

І. Я. Матківська, Р. З. Лоза, З. Я. Гнатів
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної інженерії

ГІДРОДИНАМІКА ФІЛЬТРУВАННЯ ТЕПЛООВОГО АГЕНТА КРІЗЬ СТАЦІОНАРНИЙ ШАР БУРЯКОВОГО ЖОМУ

© Матківська І. Я., Лоза Р. З., Гнатів З. Я., 2016

Наведено експериментальні результати гідродинаміки фільтрування теплового агента в стаціонарному шарі жому. В результаті проведених експериментів отримано нові розрахункові залежності для визначення гідравлічного опору бурякового жому залежно від швидкості фільтрування теплового агента і висоти шару матеріалу. Також запропоновано розрахункові залежності для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя та встановлено його залежність від числа Рейнольдса. Це дасть змогу визначити втрати тиску в шарі матеріалу при проектуванні обладнання та економічну доцільність модернізації виробничих процесів.

Ключові слова: фільтраційне сушіння, буряковий жом, гідродинаміка, тепловий агент.

I. Ya. Matkivska, R. Z. Loza, Z. Ya. Gnativ

HYDRODYNAMICS OF FILTRATION OF HEATING AGENT THROUGH STATIONERY LAYER OF BEET PULP

© Matkivska I. Ya., Loza R. Z., Gnativ Z. Ya., 2016

This paper represents the experimental results concerning hydrodynamics of the stationary layer of beet pulp during the filtration drying. As a result of the experiments new calculated dependencies were obtained to determine the hydraulic resistance of beet pulp depending on heat agent filtration rate and height of layer. This paper also suggests the design dependences to determine the hydraulic friction factor and established its dependence on the Reynolds number. This allows to determine the pressure losses in the material layer while designing the equipment and economic expediency of the process upgrading.

Key words: dry filtration, beet pulp, hydrodynamics, heat agent.

Постановка проблеми. Буряковий жом належить до вторинної продукції цукробурякового виробництва. Беручи до уваги великі масштаби переробки цукрових буряків, а також те, що вихід сирого бурякового жому становить 80–83 % від маси перероблених буряків, можна зазначити необхідність переробки, зберігання та утилізації бурякового жому. Сьогодні можна виділити такі основні напрямки використання та утилізації бурякового жому: біогаз, корм для худоби, пектиновий концентрат, пектиновий клей, харчові волокна, паливо для ТЕЦ цукрового заводу [1, 2]. Одним з основних і традиційних напрямків застосування свіжого бурякового жому є використання його як корму у тваринництві. Жом містить целюлозу, пектинові речовини, цукор, азотисті речовини, а також вітаміни та мікроелементи. Як корм для худоби жом використовують у свіжому та консервованому вигляді. Проте тривале зберігання у свіжому вигляді призводить до втрати поживних речовин та погіршення екологічної ситуації. Тому питання зменшення втрат і збагачення жому поживними речовинами з метою одержання повноцінного корму для тварин надзвичайно актуальне. Цього досягають консервуванням свіжого жому, а також одержанням висушеного жому, зокрема збагаченого.

Аналіз джерел літератури. Основний спосіб виробництва сухого бурякового жому передбачає його віджимання і сушіння [3]. Найпоширенішим способом сушіння матеріалу (до 90 %) є конвективний метод [1, 2], який характеризується простотою конструкції та обслуговування.

Сьогодні для зневоднення бурякового жому широко використовуються барабанні сушарки та установки псевдозрідженого шару. Проте ці сушарки мають значні недоліки: барабанні сушарки характеризуються високою металоємністю, потребою у великих об'ємах приміщень, пошкодженням матеріалу та високими температурами теплового агента. Сушарки з киплячим шаром характеризуються високим гідравлічним опором, пошкодженням матеріалу та виносом дрібної фракції за межі апарату. Крім того, свіжий буряковий жом має вологість 92–95 %, тому в технології виробництва сухого жому передбачено його віджим, що потребує додаткового обладнання.

Запропоновано фільтраційний метод сушіння, який має низку переваг порівняно з іншими методами, а саме: частина вологи видаляється механічно (в деяких матеріалах до 70 %), без затрат теплової енергії на фазове перетворення вологи на пару; реальна швидкість омивання тепловим агентом вологих частинок є значно більшою, ніж при конвективному сушінні і, відповідно, коефіцієнти тепло-, масовіддачі та коефіцієнти дифузії будуть також більшими; втрати тиску в стаціонарному шарі зерна під час фільтраційного сушіння є меншими порівняно із сушінням у киплячому шарі; потенціал сушильного агента використовується практично повністю, що, своєю чергою, інтенсифікує процес сушіння [4, 5].

Мета роботи. Метою роботи є теоретичний аналіз і експериментальне дослідження гідродинаміки фільтрування теплового агента крізь стаціонарний шар сухого та вологого бурякового жому і подання результатів експериментальних досліджень у безрозмірній формі.

Експериментальна частина. Рушійною силою процесу фільтрування теплового агента крізь пористу структуру шару бурякового жому є перепад тисків, тому першим етапом дослідження фільтраційного сушіння є експериментальне визначення гідродинаміки процесу. Перепад тисків визначає швидкість фільтрування газового потоку крізь стаціонарний шар дисперсного матеріалу і, відповідно, величини коефіцієнтів тепло- і масовіддачі, а також товщину гідродинамічного, теплового і дифузійного пограничних шарів, які, своєю чергою, впливають на інтенсивність тепло- і масоперенесення під час фільтраційного сушіння.

Експериментально досліджували гідродинаміку стаціонарного шару на установці та за методикою, наведеною у роботі [6]. Зміни втрат тиску досліджували у шарі жому заввишки $55 \cdot 10^{-3}$; $85 \cdot 10^{-3}$; $115 \cdot 10^{-3}$; $145 \cdot 10^{-3}$ м. Результати експериментальних досліджень втрат тиску як функції фіктивної швидкості фільтрування теплового агента крізь стаціонарний шар сухого та вологого бурякового жому наведено на рис. 1.

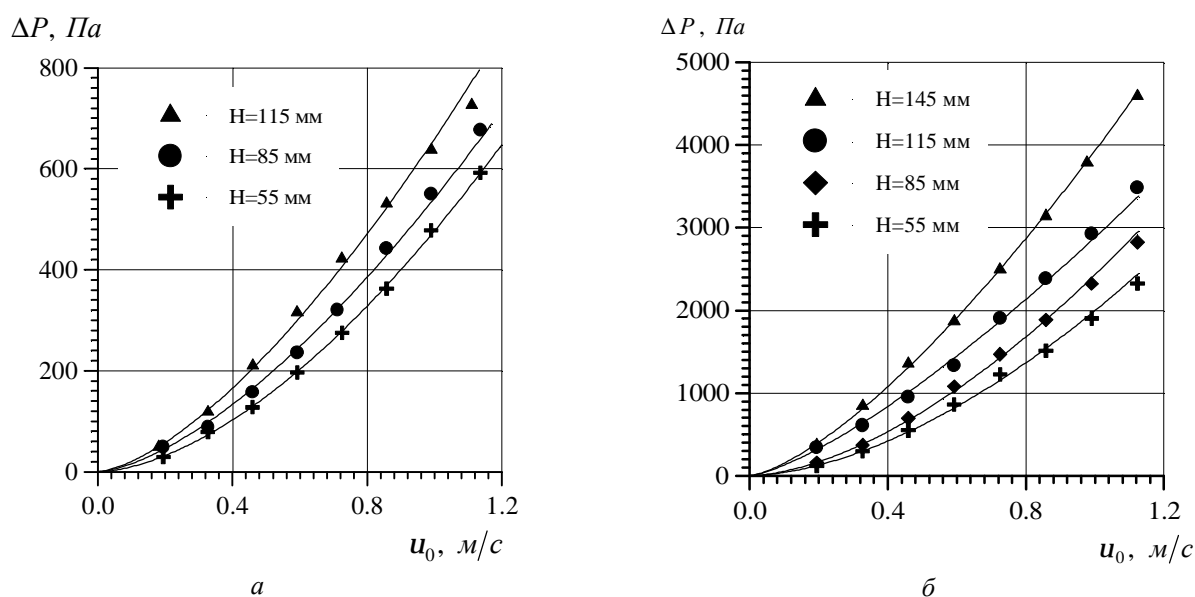


Рис. 1. Залежність втрати тиску ΔP в стаціонарному шарі бурякового жому від фіктивної швидкості u_0 для різних висот шару матеріалу H : а – сухого жому, б – вологого жому

Як видно з рис. 1, зі збільшенням висоти шару жому гідравлічний опір зростає, і його значення є відносно невеликим, що є позитивним для організації процесу сушіння бурякового жому фільтраційним методом. Крім того, значення ΔP для сухого шару є меншим. Також варто зазначити, що залежність втрат тиску від фіктивної швидкості має параболічний характер, отже, на процес впливають як інерційна, так і в'язкісна складові.

Для прогнозування втрат тиску в стаціонарному шарі матеріалу у технічній літературі використовують модифіковане двочленне рівняння Ергана, яке лінеаризують відносно фіктивної швидкості фільтрування газового потоку у вигляді:

$$\frac{\Delta P}{H \cdot u_0} = A^* + B^* \cdot u_0, \quad (1)$$

де $A^* = A \cdot \frac{m \cdot a^2}{32 \cdot e^3}$ і $B^* = B \cdot \frac{r \cdot a}{8 \cdot e^3}$.

Для визначення невідомих коефіцієнтів A^* і B^* отримані експериментальні результати втрат тиску в шарі жому представляли у вигляді функціональної залежності $\Delta P / (H \cdot u_0)$, наведеної на рис. 2.

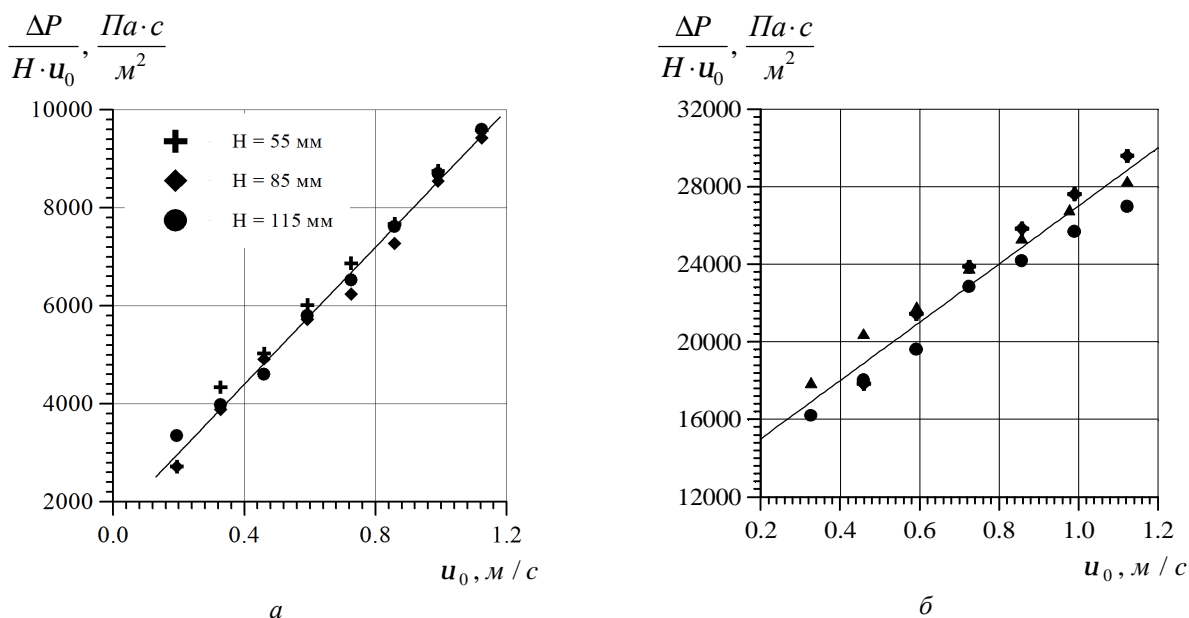


Рис. 2. Графічна залежність $\Delta P / (H \cdot u_0) = f(u_0)$ для визначення невідомих коефіцієнтів A^* і B^* в шарі:
а – сухого жому, б – вологого жому

З графічної залежності (рис. 2) коефіцієнт A^* визначали за відрізком, що відтинає пряма на осі ординат, а коефіцієнт B^* – за тангенсом кута нахилу прямої до осі абсцис. Отже, визначивши невідомі коефіцієнти, рівняння (1) можна подати у такому вигляді:

для сухого шару бурякового жому:

$$\Delta P / (H \cdot u_0) = 1600 + 7000 \cdot u_0; \quad (2)$$

для вологого шару бурякового жому:

$$\Delta P / (H \cdot u_0) = 12000 + 15000 \cdot u_0. \quad (3)$$

Для визначення втрат тиску в стаціонарному шарі дисперсного матеріалу в промисловості широко використовують залежність Дарсі–Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}. \quad (4)$$

В залежності (4) невідомою величиною є коефіцієнт гідравлічного опору I шару, який є функцією числа Рейнольдса $I = f(Re_e)$. Коефіцієнт I визначають на основі експериментальних

даних для кожного конкретного матеріалу. Встановлення залежності коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса дасть змогу використовувати отриману залежність для прогнозування втрат тиску під час проектування та переналагодження обладнання за умови, що гідродинамічні параметри установок будуть подібними. У загальному випадку залежність коефіцієнта λ від числа Рейнольдса подають у вигляді залежності:

$$I = \frac{A}{Re_e} + B. \quad (5)$$

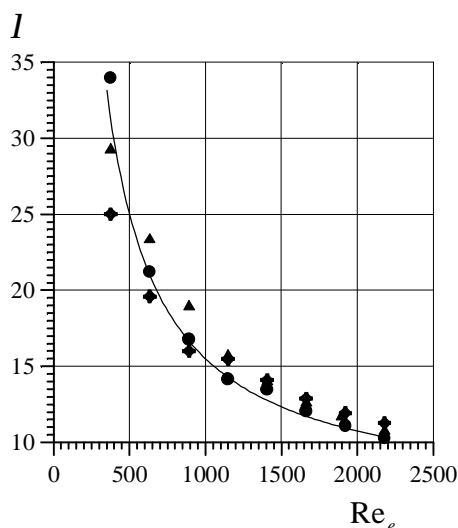


Рис. 3. Залежність коефіцієнта гідравлічного опору I від числа Re_e

Для визначення невідомих коефіцієнтів A та B із залежності Дарсі–Вейсбаха на основі експериментальних даних розраховували коефіцієнти гідравлічного опору та значення числа Рейнольдса для всіх досліджуваних висот шару та швидкостей фільтрування газового потоку крізь стаціонарний шар вологого матеріалу, а отримані результати подавали у вигляді графічної залежності (рис. 3). Для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя використовували значення втрат тиску у шарі вологого бурякового жому, адже його значення для вологого є значно більші, ніж для сухого.

Аналіз графічної залежності (рис. 3) показує, що експериментальні дані можна апроксимувати степеневою функцією і подати коефіцієнт гідравлічного опору у вигляді:

$$I = \frac{600}{Re_e} + 6. \quad (6)$$

Розраховані на основі рівняння (6) значення доволі добре збігаються із експериментальними даними, абсолютне значення відносної похибки не перевищує 9,5 %. Отже, отриману залежність можна рекомендувати для використання під час проектних розрахунків.

Висновки. Досліджено гідродинаміку фільтрування газового потоку крізь шар бурякового жому і визначено невідомі коефіцієнти модифікованого рівняння Ергана. Визначено коефіцієнт опору шару матеріалу, який дає змогу використовувати залежність Дарсі–Вейсбаха для прогнозування втрат тиску в стаціонарному шарі бурякового жому.

1. Сучасні напрямки використання та утилізації бурякового жому / В. В. Спічак, А. М. Вратський // *Сахар*. – 2011. – № 9. – С. 13–15. 2. Шутюк В. В. Порівняльний аналіз сушіння жому цукрових буряків гарячим повітрям і перегрітою параю / В. В. Шутюк, С. М. Василенко, О. С. Бессараб // *Збірник наукових праць ОНАХТ*. – 2014. – Т.1, Вип. 45. – С. 96–100. 3. Кинетика сушення свекольного жому перегретим паром в імпульсному виброкипающем слое / А. А. Шевцов, А. В. Дранников, С. А. Баришников, Ю. В. Фурсов // *Сахар*. – 2007. – № 4. – С. 28–29. 4. Атаманюк В. М/ *Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08*. – Львів, 2007. – 340 с. 5. Мосюк М. І. *Гідродинаміка і тепло масообмін під час сушіння подрібненої “енергетичної” верби в стаціонарному шарі: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08* / Микола Іванович Мосюк. – Львів, 2012. – 155 с. 6. Матківська І. Я. *Механізм і кінетичні закономірності фільтраційного сушіння зерна пшениці: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика* / Ірина Ярославівна Матківська. – Львів, 2015. – 163 с.