.В. Цирульнікова]	16
Складові стічних вод бурякоцукрового виробництва, заходи щодо зменшення їх кількості та витрат свіжої води [А.І. Сорокін, К.Д. Скорик, М.Д. Хоменко, К.О. Штангеев]	21
Перспективні напрямки використання викидів цукрового заводу [В.В. Пономаренко, Д.М. Люлька, М.М. Пушанко, С.Ю. Лементар, О.С. Мельник, В.В. Перекрест]	25
Автоматизована система управління електропостачанням промислових підприємств [С.М. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.О. Копилова, Є.О. Корольов]	31
Вплив цукровмісної сировини на якість шампанських виноматеріалів [Н.Я. Гречко, І.М. Бабич, О.Ю. Пилипенко, І.С. Ільїн]	36

КРОХМАЛЕ-ПАТОКОВЕ ВИРОБНИЦТВО

Спектроскопічне дослідження картопляного пектину [Г.С. Пастух, О.В. Грабовська, О.Г. Макаренко]	40
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ

Украина	49
СНГ	51
МИР	52

ТЕХНИКА & ТЕХНОЛОГИЯ

Использование дигидрофосфата аммония для дополнительной очистки клеровок желтого сахара [С.П. Олянская, Я.С. Номировская, В.В. Цирульнікова]	54
Потери массы и сахарозы на тракте подачи свеклы в завод и пути их снижения [В.Н. Кухар, Л.И. Чернявская]	59

Перспективні напрямки використання викидів цукрового заводу

В.В. Пономаренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій
Д.М. Люлька, кандидат технічних наук, доцент кафедри Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій
М.М. Пушанко, доктор технічних наук, професор кафедри Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій
С.Ю. Лементар, кандидат технічних наук, доцент кафедри Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій
О.Є. Мельник, кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та обладнання, Донецький національний університет економіки та торгівлі, м. Кривий Ріг
В.В. Перекрест, асистент кафедри загальноінженерних дисциплін та обладнання, Донецький національний університет економіки та торгівлі (м. Кривий Ріг)

Проаналізовані викиди цукрових заводів з сатураційних та сульфітаційних апаратів. Доведена перспективність використання низькопотенційних теплових викидів та можливість абсорбційного очищення газів, що приводить до зниження енерговитрат та забруднення навколишнього середовища. Запропонована проста в реалізації схема для проведення попередньої теплової та хімічної обробки бурякової стружки.

Ключові слова: сатураційний газ, сульфітаційний газ, тепловий потенціал, бурякова стружка.

Проанализированы выбросы сахарных заводов с сатурационных и сульфитационных аппаратов. Доказана перспективность использования низькопотенциальных тепловых выбросов и возможность абсорбционной очистки газов, что приводит к снижению энергозатрат и загрязнения окружающей среды. Предложена простая в реализации схема для проведения предварительной тепловой и химической обработки свекловичной стружки.

Ключевые слова: сатурационный газ, сульфитационный газ, тепловой потенциал, свекловичная стружка.

Emissions from sugar plants and carbonated sulfatation devices are analyzed. Authors proved promising use of low-potential thermal emissions and the possibility of absorption of gas purification, which leads to lower energy consumption and environmental pollution. Artical offers easy-to-implementation schedule for the preliminary thermal and chemical processing of sugar beet chips.

Keywords: carbonation gas, sulfatation gas, heat capacity, beet shavings.

Викиди CO₂ промисловими підприємствами мають тенденцію кожний рік збільшуватись на 2,7%, а по відношенню до 1990 року – базового року Кіотського протоколу збільшились на 60% [1].

Основними забруднювачами є електростанції, заводи по виробництву цементу та цукру з тростинної та бурякової сировини та ін. Для таких країн, як Індія, Бразилія, до переліку таких країн можна віднести і Україну, на території якої знаходиться і працює значна кількість заводів, цукрова промисловість є однією з найбільш забруднюючих технологій, що викликає необхідність зменшення промислових викидів цукрових заводів.

Все більшого значення набувають екологічно чисті технології, які зменшують викиди парникових газів [2, 3]. Одним з напрямів зменшен-

ня викидів є використання відпрацьованого газу з електростанцій на процеси сатурації. Техніко-економічне обґрунтування показує, що експлуатаційні затрати цукрового заводу можуть бути при цьому на 42% меншими. Яким чином отримувати вапно для здійснення процесів хімічного очищення соку авторами не пояснюється, а запропонований шлях не вирішує проблему утилізації викидів самого цукрового заводу.

Під час виробничого сезону 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 сатурацій, а також викиди з апаратів сульфітації.

Хоча проблема відома, та її вирішенням на за-

водах практично не займаються. Однією з причин є відсутність бажання займатись утилізацією викидів, контролюючих стимулів та субсидій для здійснення цих програм.

Проте утилізація викидів стає перспективним напрямом, оскільки може перетворити викиди CO_2 в хімічні речовини і паливо. Діоксид вуглецю може зберігатись або використовуватись в різних галузях промисловості при виробництві продуктів харчування, напоїв та в фармацевтичній промисловості. Він може бути перетворений в продукцію високого попиту: мочевино, метанол і біопаливо.

На цукрових заводах утилізація викидів може зайняти свою нішу в рамках економії енергоресурсів, зменшення ризиків отримання штрафних санкцій від контролюючих органів.

В складі відпрацьованого сатураційного газу знаходиться до 15 % невикористаного діоксиду вуглецю, краплі води та водяна пара. Температура парогазової суміші в межах $75 \dots 85^\circ\text{C}$ на першій сатурації та $92 \dots 100^\circ\text{C}$ на другій сатурації. Для заводу середньої продуктивності 3000 тонн буряків на добу об'єм викидів на першій сатурації досягає $5000 \text{ м}^3/\text{год.}$, на другій сатурації – $2000 \text{ м}^3/\text{год.}$

В складі відпрацьованого газу з апаратів сульфатації знаходиться до 5% невикористаного газу SO_2 , краплі води та водяна пара при температурі $70 \dots 105^\circ\text{C}$.

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

При вказаних об'ємах парогазових викидів це призводить 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 $2,5 \dots 4,0\%$ до маси буряків [4], що призводить до зниження температури соку в апараті на $3 \dots 5^\circ\text{C}$. Об'єм газу, що викидається складає двадцять-сорок об'ємів рідини, що підлягає обробці.

Нижчими в $3 \dots 4$ рази є теплові втрати з викидами відпрацьованих газів з апаратів другої сатурації [5]. Це пов'язано з меншими витратами газу на здійснення процесу, але температура проведення другої сатурації є вищою. Об'єм газу, що викидається складає біля двадцяти об'ємів обробленої рідини.

З відпрацьованим сульфатаційним газом втрачається біля $0,25\%$ рідини до маси буряків і відбувається зниження її температури на $1 \dots 1,4^\circ\text{C}$ [6].

Теплові втрати та забруднення атмосфери викидами можливо зменшити при збільшенні використання діоксиду вуглецю та SO_2 шляхом модер-

нізації апаратів. Наприклад, підняття рівня соку в апараті першої сатурації з 4 м до 6 м приводить до збільшення коефіцієнта використання CO_2 до 70%, що еквівалентно зменшенню теплових втрат на 1% до маси буряків [6]. Недоліком такого способу підвищення використання CO_2 є значно збільшені затрати енергії на стиснення газу, заміна самого газового обладнання на більш потужне.

В роботі [7] проаналізовано процес очищення соку по схемі *novi sad-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 CO_2 , а економічний аналіз показав, що витрати 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 є першим ступенем станції сатурації [8]. В останньому випадку крім збільшення коефіцієнту використання CO_2 досягається покращення якісних показників цукрового розчину, що дозволяє отримати додатково кристалічний цукор.

Запропоновано декілька схем підвищення утилізації CO_2 за рахунок його повторного використання з відпрацьованого сатураційного газу апаратами першої та другої сатурації. Згідно схеми [9] пропонується спосіб сатурації цукрових розчинів, який заснований 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.

В роботах [10,11] пропонується використовувати відпрацьований сатураційний газ з апарату другої сатурації на першій ступені першої сатурації, яка проходить при більш низькій температурі ($80 \dots 85^\circ\text{C}$). В цьому випадку відбувається передача теплоти цукровому розчину та відпадає необхідність підігрівати сік після апарату першої сатурації перед фільтрацією до температури 90°C . 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 міститься

велика кількість діоксиду вуглецю, його достатньо для проведення першого ступеня I сатурації в двохсекційному сатураторі в розпилюючому режимі з 20...30% ступенем карбонізації. При цьому досягається також покращення якісних показників обробленого соку.

Утилізацією сірчистого газу та теплових викидів після сульфітаторів 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 відведення відпрацьованого сульфітаційного газу в атмосферу замінюють декілька разів за сезон цукроваріння). Використан-

апарату сатурації з першою розпилюючою стадією контакту фаз під надлишковим тиском та наступною – барботажною проводились на першій та другій сатураціях в виробничих умовах в різні роки. Коефіцієнт використання діоксиду вуглецю визначали з формули:

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

де $c_{\text{вх}}$ – концентрація CO_2 на вході в сатуратор, % об.;

$c_{\text{вих}}$ – концентрація CO_2 на виході з сатуратора, % об.

Порівняльні дані роботи типового та двохсекційного сатураторів з початковим розпилюючим ступенем представлені в **табл. 1**.

Таблиця 1

Порівняльні показники роботи типового та двохсекційного сатураторів

Показники	Типовий сатуратор	Двохсекційний сатуратор
Тиск в розпилюючому абсорбері, МПа	-	0,05
Лужність дефекованого соку, %СаО	1,39	1,42
Лужність нефільтрованого соку 1 сатурації, %СаО	0,085	0,084
Коефіцієнт використання CO_2 , %	66,3	85,0
Швидкість відстоювання осаду, см/хв.	2,7	3,1
Чистота соку 2 сатурації, %	88,4	89,17
Вміст солей Ca^{++} в соку 2 сатурації, % до СР	0,0648	0,0553

ня спеціальних корозійностійких матеріалів призводить до збільшення вартості обладнання.

Практично відсутній досвід використання теплового потенціалу відпрацьованих газів і на закордонних цукрових заводах. На одному з заводів [12] відпрацьовані газы 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. Зміна місця викидів дозволяє тільки розсіяти шкідливі газы на більшій території, а не утилізувати їх. Про економію теплового потенціалу мова навіть не йде.

Нами запропоновано технологічну схему використання хімічного та теплового потенціалу відпрацьованих газів, що відповідає економічній доцільності, є простою в реалізації та поліпшує екологічну ситуацію.

Одним з напрямів вирішення поставленої задачі є модернізація апаратів сатурації шляхом секціонування апаратів при загальному прямотоці роботи секцій.

Дослідження робота типових апаратів сатурації в барботажному режимі та модернізованого

Отримані дані свідчать про збільшення використання CO_2 в двохсекційному сатураторі майже на 20%. Цукрові розчини після обробки в такому сатураторі мають вищі якісні показники, що дозволяє на заключній стадії отримати більше кристалічного цукру.

Вимірювання концентрацій CO_2 в двохсекційному сатураторі представлені в **табл. 2**.

Середній показник коефіцієнту використання діоксиду вуглецю на 15...20 % вищий за аналогічний показник в типовому сатураторі [13].

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

Проведені дослідження дозволили знайти закономірності роботи розпилювального сатуратора та встановити залежність об'ємного коефіцієнта масопередачі від параметрів процесу.

Масопередача речовини з однієї фази в іншу проходить згідно основного закону масопередачі:

$$\frac{dM}{dF \cdot d\tau} = \frac{\Delta c}{R} \quad (2)$$

де dM – кількість речовини, яка переходить з однієї фази в іншу;

Концентрація діоксиду вуглецю в двохсекційному сатураторі з початковою розпилюючою стадією

№ досліду	Концентрація CO ₂ на вході в сатуратор, [CO ₂] ^{поч.} , об.%	Концентрація CO ₂ на виході з сатуратора, [CO ₂] ^{кін.} , об.%	Коефіцієнт використання, CO ₂ %, K _{CO₂} ^{ВІК}
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
Середнє значення			73,7

dF – поверхня контакту або розділу фаз;
 ΔC – рушійна сила процесу (різниця рівноважної і робочої концентрацій);
 dt – 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 є CO₂, опір масопередачі, зазвичай, знаходиться зі сторони газової фази та залежить від її швидкості. Рух газової фази в абсорбері характеризують критерієм Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_e \cdot \rho_2}{\mu_2} \quad (4)$$

де w_2 – швидкість газу в даному перерізі реактора;

μ_2 – коефіцієнт динамічної в'язкості;

$d_e = 4 \cdot F/\Pi$ – еквівалентний діаметр бульбашки газової фази в рідкій фазі;

F, Π – площа і периметр змоченого перерізу відповідно.

Оскільки визначення коефіцієнта масопередачі K , віднесеного до одиниці поверхні є складною задачею в зв'язку з невизначеністю площі поверхні розділення фаз, то користуються об'ємним коефіцієнтом масопередачі k_v , який може бути знайдений по рівнянню [12]:

$$k_v = 0,57 \cdot w_2^{0,3} \cdot U^{0,56} \cdot (G_{H_2O} / V_{аб})^{-0,28} \quad (5)$$

де w_2 – приведена швидкість газу, м/с;

U – густина зрошення, м³ / (м² с);

G_{H_2O} – масова кількість випареної води, кг/с;

$V_{аб}$ – об'єм розпилюючого абсорбера, м³.

Рівняння справедливе в діапазоні зміни параметрів:

$$w_2 = 0,01 \dots 1,2 \text{ м/с}; U = 0,005 \dots 0,05 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ с}.$$

Іншим значним резервом збільшення швидкості масопередачі є створення максимально можливої поверхні контакту фаз при розпилюванні рідини форсункою. Верхньою межею цього процесу є винесення 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. Однак, викиди хоч і зменшуються, та вони все таки є.

Для їх утилізації нами 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 та сульфітаційного газів.

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 потенці-

али, 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 сахарози майже не відбувається. Для прогрівання стружки використовують рекуперативне та інтенсивне підведення тепла через стінки парових камер, нагріваючи

стружкою відбувається денатурація оболонок клітин і клітинний сік вільно переходить в екстрагент. Та 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 сульфитаційно-

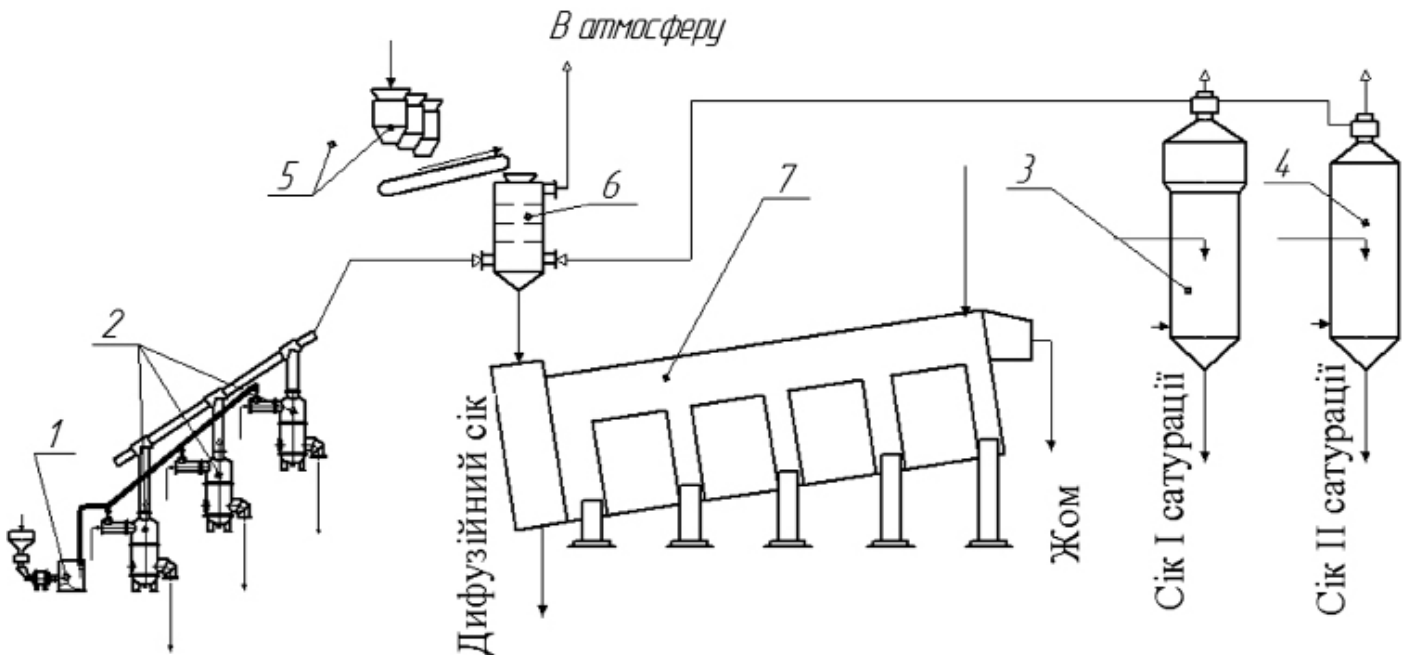


Рис. 1. Принципова схема ошпарювання бурякової стружки:
1- сиркоспалювальна піч; 2- апарати сульфитації; 3- апарат I сатурації;
4- апарат II сатурації; 5- бурякорізки; 6- ошпарювач бурякової стружки;
7- дифузійний апарат

її до оптимальної температури 70...72°C. Однак, швидко нагріти великий об'єм холодної стружки в апараті проблематично, бо температура стінок теплообмінних поверхонь не може бути високою, оскільки можливе розварювання стружки, внаслідок чого утворюються «пробки» в апараті та значно погіршується процес екстрагування, відбувається термічне розкладання сахарози та погіршується якість дифузійного соку. Для досягнення нормативних величин втрат продуктивність дифузійних апаратів знижують.

Для покращення процесу екстрагування сахарози запропоновано використовувати попереднє ошпарювання стружки нагрітим дифузійним соком, або насиченою водяною парою [5] з температурою 101°C.

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

го газів;

- внаслідок наявності в відпрацьованому сатураційному газі невикористаного CO_2 з 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, приводить до покращення вилучення сахарози 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 сахарози 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 теплоту великого об'єму газу, що викидався в атмосферу.

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

Буряки подрібнюються на стружку в бурякорізках 5, яка потрапляє в ошпарювач 6, в нижню частину якого направляється відпрацьований газ з апаратів сульфитації 2 та апаратів першої та другої сатурації 3 і 4 відповідно. У апараті 6 проходить контактний теплообмін та абсорбція агресивних газів. Попередньо оброблена бурякова стружка потрапляє в дифузійний апарат 7 для екстрагування сахарози.

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 не потрібно.

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

Таким чином, представлена технологічна схема використання хімічного та теплового потенціалу відпрацьованих газів з апаратів сатурації та сульфитації дозволить мінімізувати вплив агресивних газів на середовище.

Впровадження схеми скоротить час теплової обробки бурякової стружки внаслідок попереднього контакту з викидами гарячого сатураційного та сульфитаційного газів; знизить рН розчину та покращить вилучення сахарози з бурякової стружки за рахунок збільшення її пружності; знизиться забруднення атмосфери та додатково утилізується діоксид вуглецю з відпрацьованого сатураційного газу та діоксид сірки з відпрацьованого газу після сульфитаційних установок.

Всі ці заходи є економічно доцільними, прості в реалізації та покращують екологічну ситуацію.

Список використаних джерел

1. *Rosa, M.* Carbon capture, storage and utilisation technologies: a critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts [Text] / Rosa M. Cuéllar-Franca, Adisa Azapagic // Journal of CO₂ Utilization. 2015. - Volume 9. - March 2015. - Pages 82–102.

2. *Vincenzo Duraccioa, Maria Grazia Gnonib, Valerio Elia* (2015). Carbon capture and reuse in an

industrial district: a technical and economic feasibility study. Journal of CO₂ Utilization, 10, 23–29.

3. *Mahwar R. S., Verma N. K., Chakrabarti S. P., Biswas D. K.* (1997). Environmental auditing programme in India Science of The Total Environment, 204, 1, 11–26.

4. *Разладин, Ю. С.* Справочное пособие по экономии топливных энергоресурсов на предприятиях пищевой промышленности / Ю. С. Разладин, С.Ю.Разладин. – К.: 2010. – с. 582.

5. *Штангеев, К. О.* Шляхи енергозбереження в цукровому виробництві. / К. О. Штангеев – Навч. посібник, К. : УДУХТ, 2003. с.32.

6. *Выскребцов, В. Б.* Утилизация сернистого ангидрида и расход серы. / В. Б. Выскребцов. // Журнал «Сахар», 2003, №5, с. 46-48.

7. *Maravića, N.* Economic analysis and LCA of an advanced industrial-scale raw sugar juice purification procedure [Text] / Nikola Maravića, Ferenc Kissa, Laslo Šerešb, Branislav Bogdanovićc, Biljana Bogdanovićc, Zita Šereša // Food and Bioproducts Processing. 2015. - Volume 95. - July 2015. - Pages 19–26.

8. *Ponomarenko V.* Sprays fluid: an effective way to intensify the processes in the food industry [Text] / Ponomarenko V., Pushanko N. // LAP LAMBERT Academic Publishing ist ein Imprint der / is a trademark of OmnisScriptum GmbH & Co. KG, ISBN: 978-3-659-70944-9, Saarbrucken. 2015. с. 121

9. *Пономаренко, В. В.* Способи підвищення використання діоксиду вуглецю в апаратах першої та другої сатурації. / В. В. Пономаренко, В. Г. Мирончук // Журнал «Цукор України» - 2013. - № 7-8 (91-92). - с. 17-21.

10. *Пономаренко, В. В.* Спосіб підвищення ефективності роботи сатураційних апаратів. / В. В. Пономаренко // Журнал «Цукор України». – 2014. - № 7 (103) - с. 13-16.

11. *Патент 104097 UA*, МПК С 13В 20/00 (2013.01). Спосіб сатурації цукрових розчинів / Пономаренко В. В., Пушанко Н. М. ; заявник НУХТ. № а 201213580, заявл. 27.11.2012; опубл. 25.12.2013, Бюл. №24, 2013 р.

12. *Расширение мощностей по очистке сока на сахарном заводе Бреда.* / Инф. бюллетень БМА, 1994, 32 с.

13. *Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства.* Ч.1 / В. О. Штангеев, В. Т. Корбер, Л. Г. Белостоцкий и др.; под ред. В. О. Штангеева - К: Цукор України, 2003 – 352 с. – ISBN 966-96351-0-1.

**Рецензент: О.О.Серьогін,
д.т.н., проф.**