

Вплив конструкційних елементів сатуратора на кратність циркуляції

О.М. Калініченко, молодший науковий співробітник, Національний університет харчових технологій
Л.М. Хомічак, доктор технічних наук, професор кафедри технології цукру та полісахаридів, Національний університет харчових технологій

І.Б. Петриченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології цукру та полісахаридів, Національний університет харчових технологій

В.Ю. Виговський, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології цукру та полісахаридів, Національний університет харчових технологій

Ю.М. Резніченко, кандидат технічних наук, асистент кафедри технології цукру та полісахаридів, Національний університет харчових технологій

Досліджено вплив конструкційних елементів сатуратора з внутрішнім циркуляційним контуром на кратність циркуляції соку. Встановлено оптимальний рівень соку над циркуляційною трубою та співвідношення між площами поперечного перерізу барботажної та циркуляційної зон, для яких забезпечується активна рециркуляція в апараті.

Ключові слова: конструкція сатуратора, циркуляція

Исследовано влияние конструкционных элементов сатуратора с внутренним циркуляционным контуром на кратность циркуляции сока. Установлен оптимальный уровень сока над циркуляционной трубой и соотношения между площадями поперечного сечения барботажной и циркуляционной зон, для которых обеспечивается активная рециркуляция в аппарате.

Ключевые слова: конструкция сатуратора, циркуляция

Influence of construction elements of soda-fountain is investigational with an internal circulation contour on multiplicity of circulation of juice. The optimal level of juice above a circulation pipe and betweenness is set by the areas of transversal cut of bubbling and circulation zones for that active circulation is provided in a vehicle.

Keywords: construction of soda-fountain, circulation.

Оптимальне апаратне оформлення процесу I сатурації дає можливість отримати очищений сік з високими якісними характеристиками та задовільними седиментаційно-фільтраційними властивостями осаду соку I сатурації. Розвиток апаратного оформлення I сатурації в нашій країні розпочинався із барботерних сатураторів періодичної дії, яких на початку минулого століття витіснили сатуратори безперервної дії системи Ергардта, потім Ногачевського, а згодом типовим став безбарботерний сатуратор. В другій половині минулого століття майже всі цукрові заводи працювали на безбарботерних сатураторах типу ІС. Якість отриманих після оброблення в цих сатураторах соків була низькою, що спонукало науковців до постійної модернізації апаратів, але головний недолік, пов'язаний з низькою сумарною лужністю в робочому об'ємі апарата, не усувався [11]. Паралельно здійснювався пошук принципово нових розробок, пов'язаних з багатоступеневою безперервною сатурацією [11, 5], та вони не набули широкого промислового впровадження. Науковий напрямок закордонних дослідників мав схожі тенденції. Відмінність їх досліджень полягала в тому, що переважна більшість робіт була присвячена розвитку барботерних сатураторів.

Було помічено, що використання рециркуляції в процесі I сатурації суттєво сприяє її оптимізації.

Рециркуляція може бути примусовою, із зовнішнім контуром за допомогою насоса, що використовувались, наприклад, в сатураторах Ланге, польського заводу промислової апаратури у м. Свидниця та ряді інших, і безнасосна, прикладом якої є встановлення в сатураторах внутрішніх циркуляційних труб.

На сьогоднішній час сатуратори з примусовою рециркуляцією в умовах бурякоцукрового виробництва майже не застосовуються, насамперед, через руйнування насосом сформованої структури осаду та зайвих витрат електроенергії. Природна рециркуляція, задовольняючи умовам процесу, стала основним конструктивним елементом в сатураторах фірми Selwig & Lange (Німеччина) [13], австрійської фірми «Сугана» [4], сатуратора Ш1-ПАС продуктивністю 3 і 6 тис. т. буряків за добу, розробленого НВО «Сахар» (СРСР) [7] та модернізованих сатураторах за принципом, запропонованим співробітниками кафедри технології цукристих речовин НУХТ [2,6]. З 90-х років минулого століття сатуратор з внутрішньою циркуляційною трубою стає типовим на цукрових заводах СНД [10].

Проте, майже відсутні дані наукових досліджень стосовно впливу конструктивних особливостей сатуратора на гідродинамічні умови у ньому, що і стало предметом наших досліджень.

Відомо [3], що рециркуляція сприяє покращенню седиментаційно-фільтраційних властивостей соку I сатурації, підвищенню ступеня використання діоксиду вуглецю та ефекту адсорбційного очищення соку, стабілізації кінцевого заданого рН соку і спрощенню управління процесом. Найбільш поширеним способом реалізації рециркуляції є встановлення внутрішньої циркуляційної труби, основними конструктивними розмірами якої є діаметр і висота. Співвідношення площі циркуляційної труби до площі кільця, що утворюється корпусом циркуляційної труби і корпусом апарата (циркуляційна зона), є основною геометричною характеристикою сатураторів подібного типу. У розробках, запропонованих закордонними науковцями, це співвідношення площі коливається в межах 1,8-0,76. Вітчизняні науковці схиляються до співвідношення, рівного 1,0 [1]. Аналіз літературних джерел показує, що од-

його елементів було виготовлено із прозорого матеріалу. Лабораторні гідродинамічні дослідження проведено з використанням води і стисненого повітря, які є близькими за реологічними властивостями до дефекованого соку і сатураційного газу.

В конструюванні лабораторного сатуратора була передбачена подібність геометричних розмірів. За промисловий об'єкт прийнято сатуратор першої сатурації марки ІС продуктивністю 3,0 тис. тон буряків за добу. Константу геометричної подібності було вибрано рівною 19, тобто усі геометричні розміри натурального сатуратора було зменшено у 19 разів.

Сатуратор 1 (див. рис. 1) складається із циліндричного корпусу 1.1 та конічного днища 1.2, з'єднаних між собою за допомогою фланців. В нижній частині циліндричного корпусу кріпиться чотирипроменевий барботер 1.3, конструкція якого передбачає можливість чіткого розташування барбо-

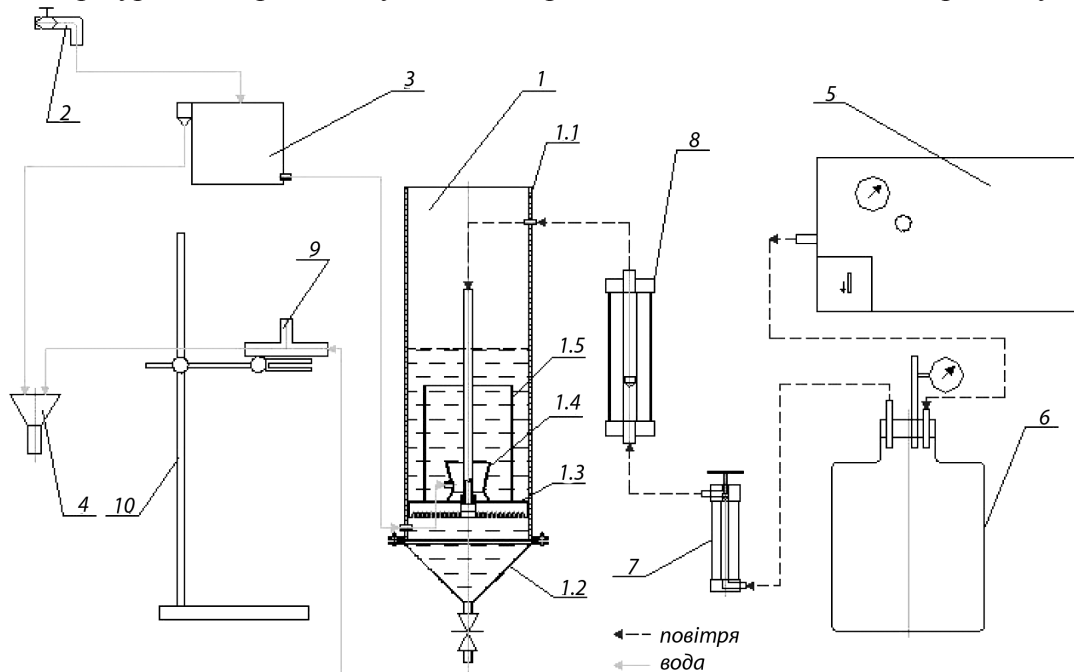


Рис. 1. Схема лабораторної установки: 1 - сатуратор (1.1- циліндричний корпус, 1.2 - конічне днище, 1.3 - барботер, 1.4 - карбонізатор, 1.5 - циркуляційна труба); 2 - кран; 3 - збірник-дозатор; 4 - лійка; 5 - компресор; 6 - накопичувач-ресивер; 7 - кран; 8 - ротаметр; 9 - пристрій; 10 - штатив.

нозначної думки з цього питання немає. На вищезазначені співвідношення в основному впливає діаметр циркуляційної труби. Висота ж циркуляційної труби визначається висотою барботажного шару, тому що висота не може бути більшою за рівень соку в апараті. Стосовно ж висоти шару соку над циркуляційною трубою також немає однозначної думки. Закордонні науковці задають інтервал від 970 до 3000 мм, вітчизняні – надають перевагу меншим величинам, що відповідають інтервалу 550-750 мм. Дані відносно причини такого вибору в літературі відсутні, що також стало метою наших досліджень.

Схема лабораторної установки зображена на **рисунку 1**. Для реалізації поставлених задач виготовлена модель лабораторного сатуратора та проведені дослідження. Оскільки дослідженнями передбачалося і візуальне спостереження за гідродинамічними умовами в сатураторі, то більшість

тера в горизонтальній площині. Конструктивним виконанням сатуратора передбачене перекриття в барботері необхідної кількості зубців, для забезпечення барботажа через необхідну площу перерізу. На барботері встановлюється карбонізатор 1.4 та циркуляційна труба 1.5. Підвід повітря до барботерів здійснювався через відповідні патрубки. В апараті також є патрубки для підведення та відведення води, а в нижній частині конуса вмонтований кран, для можливості роботи сатуратора в безперервному (проточному) режимі.

Вода з крана 2 потрапляє в збірник-дозатор 3, який забезпечує необхідну витрату води за рахунок постійного гідравлічного рівня і заданого діаметру отвору. Повітря в сатуратор подається компресором 5 через ресивер 6, в якому підтримується необхідний сталий тиск. Необхідна витрата повітря регулюються краном 7 і контролюються ротаметром

8. Таким чином, в апарат 1 подається вода і повітря у відповідній пропорції, тобто моделюються гідродинамічні умови, близькі до умов у промисловому сатураторі. Висота встановлення пристрою 9 задає необхідний барботажний рівень в сатураторі і запобігає утворенню явища «сифона».

Спочатку вивчали вплив конструктивних елементів сатуратора та співвідношення витрати води і повітря в ньому на гідродинамічні умови. Для реалізації цього дослідження були виготовлені циркуляційні труби з внутрішніми діаметрами 118, 127, 133 мм. Труби підбирали таким чином, щоб співвідношення між площею поперечного перерізу циркуляційної труби та площею кільця, яка утворюється корпусом циркуляційної труби і корпусом апарата, було рівним 1,0 (Ø127 мм), менше одиниці – 0,8 (Ø 118 мм), і більше одиниці – 1,3 (Ø 133 мм).

Значний вплив на гідродинамічні умови в сатураторі має кількість газу, що подається на 1 м³ соку. Звісно, що витрата газу залежить від багатьох чинників, основні з яких є витрата вапна, ступінь утилізації CO₂, вміст CO₂ в сатураційному газі та інші. На першу сатурацію за В.А. Шостаковським [12] на 1 м³ соку подається 25-30 м³ сатураційного газу. На сьогоднішній день відомо декілька розрахунків витрат сатураційного газу на першу сатурацію [3, 8, 9]. Взавши основні параметри, необхідні для здійснення розрахунку, які є близькими до середніх заводських величин, встановили, що на 1 м³ соку при одноступеневій I сатурації в апарат подається за В.М. Логвіним [3] – 27,1 м³ сатураційного газу, за [8] – 23,5 м³ сатураційного газу, за авторами [9] – 23,94 м³ сатураційного газу. Таким чином, в середньому на 1 м³ соку подається 25 м³ газу. Отже, для проведення лабораторних досліджень, приймемо, що для оброблення 1 м³ соку потрібно 25 м³ сатураційного газу. У випадку, коли через зміну якогось із чинників на виході із апарата буде отримано недосатурований сік, кількість газу необхідно збільшити, в

такому випадку приймаємо, що це співвідношення буде становити 1:30. А у випадку, коли на виході із апарата буде отримано пересатурований сік, навпаки кількість газу, що поступає в апарат необхідно зменшувати і тоді співвідношення буде становити 1:20. Безумовно, на практиці ці співвідношення можуть коливатися в значно більших межах, але для спрощення постановки задачі будемо оперувати прийнятими вище величинами.

Для візуального спостереження за циркуляцією був підібраний трасер з матеріалу густиною близькою до густини води, в формі кулі. Розмір кульки був підібраний експериментальним шляхом, таким чином, щоб була можливість візуального спостереження за нею, та вона не впливала на структуру потоку в апараті.

Оцінки гідродинамічних умов проводили за часом, протягом якого кулька здійснювала певну кількість повних циркуляцій (обертів). Одна циркуляція відповідала проходженню кульки з верхньої зони рідинного шару, в циркуляційну зону та підняття її в барботажній зоні до початкової точки відліку. Достовірність дослідів забезпечувалась шляхом заміру 30 циркуляцій кульки. Саме ця величина давала приблизно середню картину гідродинамічних умов і по часу складала в залежності від заданих умов досліджень від 140 до 200 секунд. Отримані результати спостережень перераховувалися на кратність циркуляції (об/хв.).

Перша серія досліджень проводилась з циркуляційною трубою діаметром 118 мм. Апарат був наповнений водою вище циркуляційної труби на 13 мм. Витрати води були розраховані на час перебування в апараті 10 хв. Працюючи в проточному режимі, в апарат подавали повітря, у співвідношенні 20:1. Після стабілізації режиму в апарат вводився трасер. Проводилося п'ять паралельних досліджень, і визначався час, тридцяти рециркуляцій трасера. Після проведення перерахунку одержаних даних в об/хв., визначалося се-

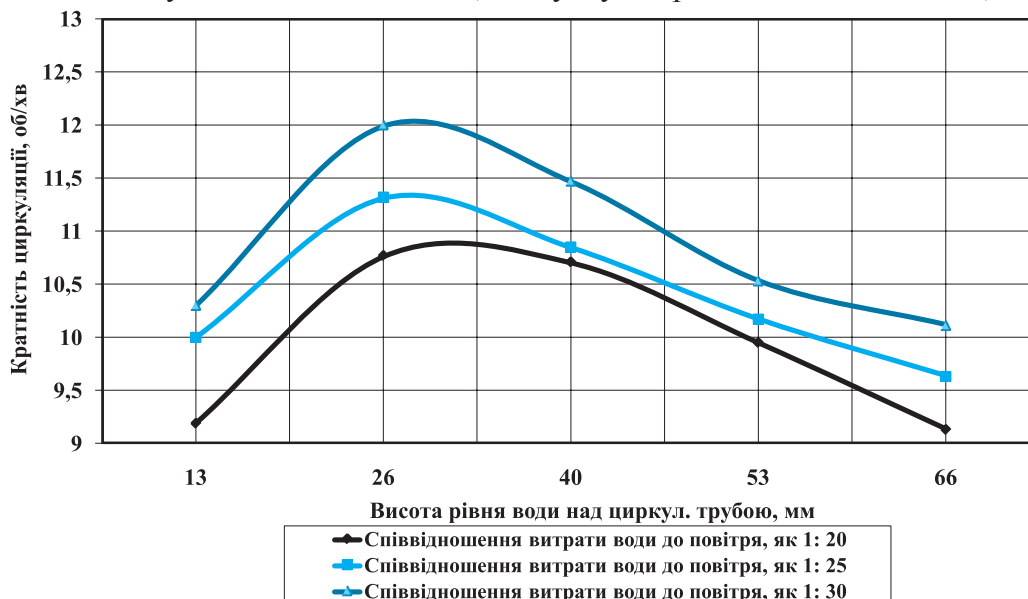


Рис. 2. Залежність кратності циркуляцій від витрат повітря і рівня води над циркуляційною трубою діаметром 118 мм

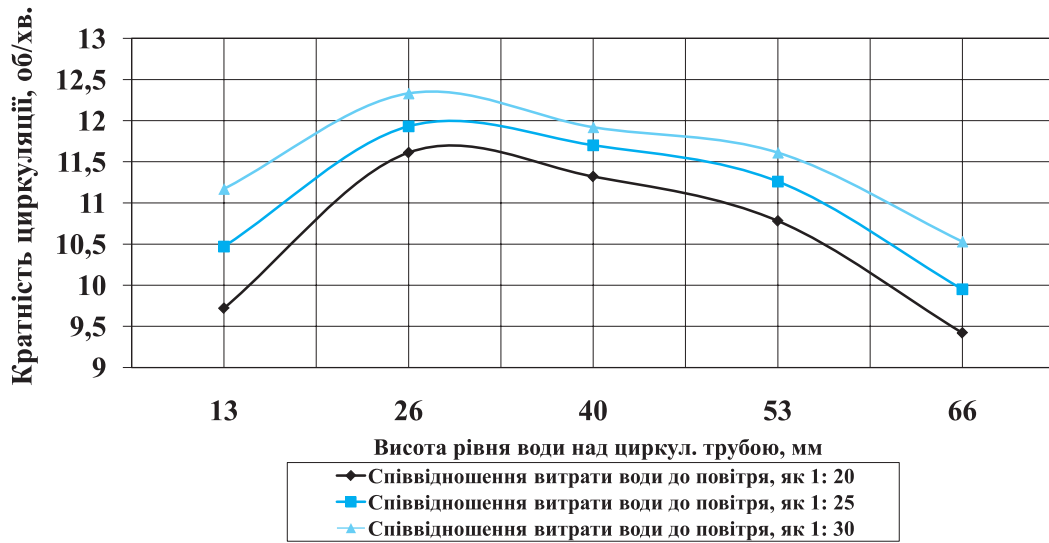


Рис. 3. Залежність кратності циркуляції від витрат повітря і рівня води над циркуляційною трубою діаметром 127 мм.

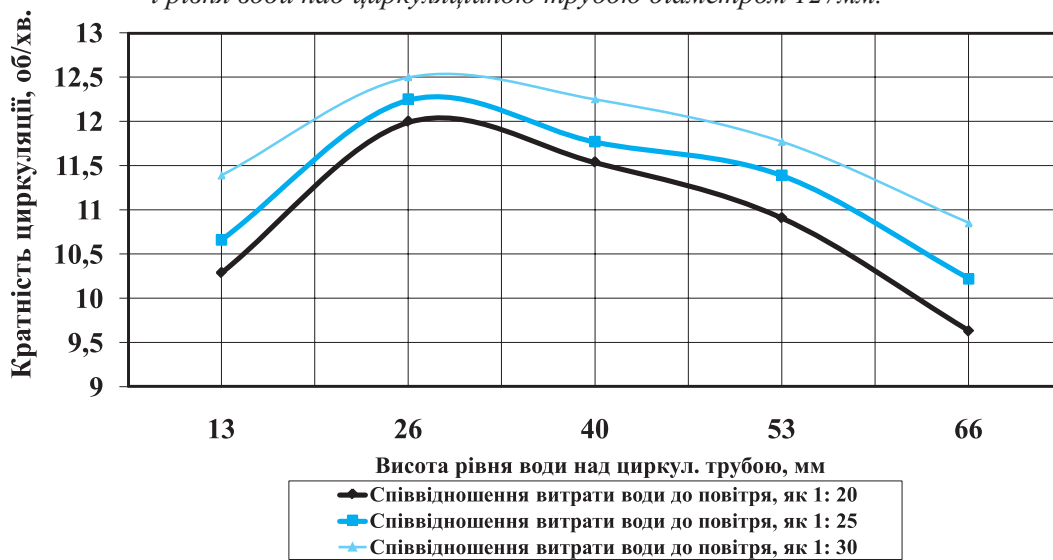


Рис. 4. Залежність кратності циркуляції від витрат повітря і рівня води над циркуляційною трубою діаметром 133 мм.

редне арифметичне значення. Кожна серія досліджень проводилась після збільшення рівня води над циркуляційною трубою у сатураторі на 13 мм, і ці величини відповідно становили 13, 26, 40, 53, 66 мм. За середніми даними була побудована графічна залежність, зображена на **рисунку 2**. Як видно з отриманих залежностей, подальше підняття рівня недоцільно, тому що кратність циркуляції за рівня 66 мм стала меншою ніж за рівня 13 мм. Аналогічно були проведені серії досліджень при співвідношенні вода:повітря 1:25 та 1:30. Результати представлені на **рисунку 2**.

Також проведені серії досліджень з використанням циркуляційної труби діаметра 127 мм, і 133 мм. Результати представлені на **рисунках 3 та 4**. Як видно з усіх трьох графіків (**рис. 2, 3, 4**), незалежно від діаметра циркуляційної труби та рівня води над нею збільшення витрат повітря по відношенню до витрати води призводить до підвищення кратності циркуляції. Значне підвищення витрати повітря створює факельний режим в барботажному контурі і зумовлює зменшення кратності циркуляції. Встановлено також, що найбільша кратність

циркуляції спостерігається за рівня води над циркуляційною трубою в 26 мм. За нульового рівня або за рівня нижче від верху циркуляційної труби, циркуляція відсутня. За рівня 66 мм кратність циркуляції у всіх випадках менша, ніж за рівня 13 мм.

Результати досліджень за однакових співвідношеннях витрат вода:повітря та за різних діаметрів циркуляційної труби представлені на **рисунку 5**. Аналіз одержаних залежностей показав, що із збільшенням діаметру циркуляційної труби від 118 мм до 127 мм кратність циркуляції помітно збільшується, а з 127 мм до 133 мм - підвищується незначно.

Для повноти експерименту було виготовлено ще дві циркуляційні труби із співвідношеннями між площею поперечного перерізу циркуляційної труби та площею кільця, яке утворюється корпусом циркуляційної труби і корпусом апарата, рівним 1,39 (Ø 135 мм) та 1,49 (Ø 137 мм). Використовуючи їх, були проведені дослідження аналогічно з вище приведеними і отримані експериментальні данні при співвідношенні витрат води:повітря як 1:25 та рівнями води над циркуляційною трубою 13, 26, 40, 53, 66 мм. Середні результати представлені у вигляді гра-

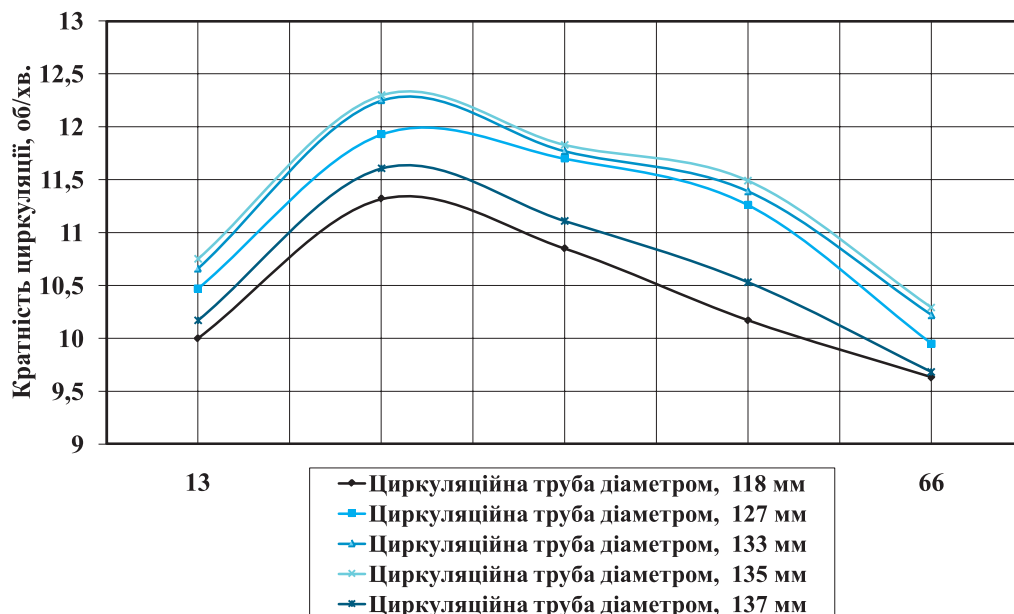


Рис. 5. Залежність кратності циркуляції від діаметра циркуляційної труби і рівня соку над нею при співвідношенні витрати газу до соку 25:1.

фіків на рисунку 5. Як видно, найкраща рециркуляція спостерігається при умові, коли співвідношення між площею поперечного перерізу циркуляційної труби та площею кільця, яке утворюється корпусом циркуляційної труби і корпусом апарата, в межах 1,38-1,42. Із збільшенням цього співвідношення спостерігається стрімке зменшення кратності циркуляції, тому що через малу площу циркуляційної зони уповільнюється циркуляція в сатураторі.

ВИСНОВКИ

Отримані експериментальні дані дозволяють зробити такі висновки:

- кратність циркуляції збільшується із збільшенням витрат повітря по відношенню до сталої витрати води за решта рівних умов. Разом з тим, існує межа збільшення витрати повітря через утворення «факельного» режиму;
- оптимальна кратність рециркуляції води відбувається за рівня води над циркуляційною трубою близько 26-40 мм. Використовуючи константу геометричної подібності 19, отримуємо для промислових сатураторів величину близько 500-750 мм. Таким чином, з метою забезпечення в апараті активної рециркуляції, необхідно підтримувати рівень соку над циркуляційною трубою в межах 500-750 мм;
- кратність циркуляції буде найбільшою за умови, коли співвідношення між площею поперечного перерізу циркуляційної труби та площею кільця, що утворюється корпусом циркуляційної труби і корпусом апарата, знаходиться в межах 1,38-1,42.

Список використаних джерел

1. Безвідходна переробка цукрових буряків / Заєць О.С., Штангеев В.О., Заєць Ю.О. та ін. - К. : Урожай, 1992. – 182с.
2. Двоступенева I сатурація / Л.М. Хомічак, І.Б. Петриченко, В.Ю. Виговський, О.М. Калініченко // Цукор України. – 2004. - № 1-2. – С.21-25.
3. Логвін В.М. Інтенсифікація першої сатурації. - К., 1998. - 224 с.

4. Очистка диффузионного сока с предсатурацией / Н.И. Жаринов, В.З. Семенов, В.В. Фоломеев, и др.// Сахарная промышленность. – 1993. - №5-6. – С. 22-25.
5. Петриченко І.Б.Повышение эффективности I сатурации с помощью массообменных элементов и пульсационных воздействий: Дис...канд. тех. наук: 05.18.05. - К., 1988. - 193с.
6. Підвищення ефективності роботи сатураторів бурякоцукрового виробництва / Л.М. Хомічак, І.Б. Петриченко, В.Ю. Виговський, О.М. Калініченко, Л.Г. Белостоцький // Цукор України.– 2002. - № 2. – С.20-22.
7. Производственные испытания модернизированного аппарата сока I сатурации ШИ-ПАС-6,0 на Теофипольском сахарном заводе / Ю.В. Аникеев, В.Ф. Шутка, В.А. Шестаковский, и др. // Сахарная промышленность. – 1986. - №2. - С.22-25.
8. Расчёт продуктов сахарного производства / И.М. Литвак, Н.А. Архипович, М.И. Баранов и др. – К. : «Техника», 1966. – 160 с.
9. Расчёт расхода сатурационного газа на I сатурацию / Л.Г. Белостоцкий, К.Д. Скорик, И.Б. Петриченко, А.Б. Петриченко// Сахарная промышленность. – 1985. - № 11. – С. 18-20.
10. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М. : Колос, 1998. – 495с.
11. Способы и устройства для проведения I сатурации / Л.П.Рева, В.М. Логвин, В.А. Шестаковский, З.И. Логвин // М.ЦНИИ ТЭИ пищ.прот.-М., 1977. - 47 с.
12. Шестаковский В.А. Исследование технологических показателей соков при различных вариантах аппаратного оформления первой сатурации: Дис... канд. тех. наук: 05.18.05. - К., 1979. - 144с.
13. Matusch S. Aspekte zur apparativen Ausrüstung der Saftreinigung//Zuckerind. 133(1988). - № 1. – S. 27-29.