

Розподіл питомого навантаження стружки в об'ємі колонного дифузійного апарата

*М.М. Пушанко, доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій
А.М. Парахоня, аспірант, Національний університет харчових технологій*

Розглянуто особливості проведення процесу дифузії цукрози з бурякової стружки. Проведено огляд конструкцій колонних дифузійних апаратів. Показано нерівномірний характер розподілу стружки по висоті колони. Розглянуто розроблену, захищену патентом України на корисну модель, конструкцію пробовідбірника ПВ-1 та методику проведення дослідів. Опрацьовані результати експериментів. Вони показали нерівномірний характер розподілу стружки по радіусу R колони. Знайдено графічні та аналітичні функції $q = f(R)$. Розглянуто чинники, що впливають на розподіл питомого навантаження сокостружкової суміші в об'ємі колони. Запропоновані практичні заходи, що забезпечать покращення роботи колонної дифузійної установки.

Ключові слова: стружка, питома навантаження, колонний дифузійний апарат.

Рассмотрены особенности проведения процесса диффузии сахарозы со свекловичной стружки. Проведен осмотр конструкций колонных диффузионных аппаратов. Указано на неравномерный характер распределения стружки по высоте колонны. Рассмотрено разработанную, защищенную патентом Украины на полезную модель, конструкцию пробоотборника ПВ-1 и методику проведения экспериментов. Обработаны результаты экспериментов. Они указали на неравномерный характер распределения стружки по радиусу R колонны. Найденны графические и аналитические функции $q = f(R)$. Рассмотрены причины, что воздействуют на распределение удельной нагрузки сокостружечной смеси в объеме колонны. Предложены практические приемы, что обеспечат улучшение работы колонной диффузионной установки.

Ключевые слова: стружка, удельная нагрузка, колонный диффузионный аппарат.

The features of the diffusion of sucrose from sugar beet chips. An examination of column designs diffusers. Indicated on the uneven distribution of the chips on the height of the column. Considered developed, protected by a patent of Ukraine for useful model konstruktsiyu PV-1 probe, and how to conduct experiments. Treated with the experimental results. They pointed to the uneven distribution of the chips on the radius R column. Found graphical and analytical functions $q = f(R)$. The reasons that affect the distribution of the specific load sokostruzhechnoy mixture in the volume column. Proposed practical techniques that will ensure improvement of the diffusion column installation.

Keywords: chips, unit load, a columned diffusion machine.

Вилучення цукрози із бурякової стружки – складний тепломасообмінний процес, що відбувається в дифузійних установках різних конструкцій. Усталена кінетика такого процесу часто ускладнюється незначним перебігом хімічних реакцій, що змінюють величину рН екстрагента, а також необґрунтованим місцем і часом вводу жомопресованої води сумнівної якості.

Сам процес поділяється на кілька важливих стадій. Перша – це вилучення розчину цукрози з пошкоджених клітин тканини бурякової стружки, залежить від якості стружки. Друга – дифузій-

не переміщення молекул цукрози до меж струминок, характеризується коефіцієнтом дифузії цукрози в стружці. Наступна – перехід цукрози з поверхонь стружинок в екстрагент, залежить від гідродинамічних умов виконання процесу. Останні створюються транспортними системами дифузійних апаратів і в значній мірі визначаються масою стружки в m^3 (питомим навантаженням об'єму). За поширених тепер способів виконання процесу екстрагування він доповнюється механічним віджимом розчину цукрози на пресах з наступним доданням його в екстрагент.

Загальна швидкість перебігу процесу залежить від багатьох факторів: початкового вмісту цукрози в стружці, що збільшує величину рушійної сили – різницю концентрацій, розмірів стружки, її якості, температури і маси стружки в одиниці об'єму апарата. Ці показники разом з тривалістю процесу визначають продуктивність апаратів, якість дифузійного соку і величину втрат цукрози в жомі. Як відомо, добову продуктивність дифузійних установок визначають за формулою

$$G = \frac{24 \cdot 60 \cdot V \cdot \varphi \cdot q}{1000 \cdot \tau} \quad (1)$$

де V – загальний об'єм апарата, м^3 ;

φ - коефіцієнт його використання;

q - маса стружки в одиниці об'єму апарата (питоме навантаження) $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ - тривалість процесу в апараті, хв.

Ліквідація застійних зон в апаратах і забезпечення транспортними системами рівномірного питомого навантаження об'ємів стружкою зменшують тривалість її перебування в апаратах τ , збільшують величину q і, не збільшуючи розмірів, підвищують продуктивність.

Сьогодні в промисловості України використовується 87 дифузійних апаратів і установок різних типів (колонних, ротаційних, нахилоного типу) [1]. Колонні дифузійні установки різних конструкцій становлять 28% від загальної кількості. Вони знайшли поширення завдяки виконанню окремих стадій процесу в двох апаратах з можливістю корекції їх роботи для досягнення нормативних показників (величини відкачки – 120%, втрат цукрози в жомі 0,4% до маси буряків і температури дифузійного соку 30-40° С).

Різні конструкції таких апаратів (КДА-25-66, КДА-30-66, А2КД2-(20,25,30), Ж4-ПДБ-3, ЕКА-2 і ЕКА-3) розраховані на продуктивність 2,0-3,0 тис. тонн буряків/добу, мають колони діаметром 5 або 6 м, висотою 12-15 м з трубовалами діаметром 2 або 2,5 м. В активній частині об'єму таких апаратів знаходиться від 70 до 150 тонн стружки при середньоінтегральному часі її перебування 72-90 хвилин.

Транспортні системи колонних апаратів мають різну конструкцію лопатей (об'ємні типу крила літака, краплевидну, хвилеподібну, найчастіше плоску з ребрами жорсткості) і поділяються на 2 типи: малолопатевої та багатолопатевої, які забезпечують середню завантаженість стружкою їх об'ємів в межах 720-750 $\text{кг}/\text{м}^3$.

В такі колони стружка подається відцентровими насосами в їх нижні частини у вигляді сокостружкової суміші. Для стабільної подачі суміші її змішують з екстрагентом у відношенні стружка/вода 1:3, що становить 400% до маси бурякової стружки. Змішуючись зі 100% екстрагента, що рухається зверху до низу колони вони утворюють суміш 1:4, в якій маса стружки в нижній зоні висотою 1-1,5 м становить 250 $\text{кг}/\text{м}^3$ з поступовим збільшенням до 350 $\text{кг}/\text{м}^3$. За межами цієї зони по висоті колон відбувається подальше збільшення величини питомого навантаження об'єму до максимальних значень 820-850 $\text{кг}/\text{м}^3$ в зоні установки вивантажувальних пристроїв. Сокостружкова суміш набуває властивостей пружно-пластичного тіла при $q > 500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

За умов мінімального питомого навантаження над ситового поясу нижні ряди лопатей та контролопатей виконують головним чином роль перемішуючих елементів, що поступово направляють вгору вільно плаваючу стружку.

Поступове збільшення питомого навантаження в одиниці об'єму апарата змінює структурно-механічні властивості сокостружкової суміші, яка набуває властивостей пружно-пластичного тіла при $q = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

В середній частині величина питомого навантаження сягає 550-700 $\text{кг}/\text{м}^3$ за певних умов пов'язаних з місцем вводу екстрагента, типом вивантажувального пристрою і місцем його установки може підвищуватись до 900 $\text{кг}/\text{м}^3$ [2].

Така залежність зміни питомого навантаження стружки по висоті колони $q = f(H)$ вказує на незадовільний рівень розподілу стружки в об'ємі апарату. Це знижує в окремих зонах площу контакту стружки і соку, зменшує загальний коефіцієнт масовіддачі, збільшує навантаження на елементи транспортної сис-

теми, призводить до зниження продуктивності апарату та підвищенню втрат цукру в жомі.

Досліди проведені співробітниками КТІХП по визначенню коефіцієнта масовіддачі в колонному дифузійному апараті показали, що найвищого значення він набуває в середній частині [3]. Питоме навантаження тут коливається в межах 550-700 $\text{кг}/\text{м}^3$ і створює нормальні умови для омивання стружки екстрагентом. Підвищення середньої величини питомого навантаження згідно (1) при незмінних розмірах колон дозволить підвищити їх продуктивність.

Вплив питомого навантаження стружки на процес екстрагування досліджувався в роботах [4,5], розроблялися методи його збільшення і стабілізації. Проте закономірності розподілу питомого навантаження в об'ємі колони та фактори, що на нього впливають, досліджені недостатньо і досі немає єдиної думки щодо оптимальної конструкції транспортних систем та конфігурації їх робочих органів [6]. За більше ніж 60 років історії розвитку колонних дифузійних апаратів науковцями та конструкторами було розроблено багато варіантів конструкцій елементів транспортних систем та варіантів їх компоновки. Давно помічений виробничниками зв'язок між раціональними розмірами діаметра колон і трубовалів, способами розміщення лопатей і величини питомого навантаження $q = f(R)$ і досі немає належного пояснення.

Для дослідження характеру розподілу сокостружкової суміші в об'ємі колонного дифузійного апарату нами розроблений пробовідбірник ПВ-1 [7] (рис.1). Він складається з направляючої труби 4 з сегментним вирізом. Зона дослідження визначається довжиною сегмента. Вона закріплена в нижній частині контролопаті. Всередині направляючої труби 4 рухається труба 5, яка має подібний сегментний виріз і

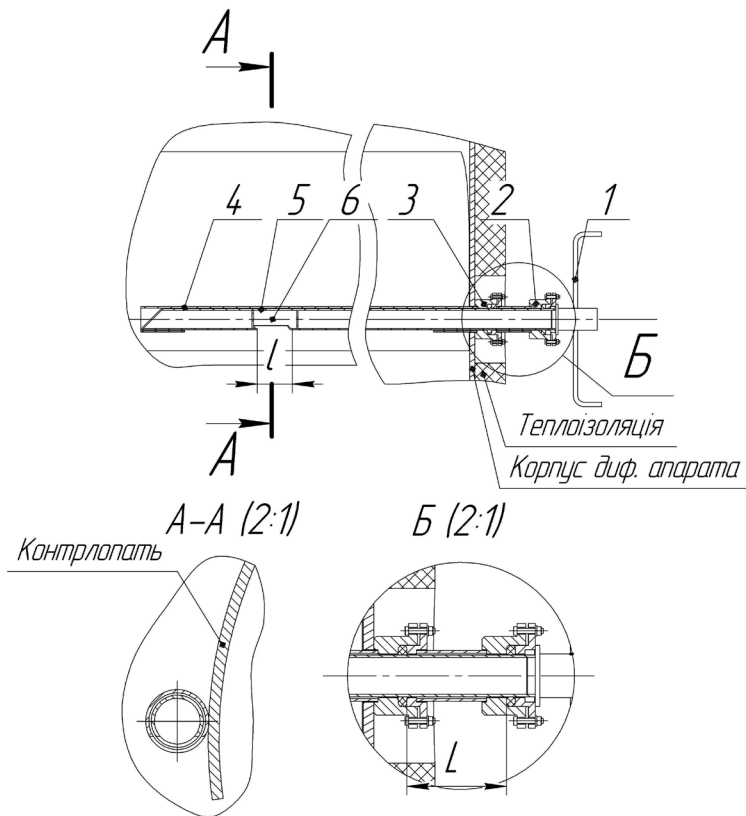


Рис.1. Схема установки пробовідбірника

при повороті утворює робочу камеру 6 довжиною l для відбору сокостружкової суміші. На виході з корпусу апарата труби 5 з відібраною пробєю встановлено фланцеві ущільнюючі пристрої 2 і 3. Довжина камери 6 менша за відстань між ущільненнями $l < L$. Така конструкція забезпечує герметичність пристрою при виконанні процесу відбору проб, оскільки один ущільнюючий вузол постійно закритий. Управ-

ління пробовідбірником здійснюється рукояткою 1.

Для дослідження залежностей $q=f(H)$ і $q = f(R)$ використовувались пробовідбірники типу ПВ-1, захищені патентом України на корисну модель [7]. В сезон 2011 року вони були встановлені в об'єм колонного дифузійного апарата КД2-А30 на ПАТ «Червоноський цукровик» (рис.2), транспортна система якого обладнана лопатями типу «крапля».



Рис.2. Пробовідбірник ПВ-1 в робочому положенні

По висоті колони їх розміщено на рівні 4, 8 та 12 ряду контролопатеї. Під час виробничого сезону 2011 року нами проведені дослідження полів розподілу величини питомого навантаження об'єму по висоті $q=f(H)$ та по кільцевому об'єму $q = f(R)$ в різні моменти дії лопатевої системи на шар стружки. За допомогою 3-х пробовідбірників (рис.1) проби відбиралися по запланованим точкам з кроком 100 мм. В лабораторії проби суміші аналізувалися на вміст стружки і вираховувалися величини питомого навантаження стружки. Дослідні дані показали, що розподіл маси стружки в площині поперечного перерізу нерівномірний.

За допомогою програми CurveExpert 1.4 та Advanced Grapher проведена обробка дослідних даних, побудовано графічні залежності $q = f(R)$ та $q=f(H)$ (рис.3).

За одержаними даними процес розподілу питомого навантаження по радіусу колони R можна описати поліноміальним рівнянням 3-го порядку (2).

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (2)$$

де коефіцієнти a, b, c, d залежать від параметрів, що характеризували процеси тепломасообміну і переміщення стружки під час проведення дослідів. Їх значення коливались в межах $a = 600...906, b = -0,98...-0,24, c = -3,87 \cdot 10^{-4}...0,001, d = -4,24 \cdot 10^{-7}...2,02 \cdot 10^{-7}$.

На розподіл стружки в об'ємі колонного дифузійного апарата впливає багато чинників: якість стружки, форма, кількість та взаємне розташування елементів транспортної системи, співвідношення складових сокостружкової суміші, що подається в апарат насосом. Різна колова швидкість руху ділянок лопаті по її довжині зумовлює різну швидкість переміщення кругових потоків сокостружкової суміші.

Для забезпечення норматив-

в щілинах сит, що погіршує гідродинамічну обстановку процесу та відбір циркуляційного соку з колони. Спроби уникнути таких порушень збільшенням частоти обертання транспортних систем не завжди вирішують проблему. Транспортні системи поділяються на два типи: малолопатеві (28-30 шт.) та багатолопатеві (150-200 і більше шт.). Лопаті можуть бути закріплені на валу радіально або тангенціально. В процесі роботи колони з радіально встановленими лопатями, стружка, внаслідок взаємодії пари лопать-контрлопатель, зміщується від валу до стінки корпуса. При тангенціально встановлених лопатях вона рухається навпаки.

Лопаті мають різну форму поперечного перерізу:

- крапля, крило літака, хвилеподібну форму – малолопатеві системи;

- форму трикутного перерізу – багатолопатеві.

Характер розміщення лопатей однакової конструкції і їх крок по висоті однакові, інколи змінюється лише кількість контрлопатей. Кут нахилу до горизонту 18° - 22° забезпечує оптимальний режим транспортуван-

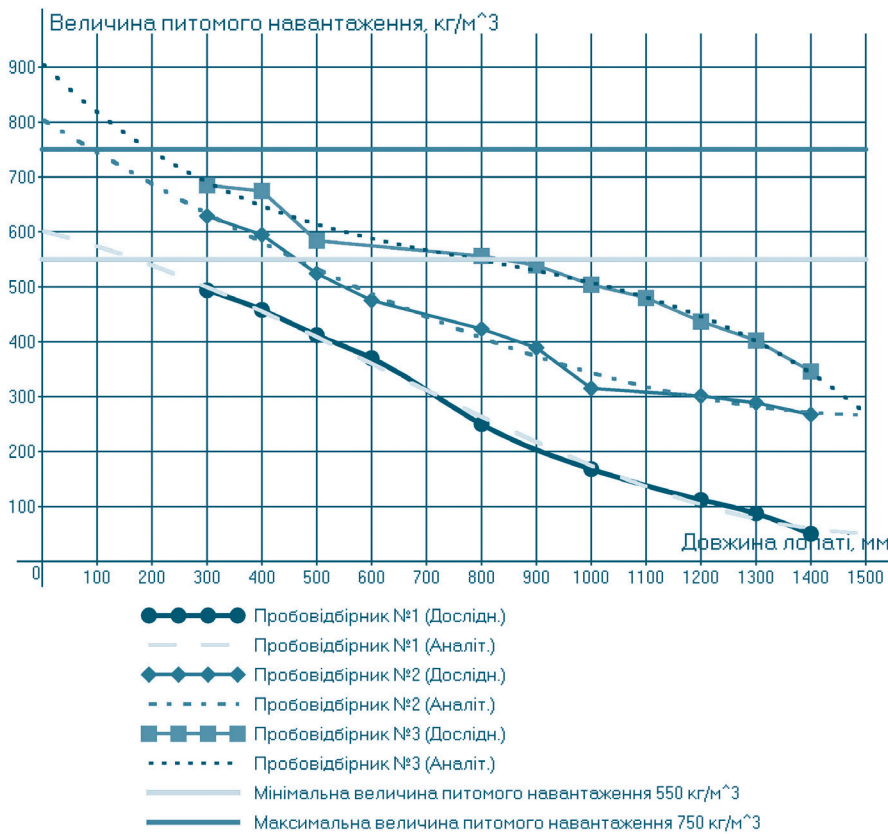


Рис.3. Графічна залежність величини питомого навантаження по радіусу $q = f(R)$ та висоті $q = f(H)$ колони

них технологічних показників і нормального функціонування транспортної системи бурякова стружка має бути відповідної якості [8]. Колонні установки успішно працюють при довжині 100 грамів стружки – 10-13

м, кількості браку в ній не більше 3% [9]. При таких параметрах стружка та екстрагент будуть добре рухатись протичіжно. Вміст браку 3% і більше призводить до залягання пульпи в пористій структурі суміші і

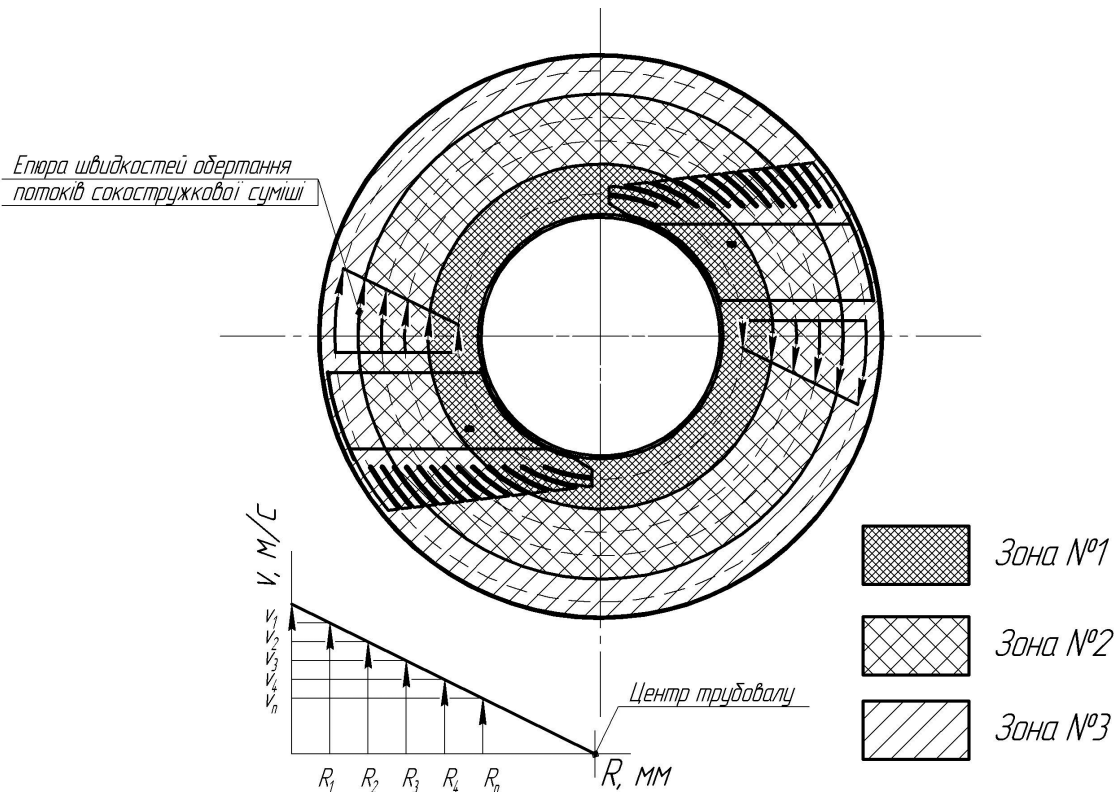


Рис.4. Зони та характер розподілу питомого навантаження по радіусу колони та потоків швидкостей стружки

ня стружки в середній та верхній частинах колони, виключає її інтенсивне перемішування в перехідних зонах між лопатями та контр лопатями [10]. Проте процес вилучення цукрози в надситовій зоні відбувається при значному перемішуванні компонентів суміші.

В досліджуваному апараті КД2-А30 діаметр колони 6м., діаметр трубовала 2,6м. соко-стружкова суміш подавалась в нижню частину колони через розподільний пристрій (лопоть) у співвідношенні екстрагент-стружка 3-5:1 відповідно. Це забезпечувало стабільну роботу насоса сокостружкової суміші і знижувало рівень питомого навантаження стружки в нижній частині колони до 250-350 кг/м³, сприяючи інтенсивному перемішуванню стружки та її рециркуляції між шарами.

За таких умов точка лопаті біля трубовала проходить шлях по колу довжиною 8,164 м, а крайня 18,5м. Кінцева точка лопаті за цей же час проходить в 2,27 рази довший шлях ніж початкова. Швидкість точки біля валу, при частоті обертання $n = 0,6$ об/хв., дорівнює 4,9 м/хв., крайньої – 11,1 м/хв. За даними досліджень розподіл стружки по радіусу колони **R умовно ділиться** на три зони (**рис.4**).

Зона №1 розташована біля валу, має ширину 250-300 мм, характеризується найбільшою величиною питомого навантаження. В цій зоні стружка може частково обертатись з трубовалом, що призводить до її злежування. **В зоні №2**, що займає $\sim 3/5$ радіуса апарата, відбувається поступове падіння величини питомого навантаження соко-стружкової суміші. Це пояснюється підвищенням швидкості руху потоків стружки за рахунок їх переміщення по збільшеному радіусу R. Ця зона закінчується на відстані 250-300 мм від стінки корпусу. Різке падіння питомого навантаження спостерігається в **зоні №3**. В ній збільшується інтенсивність перемішу-

вання стружки завдяки існуючому зазору між краєм лопаті та корпусом апарата шириною 50-60 мм.

Висновки

Установлений експериментально нерівномірний характер розподілу питомого навантаження по висоті і радіусу колонного дифузійного апарата пояснює виникнення умов погіршення гідродинамічних обставин в колоні. Це призводить до зменшення коефіцієнта масовіддачі, збільшення силового навантаження на лопаті в місцях їх закріплення на трубовалу. Для підвищення середньої величини питомого навантаження об'єму колони треба:

- при розробці конструкцій лопатей для новостворюваних колонних апаратів доповнювати їх класичні форми додатковими елементами, що зміщують потоки, усувають застійні зони з урахуванням наведених результатів досліджень;

- для досягнення оптимальних значень питомого навантаження по зонах апарата забезпечувати подачу сокостружкової суміші з максимальним вмістом стружки;

- для стабілізації протитечійного переміщення суміші стружка-екстрагент забезпечувати максимальне значення шведського фактора стружки після ошпарювача.

Практичне виконання перелічених заходів з урахуванням результатів експериментальних досліджень забезпечить збільшення продуктивності колонних дифузійних установок і зменшить втрати цукру в жомі.

Список використаних джерел

1. *Верхола Л.А., Пушанко М.М.* Екстракція цукру з буряків: можливості наявного обладнання // Цукор України – 2011.- №11. – с. 33-41
2. *Пушанко М.М., Парахоня А.М.* Проблеми екстрагування цукрози в колонних дифузійних

установках // Харчова промисловість, № 10, 11, Київ, НУХТ, 2011

3. *Лисянський В.М., Верхола А.П., Пушанко Н.Н.* Исследования массообмена в диффузионных аппаратах непрерывного действия // Сахарная промышленность - 1996, №6, с. 7-10

4. *Вайлов В.Я.* Исследования и разработка метода стабилизации удельной нагрузки свекловичной стружки в колонном диффузионном аппарате: Автореф. дис... канд. техн. наук: 175/ Киев. Технол. Ин-т. Пищ. Промсти. – К., 1969. – 23 с.

5. *Пат. на корис. модель ПУ №8856* Колонний дифузійний апарат. Пушанко М.М., Форкун В.В. // Опубл. 15.08.2005 бюл.№8

6. *Верхола Л.А., Пушанко Н.Н.* Гидродинамические процессы в колонных диффузионных установках // Цукор України – 2008.- №6. – с. 33-41

7. *Пат. На корис. модель №62257U Україна, С13В 10/00 (2011.01)* Пробовідбірник // Пушанко М.М. Парахоня А.М. // №и 201015498; Заявл. 22.12.2010; Опубл. 25.08.2011

8. *Коваль Е.Т., Ярмилко В.Г., Вайлов В.Я.* Непрерывно действующая колонная диффузионная установка // Сахарная промышленность - 1965, №4, с. 16-21

9. *Штангеев В.О., Кобер В.Т., Белостоцкий Л.Г. и др.* Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. В 2-х ч. Ч. 1. – К., // Цукор України – 2003. – 352 С., с. 87-88

10. *Серегин А.А.* Исследование и разработка рациональных транспортных систем колонных диффузионных аппаратов. Дис. канд. тех. наук – К. : КТИПП. – 1982.-210 с., С. 93

Рецензент: В.М. Логвін, д.т.н., проф.

Распределение удельной нагрузки стружки в объеме колонного диффузионного аппарата

М.М. Пушанко, доктор технических наук, профессор, Национальный университет пищевых технологий

А.М. Парахоня, аспирант, Национальный университет пищевых технологий

Рассмотрены особенности проведения процесса диффузии сахарозы со свекловичной стружки. Проведен осмотр конструкций колонных диффузионных аппаратов. Указано на неравномерный характер распределения стружки по высоте колонны. Рассмотрено разработанную, защищенную патентом Украины на полезную модель, конструкцию пробоотборника ПВ-1 и методику проведения экспериментов. Обработаны результаты экспериментов. Они указали на неравномерный характер распределения стружки по радиусу R колонны. Найдены графические и аналитические функции $q = f(R)$. Рассмотрены причины, что воздействуют на распределение удельной нагрузки сокоотружечной смеси в объеме колонны. Предложены практические приемы, что обеспечат улучшение работы колонной диффузионной установки.

Ключевые слова: стружка, удельная нагрузка, колонный диффузионный аппарат.

Извлечение сахарозы из свекловичной стружки – сложный тепломассообменный процесс, который осуществляется в диффузионных установках разных конструкций. Устоявшаяся кинетика такого процесса часто осложняется незначительным течением химических реакций, изменяющих величину рН экстрагента, а также необоснованным местом и временем ввода жомопрессовой воды сомнительного качества.

Сам процесс делится на несколько важных стадий. Первая – это изъятие раствора сахарозы из поврежденных клеток ткани свекловичной стружки, зависит от качества стружки. Вторая – диффузионное перемещение молекул сахарозы к границам стружинок, характеризуется коэффициентом диффузии сахарозы в стружке. Следующая – переход сахарозы с поверхностей стружинок в экстрагент, зависит от гидродинамических условий выполнения процесса. Последние создаются транспортными системами диффузионных аппаратов и в значительной степени определяются массой стружки в м³ (удельной нагрузкой объема). При распространенных теперь способах вы-

полнения процесса экстрагирования он дополняется механическим отжимом раствора сахарозы на прессах с последующим добавлением его в экстрагент.

Общая скорость течения процесса зависит от многих факторов: первоначального содержания сахарозы в стружке, что увеличивает величину движущей силы – разность концентраций, размеров стружки, ее качества, температуры и массы стружки в единице объема аппарата. Эти показатели вместе с длительностью процесса определяют производительность аппаратов, качество диффузионного сока и величину потерь сахарозы в жоме. Как известно, суточную производительность диффузионных установок определяют по формуле

$$G = \frac{24 \cdot 60 \cdot V \cdot \varphi \cdot q}{1000 \cdot \tau} \quad (1)$$

где V – общий объем аппарата, м³;

φ – коэффициент его использования;

q – масса стружки в единице объема аппарата (удельная нагрузка) кг/м³;

τ – длительность процесса в аппарате, мин.

Ликвидация застойных зон в аппаратах и обеспечение транспортными системами равномерной удельной нагрузки объемов стружкой уменьшают продолжительность его пребывания в аппаратах τ , увеличивают величину q и, не увеличивая размеров, повышают производительность.

Сегодня в промышленности Украины используется 87 диффузионных аппаратов и установок различных типов (колонных, ротационных, наклоненного типа) [1]. Колонные диффузионные установки различных конструкций составляют 28% от общего количества. Они нашли распространение благодаря выполнению отдельных стадий процесса в двух аппаратах с возможностью коррекции их работы для достижения нормативных показателей (величины откочки – 120%, потери сахарозы в жоме 0,4% к массе свеклы и температуры диффузионного сока 30-40 °С).

Различные конструкции таких аппаратов (КДА-25-66, КДА-30-66, А2КД2-(20,25,30), Ж4-ПДБ-3, ЭКА-2 и ЭКА-3) рассчитаны на производительность 2,0-3, 0 тыс. тонн свеклы/сутки,

имеют колонны диаметром 5-6 м, высотой 12-15 м с трубовалами диаметром 2-2,5 м. В активной части объема таких аппаратов находится от 70 до 150 тонн стружки при среднеинтегральном времени ее пребывания 72-90 минут.

Транспортные системы колонных аппаратов имеют разную конструкцию лопастей (объемные типа крыла самолета, каплевидную, волнообразную, чаще плоскую с ребрами жесткости) и делятся на 2 типа: малолопастные и многолопастные, которые обеспечивают среднюю загруженность стружкой их объемов в пределах 720-750 кг/м³.

В такие колонны стружка подается центробежными насосами в их нижние части в виде соко-стружечной смеси. Для стабильной подачи смеси ее смешивают с экстрагентом в отношении стружка/вода 1:3, что составляет 300% к массе свежловичной стружки. Смешиваясь со 100% экстрагента, что движется сверху вниз колонны они образуют смесь 1:4, в которой масса стружки в нижней зоне высотой 1-1,5 м. составляет 200-250 кг/м³ с постепенным увеличением до 350 кг/м³. За пределами этой зоны по высоте колонн происходит дальнейшее увеличение величины удельной нагрузки объема до максимальных значений 820...850 кг/м³ в зоне установки разгрузочных устройств. Соко-стружечная смесь приобретает свойства упругопластического тела при $q > 500$ кг/м³.

В условиях минимального удельной нагрузки надситового пояса нижние ряды лопастей и контролопастей выполняют главным образом роль перемешивающих элементов, постепенно направляют вверх свободно плавающую стружку.

Постепенное увеличение удельной нагрузки в единице объема аппарата изменяет структурно-механические свойства соко-стружечной смеси, приобретает свойства упругопластического тела при $q = 500$ кг/м³.

В средней части величины удельной нагрузки достигает 550-700 кг/м³ при определенных условиях связанных с местом ввода экстрагента, типом выгрузного устройства и местом его установки может повышаться до 900 кг/м³ [2].

Такая зависимость изменения удельной нагрузки стружки по высоте колонны $q = f(H)$ указывает на неудовлетворительный уровень распределения стружки в объеме аппарата. Это снижает в отдельных зонах площадь контакта стружки и сока, уменьшает общий коэффициент массоотдачи, увеличивает нагрузку на элементы транспортной системы, приводит к снижению производительности аппарата и повышению потерь сахара в жоме.

Опыты, проведенные сотрудниками КТИХП по определению коэффициента массоотдачи в колонном диффузионном аппарате показали, что наивысшего значение он приобретает в средней части [3]. Удельная нагрузка здесь колеблется в пределах 550-700 кг/м³ и создает нормальные условия для омыwania стружки экстрагентом. Повышение средней величины удельной нагрузки согласно (1) при неизменных размерах колонн позволит повысить их производительность.

Влияние удельной нагрузки стружки на процесс экстрагирования исследовался в работах [4,5], разрабатывались методы его увеличения и стабилизации. Однако закономерности распределения удельной нагрузки в объеме колонны и факторы, что на нее влияют, исследованы недостаточно и нет единого мнения относительно оптимальной конструкции транспортных систем и конфигурации их рабочих органов [6]. За более чем 60 лет истории развития колонных диффузионных аппаратов учеными и конструкторами было разработано много вариантов конструкций элементов транспортных

систем и вариантов их компоновки. Давно замеченная производственниками связь между рациональными размерами диаметра колонн и трубовалов, способами размещения лопастей и величины удельной загрузки $q = f(R)$ до сих пор нет должного объяснения.

Для исследования характера распределения соко-стружечной смеси в объеме колонного диффузионного аппарата нами разработан пробоотборник ПВ-1 (рис.1). Он состоит из направляющей трубы 4 с сегментным вырезом. Зона исследования определяется длиной сегмента. Она закреплена в нижней части контролопастей. Внутри направляющей трубы 4 движется труба 5, имеет подобный сегментный вырез и при повороте образует рабочую камеру 6 длиной при повороте утворює рабочую камеру 6 довжиною l для отбора соко-стружечной смеси. На выходе из корпуса аппарата трубы 5 с отобранной пробой установлено фланцевые уплотнительные устройства 2 и 3. Длина камеры 6 меньше расстояния между уплотнениями $l < L$. Такая конструкция обеспечивает герметичность устройства при выполнении процесса отбора проб, поскольку один уплотняющий узел постоянно закрыт. Управление пробоотборником осуществляется рукояткой 1.

Для исследования зависимостей $q=f(H)$ и $q = f(R)$ использовались пробоотборники типа ПВ-1, защищены патентом Украины на полезную модель [7]. В сезон 2011 года они были установлены в объеме колонного диффузионного аппарата КД2-А30 на ПАО «Червонський цукровик» (рис.2), транспортная система которого оборудована лопастями типа «капля».

По высоте колонны они размещены на уровне 4, 8 и 12 ряда контролопастей. Во время производственного сезона 2011 года нами проведены исследования полей распределения величин

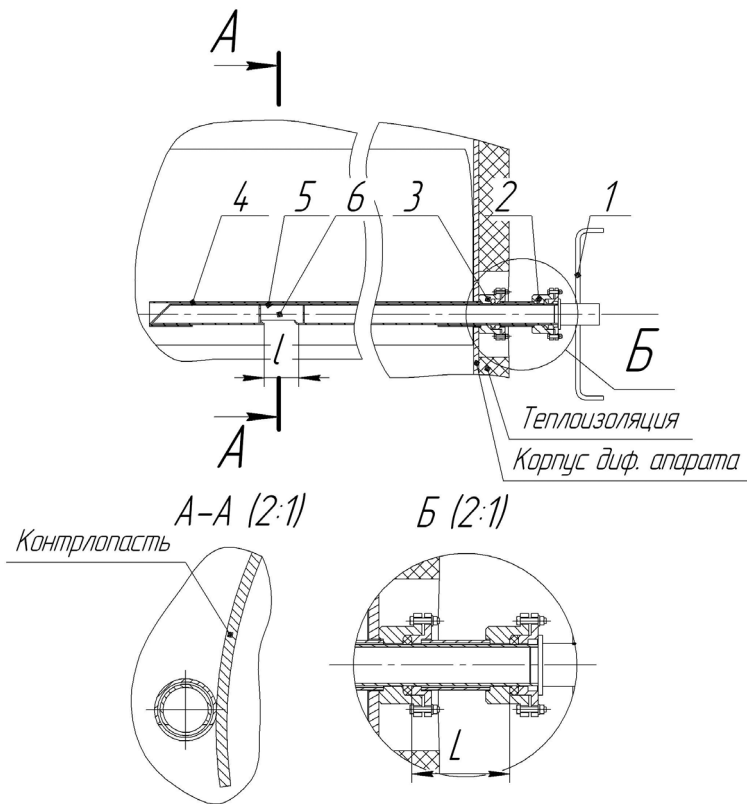


Рис.1. Схема установки пробоотборника

ны удельной нагрузки объема по высоте $q=f(H)$ и по кольцевому объему $q=f(R)$ в разные моменты действия лопастной системы на слой стружки. С помощью 3-х пробоотборников (рис.1) пробы отбирались по запланированным точкам с шагом 100 мм. В лаборатории пробы смеси анализировались на содержание стружки и высчитывались величины удельной нагрузки стружки. Опытные данные показали,

что распределение массы стружки в плоскости поперечного сечения неравномерно.

С помощью CurveExpert 1.4 и Advanced Grapher проведена обработка опытных данных, построены графические зависимости $q=f(R)$ и $q=f(H)$ (рис.3).

По полученным данным процесс распределения удельной нагрузки по радиусу колонны R можно описать полиномиальным уравнением 3-го порядка (2).

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (2)$$

где коэффициенты a, b, c, d зависят от параметров, которые характеризовали процессы тепло-массообмена и перемещения стружки при проведении опытов. Их значение колебались в пределах; $a = 600...906$, $b = -0,98...-0,24$, $c = -3,87 \cdot 10^{-4}...0,001$, $d = -4,24 \cdot 10^{-7}...2,02 \cdot 10^{-7}$.

На распределение стружки в объеме колонного диффузионного аппарата влияет много факторов: качество стружки, форма, количество и взаимное расположение элементов транспортной системы, соотношение составляющих сокостружечной смеси, подаваемой в аппарат насосом. Разная круговая скорость движения участков лопасти по ее длине обуславливает различную скорость перемещения круговых потоков сокостружечной смеси.

Для обеспечения нормативных технологических показателей и нормального функционирования транспортной системы свекловичная стружка должна быть соответствующего качества [8]. Колонные установки успешно работают при длине 100 граммов стружки - 10-13 г., количества брака в ней не более 3% [9]. При таких параметрах стружка и экстрагент будут хорошо двигаться противоточно. Содержание брака 3% и более приводит к залеганию пульпы в пористой структуре смеси и в щелях сит, что ухудшает гидродинамическую обстановку процесса и отбор циркуляционного сока из колонны.

Попытки избежать таких нарушений увеличением частоты вращения транспортных систем не всегда решают проблему.

Транспортные системы делятся на два типа: малолопастные (28-30 шт.) и многолопастные (150-200 и более шт.). Лопасти могут быть закреплены на валу радиально или тангенциально. В процессе работы колонны с радиально установленными лопастями, стружка, вследствие



Рис.2. Пробоотборник ПВ-1 в рабочем положении

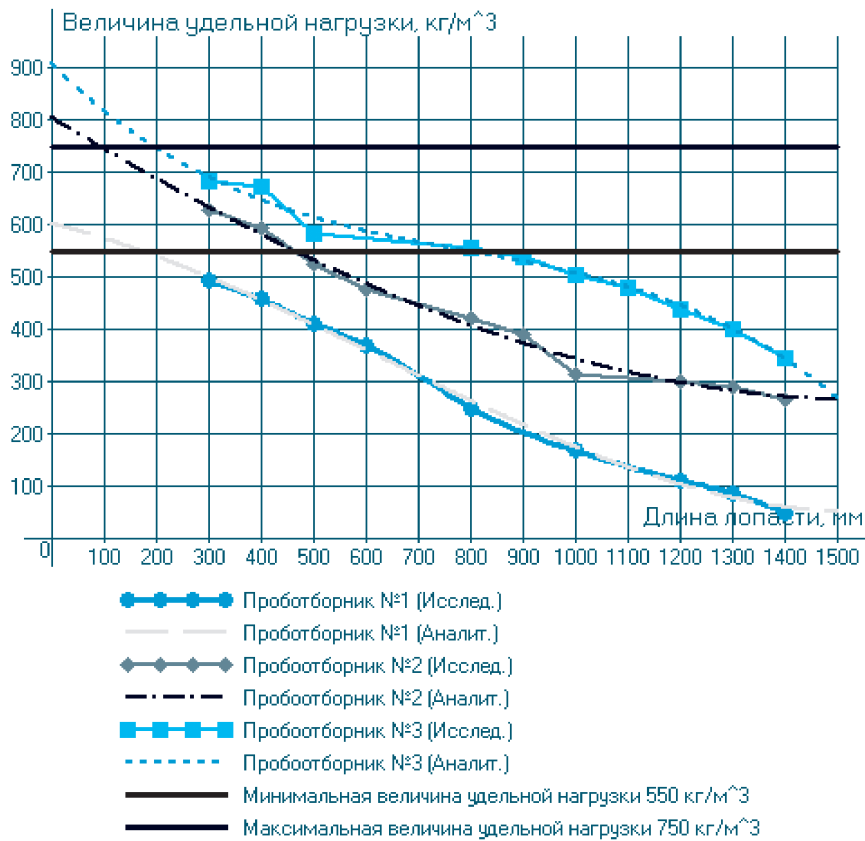


Рис.3. Графическая зависимость величины удельной нагрузки по радиусу $q = f(R)$ и высоте $q = f(H)$ колонны

взаимодействия пары лопасть-контрлопасть, смещается от вала к стенке корпуса. При тангенциально установленных лопастях она движется наоборот.

Лопастей имеют различную форму поперечного сечения:

- капля, крыло самолета, волнообразную форму - малолопастные системы;

• форму треугольного сечения – многолопастные.

Характер размещения лопастей одинаковой конструкции и их шаг по высоте одинаковые, иногда меняется только количество контрлопастей. Угол наклона к горизонту 18°-22° обеспечивает оптимальный режим транспортировки стружки в средней и верхней частях колонны, исключает ее интенсивное перемешивание в переходных зонах между лопастями и контрлопастями [10]. Однако процесс извлечения сахарозы в надситовой зоне происходит при значительном перемешивании компонентов смеси.

В исследуемом аппарате КД2-А30 диаметр колонны 6 м, диаметр трубовала 2,6 м соко-стружечная смесь подавалась в нижнюю часть колонны через распределительное устройство (лопасть) в соотношении экстрагент-стружка 3-5:1 соответственно. Это обеспечивало стабильную работу насоса соко-стружечной смеси и снижало уровень удельной нагрузки стружки в нижней части колонны до 250-350 кг/м³, способствуя

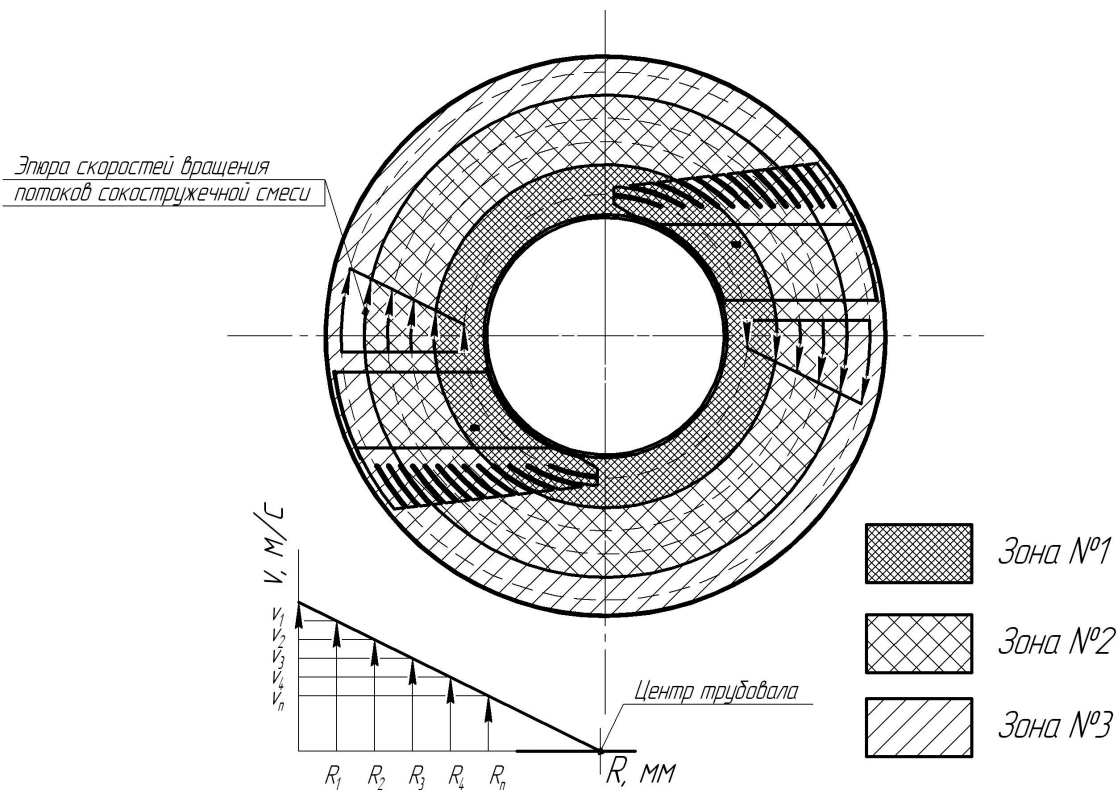


Рис.4. Зоны и характер распределения удельной нагрузки по радиусу колонны и потоков скоростей стружки

интенсивному перемешиванию стружки и ее рециркуляции между слоями.

При таких условиях точка лопасти у трубовала проходит путь по кругу длиной 8,164 м, а крайняя 18,5 м. Конечная точка лопасти за это же время проходит в 2,27 раза длиннее путь чем начальная. Скорость точки вале вала, при частоте вращения $n = 0,6$ об/хв., равна 4,9 м/мин., крайней - 11,1 м/мин. По данным исследований распределение стружки по радиусу колонны R условно делится на три зоны (рис.4).

Зона № 1 расположена возле вала, имеет ширину 250-300 мм, характерна наибольшей величиной удельной нагрузки. В этой зоне стружка может частично вращается с трубовалом, что приводит к ее слеживанию. В зоне № 2, занимает $\sim 3/5$ радиуса аппарата, происходит постепенное падение величины удельной нагрузки сокоотружечной смеси. Это объясняется повышением скорости движения потоков стружки за счет их перемещения по увеличенному радиусу R. Эта зона заканчивается на расстоянии 250-300 мм от стенки корпуса. Резкое падение удельной нагрузки наблюдается в зоне № 3. В ней увеличивается интенсивность перемешивания стружки благодаря существующему зазору между краем лопасти и корпусом аппарата шириной 50-60 мм.

Выводы

Установленный экспериментально неравномерный характер распределения удельной нагрузки по высоте и радиусу колонного диффузионного аппарата объясняет возникновение условий ухудшения гидродинамических обстоятельств в колонне. Это приводит к уменьшению коэффициента массоотдачи, увеличение силовой нагрузки на лопасти в местах их закрепления на трубовалу. Для повышения средней величины удельной нагрузки объема колонны надо:

- при разработке конструкций лопастей для новых колонных аппаратов дополнять их классические формы дополнительными элементами, что позволят смещать потоки, устранять застойные зоны с учетом приведенных результатов исследований;

- для достижения оптимальных значений удельной нагрузки по зонам аппарата обеспечивать подачу сокоотружечной смеси с максимальным содержанием стружки;

- для стабилизации противоточного перемещения смеси стружка-экстрагент обеспечивать максимальное значение шведского фактора стружки после ошпаривателя.

Практическое выполнение перечисленных мероприятий с учетом результатов экспериментальных исследований обеспечит увеличение производительности колонных диффузионных установок и уменьшит потери сахара в жоме.

Список использованных источников

1. *Верхола Л.А., Пушанко М.М.* Экстракция цукру з буряків: можливості наявного обладнання // Цукор України – 2011.- №11. – с. 33-41

2. *Пушанко М.М., Парахоня А.М.* Проблеми екстрагування цукрози в колонних дифузійних установках // Харчова промисловість, № 10, 11, Київ, НУХТ, 2011

3. *Лисянський В.М., Верхола А.П., Пушанко Н.Н.* Исследования массообмена в диффузионных аппаратах непрерывного действия // Сахарная промышленность - 1996, №6, с. 7-10

4. *Вайлов В.Я.* Исследования и разработка метода стабилизации удельной нагрузки свекловичной стружки в колонном диффузионном аппарате: Автореф. дис... канд. техн. наук: 175/ Киев. Технол. Ин-т. Пищ. Промсти. – К., 1969. – 23 с.

5. *Пат. на корис. модель ПУ №8856* Колонний дифузійний апарат. Пушанко М.М., Форкун В.В. // Опубл. 15.08.2005 бюл.№8

6. *Верхола Л.А., Пушанко Н.Н.* Гидродинамические процессы в колонных диффузионных установках // Цукор України – 2008.- №6. – с. 33-41

7. *Пат. На корис. модель №62257U Україна, С13В 10/00 (2011.01)* Пробовідбірник // Пушанко М.М. Парахоня А.М. // №u 201015498; Заявл. 22.12.2010; Опубл. 25.08.2011

8. *Коваль Е.Т., Ярмилко В.Г., Вайлов В.Я.* Непрерывно действующая колонная диффузионная установка // Сахарная промышленность - 1965, №4, с. 16-21

9. *Штангеев В.О., Кобер В.Т., Белостоцкий Л.Г. и др.* Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. В 2-х ч. Ч. 1. – К., // Цукор України – 2003. – 352 С., с. 87-88

10. *Серегин А.А.* Исследования и разработка рациональных транспортных систем колонных диффузионных аппаратов. Дис. канд. тех. наук – К. : КТИПП. – 1982.-210 с., С. 93

Рецензент: В.М. Логвин, д.т.н., проф.