

М.М. ПУШАНКО, доктор технічних наук
 Національний університет харчових технологій
О.І. ХОМЕНКО, аспірант
О.Б. АБРАМОВ
 Смілянський технікум харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ БУРЯКІВ ВІД ЗВ'ЯЗАНИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ХОДІ ГІДРАВЛІЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ

Установлені закономірності зміни зв'язаної забрудненості коренеплодів у ході гідротранспортування та побудовані математичні моделі відокремлення зв'язаних забруднень з поверхні коренеплодів.

Ключові слова: буряки, відмивання, забруднення, математична модель.

Установлены закономерности изменения связанной загрязненности корнеплодов в ходе гидротранспортирования и построены математические модели отделения связанных загрязнений от поверхности корнеплодов.

Ключевые слова: свекла, отмывание, загрязнения, математическая модель.

Поддача у виробництво накопичених на складах буряків за допомогою гідравлічного транспортування з завершенням обробки коренеплодів у бурякомийних комплексах [1] є найбільш поширеним способом підготовки бурякосировини до переробки на підприємствах України та багатьох зарубіжних країн. Разом з тим, ввівши в себе традиції і багаторічний досвід цукрової галузі, а також низку новітніх прикладних розробок, такий спосіб не має достатнього теоретичного та експериментального обґрунтування, необхідного для його подальшого удосконалення.

Для вивчення процесів відмивання буряків у реальних умовах виробництва в сезон 2006 року на Капітанівському цукровому заводі було проведено відбір проб зв'язаної забрудненості у різновіддалених точках тракту подачі буряків (рис. 1): бурячна (1), вихід з бурячної (2), перед буряконасосом (3), після буряконасоса (4), після гичкоуловлювачів (5), перед бурякомийкою (6), після бурякомийки (7).

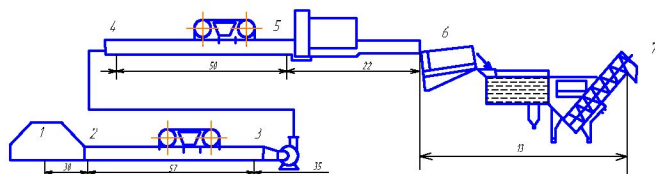


Рис. 1. Схема тракту подачі буряків

Отримані дані показали, що на протязі сезону в різних погодних умовах зв'язана забрудненість буряків у відповідних місцях коливалася у значних межах. Забрудненість коренеплодів у кагатах коливалася від 4,4 до 12 %, у бурячній після гідрантів вона складала від 2,4 до 6,8 % (1), на виході з бурячної — від 1,62 до 4,26 % (2), перед буряконасосом — від 0,67 до 2,17 % (3),

після буряконасоса — 0,323 до 0,917 % (4), після гичкоуловлювачів — від 0,187 до 0,623 % (5), перед бурякомийкою — 0,132 до 0,479 % (6), після бурякомийки — від 0,067 до 0,124 % (7). Усереднені дані зв'язаної забрудненості наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри зв'язаної забрудненості

Точка заміру	1	2	3	4	5	6	7
Протяжність транспортування до точки заміру, м	0	38	95	120	170	192	205
Зв'язана забрудненість, %	5,15	3,29	1,59	0,96	0,45	0,35	0,11

У усередненому вигляді зміна зв'язаної забрудненості буряків у залежності від протяжності гідравлічного транспортування представлена на рис. 2.

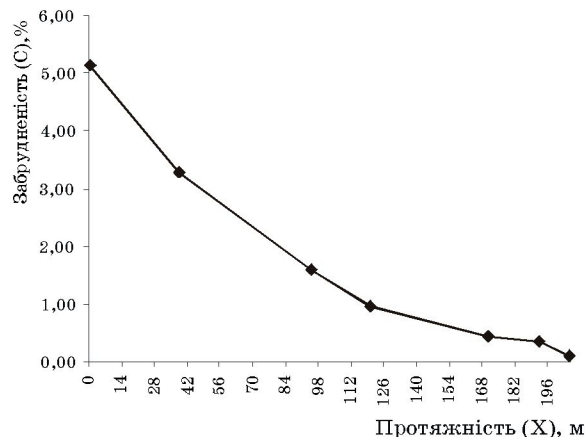


Рис. 2 Динаміка зв'язаної забрудненості коренеплодів по протяжності гідротранспортування та відмивання

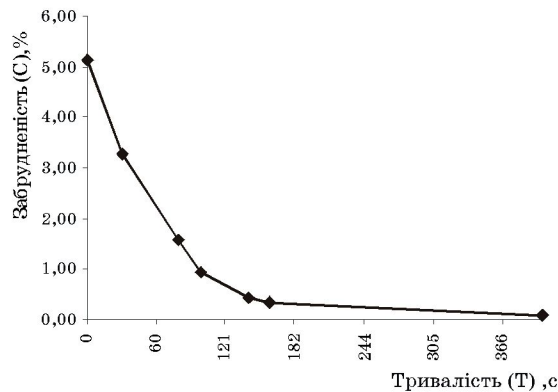


Рис.3 Динаміка зв'язаної забрудненості коренеплодів по тривалості гідротранспортування та відмивання

Аналіз даних табл.1 (рис. 2) показує, що процес відмивання має спадаючий перебіг з найактивнішим відокремленням зв'язаних забруднень на початкових етапах та подальшим уповільненням по ходу гідротранспортування. Кінцева ділянка кривої характеризує процес відмивання у бурякомийці, який проходить на невеликій протяжності, але значно інтенсифікується за рахунок механічної взаємодії коренеплодів. Разом з тим, графік (рис. 2), даючи загальне уявлення про динаміку зміни зв'язаної забрудненості по ходу гідротранспортування, не повною мірою відображає локальні особливості процесу, оскільки крім протяжності транспортування є й інші чинники, що впливають на його перебіг. Тому за допомогою середніх показників швидкості потоку та тривалості відмивання у бурякомийці було проведено розрахунки і побудовано графік зміни зв'язаної забрудненості у залежності від тривалості процесу транспортування і відмивання (рис. 3).

Аналіз графіка показує, що забрудненість, як функція часу, набагато швидше спадає на початку процесу і дуже уповільнюється у кінці — на етапі бурякомийних машин, що є природним, оскільки для завершальної стадії потрібні значні зусилля. Помітним є також достатньо інтенсивне зменшення забрудненості на третьому відрізку кривої, що пояснюється додатковим впливом буряконасосів на відмивання зв'язаних забруднень.

Викладене вказує на взаємоз'язок багатьох факторів, вплив яких формує загальну динаміку процесу відмивання зв'язаних забруднень, доцільність його поділу на процеси, що відбуваються при гідротранспортуванні та при відмиванні у бурякомийних комплексах, і можливість побудови математичної моделі кінетики процесу очищення, яка враховувала б вплив основних чинників.

Окремі стадії процесу відокремлення зв'язаних забруднень при гідротранспортуванні подібні до процесів просочування волокнистих матеріалів, набування колоїдних мас, гідродинаміки струменевих течій [2]. Очевидно, що при зменшенні кількості забруднень на поверхні буряків концентрація їх у воді зростає. Тоді швидкість зменшення зв'язаної забрудненості бурякосировини dC/dx буде пропорційна різ-

ниці між кількістю забруднень, що знаходяться на поверхні коренеплодів і кількістю забруднень, зосереджених у воді.

$$\frac{dC}{dx} = -\lambda(C - \alpha(C_0 - C)) \quad (1)$$

де C_0 — початкова зв'язана забрудненість бурякосировини при вході в систему, C — поточна зв'язана забрудненість бурякосировини — змінна величина, що залежить від протяжності гідротранспортування бурякосировини, λ — коефіцієнт пропорційності, що залежить від конкретних умов перебігу процесу, α — безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив факторів, які гальмують процес відмивання коренів. До цих факторів зокрема належить високий вміст забруднень у транспортерній воді, концентрація забруднень у заглибинах коренеплодів, їх армування кореневими волосками та відростками, пересичення води органічними складовими тощо. Вплив цих факторів тим помітніший, чим менше зв'язаних забруднень залишається на поверхні коренеплодів.

Зміст коефіцієнта пропорційності λ у рівнянні (1) — це добуток безрозмірного множника k і множника, оберненого до довжини відповідного проміжку L , тобто

$$\lambda = k \cdot \frac{1}{L} = \frac{k}{L};$$

Безрозмірний множник k — це відношення кількісної величини факторів, що сприяють процесам відмивання, до кількісної величини факторів що протистоять останнім. Тлумачити його слід з урахуванням наступного:

1. Процес відмивання забруднень, що знаходяться на поверхні коренеплодів, проходить в тонкому шарі, ефективний розмір якого сумірний з розміром елементарних частинок ґрунту, що утворює забруднення.

2. При знаходженні бурякосировини у воді основними силами, що утримують забруднення на поверхні коренеплодів, є сили взаємодії між частинками забруднень, при цьому їх величина пропорційна висоті підйому води у капілярах цих забруднень.

3. Основним рушієм відокремлення забруднень з поверхні коренеплодів є гідромеханічна дія струменів транспортерної води. Вплив механічного обладнання тракту подачі та інших коренеплодів відіграє другорядну роль.

Таким чином, визначальним фактором, що сприяє процесам відокремлення зв'язаних забруднень слід вважати питому кінетичну енергію потоку, що омиває коренеплод в межах тонкого шару, а основним чинником, що протистоїть відмиванню — сили внутрішньої взаємодії між частинками забруднень. Отже має місце представлення:

$$\lambda = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_p} \cdot \frac{1}{L} \quad (2)$$

де ε_k — питома кінетична енергія потоку навколо коренеплода, ε_p — величина, що характеризує питому енергію взаємодії між частинками забруднень.

Припустивши, що кінетична енергія потоку пропорційна величині $\epsilon_k = v^2/2$ в тій же мірі, що і сили взаємодії між частинками забруднень пропорційні величині $\epsilon_p = gh$, одержимо відношення:

$$\lambda = \frac{\epsilon_k}{\epsilon_p} \cdot \frac{1}{L} = \frac{v^2}{2gh} \cdot \frac{1}{L}; \quad (3)$$

де v — швидкість потоку відносно поверхні коренеплоду, L — довжина відрізка лінії гідротранспортування, для якої будується модель, h — висота підйому рідини у капілярах шару забруднення, яка розраховується за формулою:

$$h = \frac{2\sigma}{pgr}; \quad (4)$$

Після підстановки (4) у формулу (3) одержимо:

$$\lambda = \frac{v^2}{2gh} \cdot \frac{1}{L} = \frac{\rho g r v^2}{2g2\sigma} \cdot \frac{1}{L} = \frac{\rho d v^2}{8\sigma} \cdot \frac{1}{L}; \quad (5)$$

де $d = 2r$ — розміру частинок забруднення, ρ — густина транспортерної води, σ — коефіцієнт поверхневого натягу води, g — прискорення земного тяжіння, r — радіус частинок забруднення, що сумірний з розміром порожнин між його частинками.

Точне значення коефіцієнта динамічності знаходиться при розв'язку рівняння (1) на основі експериментальних даних. Формула (5) має оціночний характер, вона вказує можливі шляхи ефективного збільшення цього коефіцієнта та інтенсифікації процесу відокремлення зв'язаних забруднень.

Розв'язавши диференційне рівняння (1) методом розділення змінних, одержимо:

$$C(x) = \frac{C_0}{1 + \alpha} (\alpha + e^{-\lambda(1+\alpha)x}); \quad (6)$$

До складу виразу (6) входять три невідомі величини: C_0 , α і λ . Маючи три пари значень цієї функції

$$C(0) = C_0; C(L) = C_k; C(x_1) = C_1,$$

де x_1 — проміжне значення з проміжку $0 \leq x_1 \leq L$, зводимо розв'язок диференційного рівняння (6) до виду

$$C(x) = C_0 \frac{(\gamma(1 + \alpha) - \alpha)^{\frac{x}{L}} + \alpha}{1 + \alpha}, \quad (7)$$

де $\gamma = C_k/C_0$. Використавши дані табл.1 ($C_0 = 5,15$, $C_k = 0,35$ та $C_1 = 0,45$ при $x_1 = 170$ м), одержимо формулу (7) у явному вигляді:

$$C(x) = 5,04 \cdot (0,047455^{\frac{x}{192}} + 0,022); \quad (8)$$

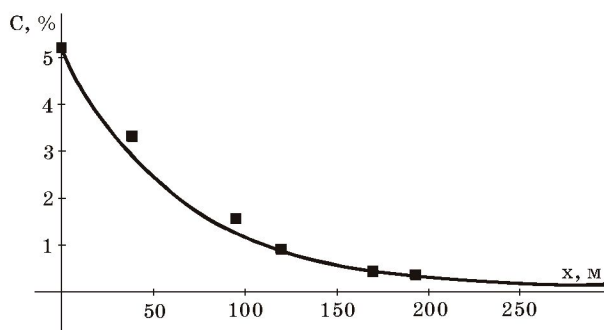


Рис.4. Динаміка процесу очищення

На рис.4 наведено графік динаміки процесу очищення, побудований згідно отриманої закономірності (точками позначені показники забрудненості з табл. 1.

Розглянемо можливість застосування виразу (8) для опису процесу очищення по його тривалості. Для цього введемо величину середньої швидкості руху бурякосировини по тракту подачі \bar{v} . Тоді поточна координата x в межах проміжку $0 \leq x \leq L$ буде виражатися як $x = \bar{v} \cdot t$, де t — час перебування бурякосировини на тракті гідротранспортування. Формула (7) отримує вигляд:

$$C(t) = C_0 \frac{(\gamma(1 + \alpha) - \alpha)^{\frac{\bar{v}t}{L}} + \alpha}{1 + \alpha}; \quad (9)$$

Позначивши через $T = L/\bar{v}$ — повний час перебування бурякосировини на тракті гідротранспортування, остаточно одержимо:

$$C(t) = C_0 \frac{(\gamma(1 + \alpha) - \alpha)^{\frac{t}{T}} + \alpha}{1 + \alpha}; \quad (10)$$

Для перевірки можливості застосування формули (10) до опису процесів відокремлення зв'язаних забруднень по тривалості їх перебування на тракті скористаємося даними табл.2, отриманими у лабораторних умовах в установці, де моделювався турбулентний режим, подібний до режиму потоку у гідротранспортері, та відбувалося відмивання коренеплодів від початкової забрудненості $C_0 = 3,4$ % до кінцевої $C_k = 1,2$ % через 14 хв. Особливості цього процесу в табл.2.

Таблиця 2

Тривалість процесу, хв	0	2	4	6	8	10	12	14
Зв'язана забрудненість, %	3,4	3,1	2,44	2,02	1,8	1,5	1,24	1,2

Після підстановки даних та обчислень одержимо розрахункову формулу у вигляді:

$$C(t) = 2,724(0,1924^{\frac{t}{14}} + 0,2482); \quad (11)$$

На рис.5 наведено графік зміни забрудненості $C = f(t)$, побудований згідно закономірності (11) (точками позначені показники фактичної забрудненості, взяті з табл. 2).

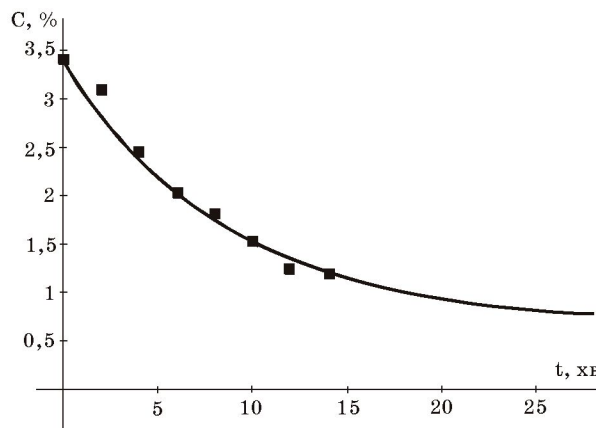


Рис. 5. Графік зміни забрудненості

Одержані аналітичні залежності $C = f(L)$ та $C = f(t)$ задовільно описують процес очищення буряків на тракті їх гідротранспортування.

Висновки. Процес відокремлення зв'язаних забруднень з поверхні коренеплодів у ході гідравлічного транспортування має спадаючий перебіг, який може бути описаний диференціальним рівнянням першого порядку.

Побудовані математичні моделі процесу гідротранспортування достатньо точно описують процес відокремлення зв'язаних забруднень з поверхні коренеплодів як по протяжності гідротранспортування, так і по тривалості перебування бурякосировини у потоці транспортерної води.

Отримані залежності вказують на можливі шляхи інтенсифікації процесів відокремлення зв'язаних

забруднень з поверхні коренеплодів та у подальшому дозволяють провести уточнення моделі шляхом розбиття всього процесу гідротранспортування на окремі етапи з урахуванням локальних особливостей технологічного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства.* В 2-х ч. Ч.1./В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, А.Г. Белостоцкий и др.; Под ред. В.О. Штангеева. — К.: «Цукор України», 2003. — 352 стр., 71 табл., 128 ил.
2. *Федоткин И.М.* и др. Интенсификация технологических процессов пищевых производств/И.М.Федоткин, Б.Н. Жарик, Б.И. Погоржельский. — К.: Техніка, 1984. — 176 с. ил.

Одержана редколлегією 20.06.08 р.