

зменшення гідралічного опору після створення в шарі штучної пористості, відповідно – зростання проникності шару матеріалу, сповільнення швидкості зменшення гідралічного опору наприкінці періоду пояснюється утворенням на поверхні матеріалу непроникної плівки.

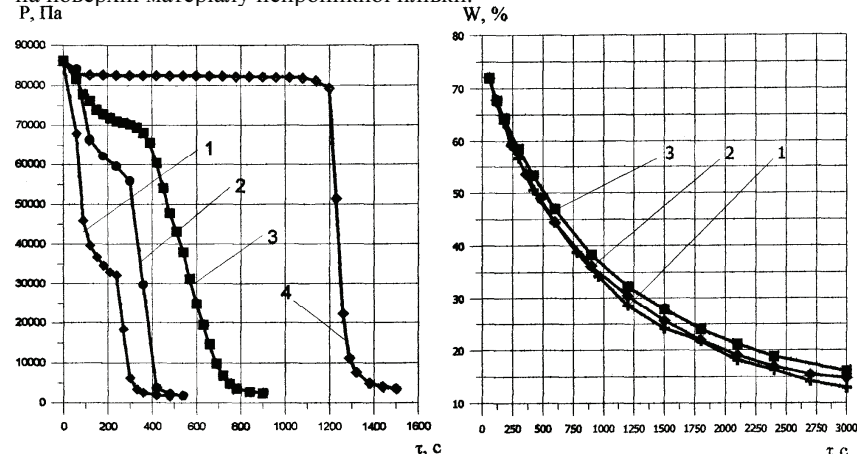


Рис. 1. Зміна перепаду тиску для суцільного шару матеріалу та із створеною у ньому штучною пористістю і при температурі теплоносія 50 °С: 1 – $S = 10\%$, 2 – $S = 5\%$, 3 – $S = 0.66\%$, 4 – суцільний шар матеріалу

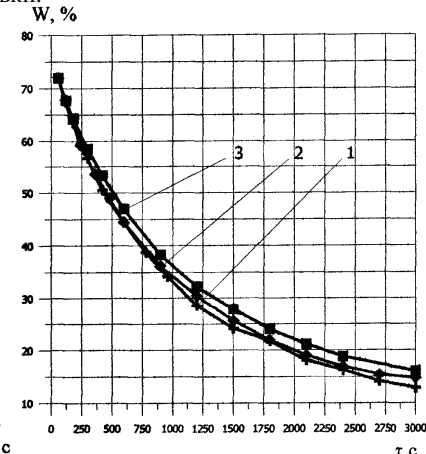


Рис. 2. Кінетика сушіння пастоподібного біологічно активного матеріалу при температурі теплоносія 50 °С та наявності в шарі штучної пористості: 1 – $S = 0.66\%$, 2 – $S = 1.32\%$, 3 – $S = 10\%$

Початок другого періоду також характеризується різким зменшенням перепаду тисків. Це пояснюється тим, що проявляються усадкові явища, які призвели в даному випадку до утворення рівномірної сітки тріщин незначних розмірів, але великої їх кількості. Тобто, значно зросла поверхня контакту теплоносія і висушуваного матеріалу (поверхня тепломасообміну) та збільшилась проникливість шару матеріалу. Таке явище сприяє інтенсифікації сушіння через зменшення опору молекулярній дифузії вологи до мікротріщин.

На рис. 2 представлені кінетичні криві сушіння досліджуваного матеріалу. Незважаючи на різний живий перетин штучної перфорації, кінетичні криві майже співпадають. Це явище пояснюється тим, що значення сумарного живого перетину утворених внаслідок усадкових явищ мікротріщин значно перевищує значення живого перетину штучної перфорації. Рівномірність мікротріщин залежить від живого січення штучної пористості на початку процесу, що позитивно відображається на кінетиці сушіння.

Збільшити поверхню тепломасообміну нам дозволило розташування у перфорованому шарі матеріалу металевої сітки. Тобто сушіння проводилось комбінованим фільтраційно-контактним методом. Тепло передавалось матеріалу як теплоносієм, що профільтовувався через шар перфорованого матеріалу, так і нагрітою цим теплоносієм сіткою. Результати досліджень представлені на рис. 3, 4.

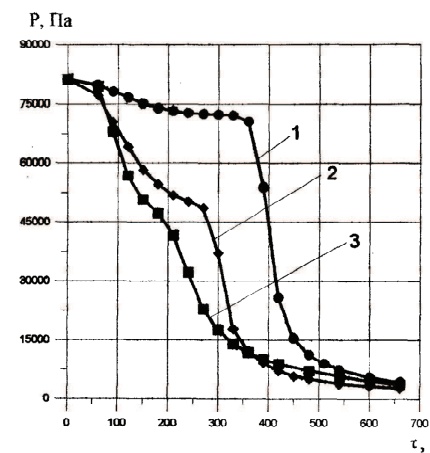


Рис. 3. Зміна перепаду тиску для шару матеріалу за наявності контактного нагрівання та різної величини штучної пористості: 1 – 0.16 %, 2 – 0.67 %, 3 – 1.9 %

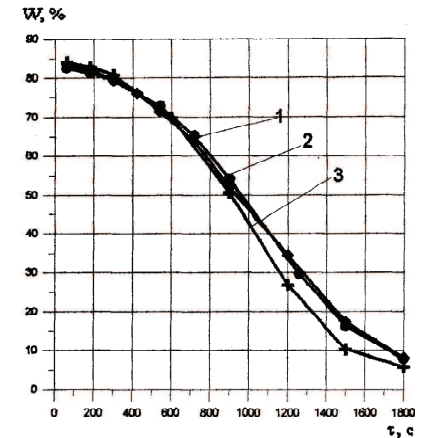


Рис. 4. Залежність кінетики сушіння матеріалу за наявності контактного нагрівання від ступеню створеної у його шарі пористості: 1 – 0.16 %, 2 – 0.67 %, 3 – 1.9 %

Наявність кондуктивного нагрівання шару матеріалу металевою сіткою при одночасному проходженні через нього теплоносія призводить до зростання інтенсивності сушіння у два рази.

Подальші наші дослідження спрямовані на збільшення поверхні тепломасообміну за рахунок зміни конструкції металевої сітки, яка забезпечить підведення тепла по всій висоті шару висушуваного матеріалу.

Література

1. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая пром-сть, 1976. – 248 с.

УДК 66.047

Доц. В.І. Топчій, канд. техн. наук; проф. Я.М. Ханік, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ КАРТОНІВ

Наведено результати досліджень основних закономірностей фільтраційного сушіння фільтрувальних картонів при застосуванні високотемпературного теплоносія (473–673 К) з аналізом механізму процесу.

Doc. V. Topchiy, prof. Ya. Hanyk – NU "Lvivska Politehnika"

Experimental researches of laws filtrational drying of filtering cardboards

The results of the basic laws of filtrational drying filtering cardboards at use of the high-temperature heat-carrier (473–673 K) with the analysis of the mechanism of process.

Експериментальні дослідження закономірностей фільтраційного сушіння різноманітних пористих матеріалів мають важливе значення для аналізу механізму та подальшого математичного узагальнення процесу.

Мета даної роботи – інтенсифікація фільтраційного сушіння фільтрувальних картонів ПКВ, які використовуються в повітряних фільтрах автомобільних двигунів, за рахунок застосування високотемпературного теплоносія в діапазоні 473-673 К. Експерименти проводилися на установці, в складі якої був теплогенератор з газовим пальником.

Для всебічного аналізу механізму високотемпературного сушіння дослідним шляхом були отримані та співставлені основні залежності процесу, наведені на рис. 1 (для прикладу наведені залежності сушіння при гідравлічному опорі матеріалу в сухому стані $A_{pc}=1.6$ кПа і температурі теплоносія $T=573$ К).

Аналіз результатів показує наступне. Фільтраційне сушіння починається в момент досягнення деякого критичного значення перепаду тисків Δp_{k1} . Відрізок часу, за який перепад тисків збільшується до значення Δp_{k1} , становить приблизно 0.5 с. За цей час зменшення вологості матеріалу відбувається за рахунок обдування зовнішньої поверхні потоком теплоносія, який підводиться для сушіння.

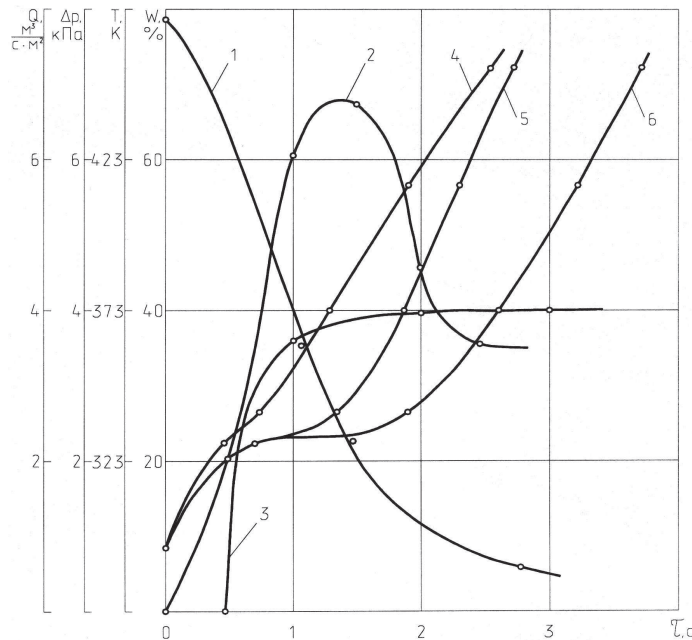


Рис. 1. Залежність параметрів фільтраційного сушіння фільтроматеріалу ПКВ від часу: криві 1 – кінетична, 2 – перепаду тисків, 3 – витрати теплоносія, 4 – температури зовнішньої поверхні, 5 – температури нижньої поверхні, 6 – температури теплоносія на виході з матеріалу

У момент досягнення Δp_{k1} відбувається механічний винос деякої кількості вологи з найбільш великих пор матеріалу, який супроводжується утворенням в ньому наскрізних каналів. Через ці канали починається проходження теплоносія з інтенсивним збільшенням його витрати. Збільшення витрати сушильного агента призводить до збільшення перепаду тисків на вологому полотні до деякого другого критичного значення Δp_{k2} , яке визначається гідравлічним опором матеріалу в даний момент часу сушіння та заданою максимальною кількістю теплоносія, який профільтровується крізь нього.

Явище механічного виносу вологи можна було спостерігати на дослідній установці візуально. Для цього частина трубопроводу безпосередньо під вакуумною камерою була замінена вставкою зі скла. Після створення розрідження під вологим візцем на стінках вставки чітко було видно появу великої кількості водяних крапель, що підтверджує наявність явища механічного виносу вологи.

Після подолання Δp_{k1} , яке супроводжується початком інтенсивного руху теплоносія крізь вологий матеріал, швидкість сушіння, як показують кінетичні криві, починає набувати значення, яке відповідає найбільшій інтенсивності процесу. У першому періоді сушіння в наскрізних каналах, які утворилися, відбувається випаровування вологи, яка знаходиться на їх стінках, і швидкість цього випаровування залежить від температури та швидкості сушильного агента, який фільтрується крізь матеріал, а також – визначається поверхнею контакту між теплоносієм та рідиною, яка розподілена на стінках розгалуженої пористої структури матеріалу. При цьому, таке явище, як внутрішня дифузія вологи, яке має місце при кондуктивному або конвективному вологовидаленні, в даному випадку проявляється значно меншою мірою, що, зокрема, зумовлює багаторазову інтенсифікацію фільтраційного масообміну.

Коли капілярна волога випаровується повністю і починається видалення з міжкапілярних ділянок матеріалу адсорбційно та осмотично зв'язаної вологи, спостерігається перехід до другого періоду процесу, періоду падаючої швидкості сушіння. Вологість матеріалу при цьому менша, ніж 20 % і поступово далі набуває свого рівноважного значення. Витрата теплоносія та перепад тисків в другому періоді сушіння практично стабілізуються і досягають своїх параметрів по сухому матеріалу з врахуванням температури сушильного агента.

Суттєвим доповненням до аналізу механізму фільтраційного сушіння є криві зміни температури матеріалу та сушильного агента в ході процесу. При співставленні температурних кривих з кінетичними можна відзначити наступне.

Початок процесу сушіння супроводжується прогрівом матеріалу від його початкової температури до температури мокрого термометра. Далі температура зовнішньої поверхні матеріалу майже відразу починає підвищуватися, а температура нижньої поверхні – залишається деякий час на рівні температури мокрого термометра. Дана закономірність свідчить про наявність явища нерівномірного сушіння полотна по його висоті. Дійсно, при переміщенні вздовж наскрізних капілярів, на стінках яких є волога, яка випаровується, су-

шильний агент насичується у вищележачих шарах матеріалу, тому нижчележачі шари вологу свою деякий час зберігають, їх температура залишається на рівні температури мокрого термометра. У міру висихання верхніх шарів, зона сушіння поступово заглиблюється по ходу руху теплоносія і пересувається до нижчележачих шарів до тих пір, поки капілярна волога в наскрізних каналах не випарується повністю. Тому температура верхньої поверхні полотна в процесі фільтраційного сушіння завжди вища від температури його нижньої поверхні. Цей фактор потрібно враховувати для дотримання якісних показників матеріалу.

Висота вологого шару полотна в ході процесу постійно зменшується. Ця обставина, зокрема, сприяє інтенсивному протіканню сушіння в першому періоді, тому що дозволяє з часом процесу здійснювати підвід до нижчележачих шарів матеріалу менш насиченого вологою теплоносія і таким чином – інтенсифікувати масообмін.

Після випаровування з матеріалу капілярної вологи починається видалення вологи осмотично та адсорбційно зв'язаної, що відбувається в другому періоді процесу сушіння. Ця волога має більш міцний зв'язок з матеріалом, на її випаровування необхідно витрачати більше енергії, що призводить в періоді падаючої швидкості сушіння до підвищення температури матеріалу, яка після повного його зневоднення поступово досягає температури теплоносія, який підводиться до матеріалу для сушіння.

Температурні криві сушильного агента на виході з матеріалу характеризують ступінь ефективності його використання. Співставлення температурних кривих з кінетичними показує, що при зменшенні вологості матеріалу з 79 % до 20 %, тобто майже до закінчення процесу, температура відпрацьованого теплоносія не перевищує температури мокрого термометра, яка дорівнює 331 К (при температурі теплоносія 573 К), що свідчить про високу ступінь ефективності використання сушильного агента. Різке підвищення температури теплоносія на виході з матеріалу приходить на початок періоду падаючої швидкості сушіння, коли з полотна випаровується адсорбційно та осмотично зв'язана волога, яка вимагає, на відміну від вологи капілярної, для свого видалення нагріву матеріалу до відносно високих температур.

Необхідно зазначити, що пошарове випаровування вологи в процесі фільтраційного сушіння, призводить до утворення по товщині матеріалу градієнтів вологовмісту та температури. Температурний градієнт має напрям, який співпадає з напрямком фільтрації теплоносія, його наявність сприяє інтенсифікації процесу. Термодифузія вологи, яка виникає при цьому, так само прискорює сушіння матеріалу. Градієнт вологовмісту навпаки, спрямований в сторону, протилежну руху теплоносія крізь полотно і таким чином є фактором, який перешкоджає інтенсифікації сушіння.

Отримані результати є основою для створення математичної моделі кінетики фільтраційного сушіння фільтрувальних картонів та організації процесу в промислових умовах.

Література

1. Ханьк Я. Н. Фильтрационная сушка плоских пористых материалов: Дис. докт. техн. наук, – Львов, 1992. – 401 с.

УДК 674.047.

Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук;
асист. І.А. Соколовський – УкрДЛТУ

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Наведено основні формули для розрахунку тривалості технологічних операцій: початкового нагрівання, сушіння деревини, тепловологообробки і кондиціонування.

Prof. P.V. Bilej, Dr. of Thechn. Sc., I.A. Sokolovsky – USUFWT

Determination of duration of technological operations of a lumber drying process operations

Brought over basic formulas for lumber drying duration computation.

Тривалість камерного сушіння пиломатеріалів складається із суми тривалостей таких технологічних операцій: складання матеріалу в штабель $\tau_{ф.ш.}$, початкова тепловологообробка $\tau_{пр}$ (початковий прогрів матеріалу), сушіння за даним режимом $\tau_{суш.}$, проміжні тепловологообробки $\tau_{п.о.}$, кондиціонування $\tau_{к.}$, остигання камери $\tau_{о.}$. Опишемо це формулою

$$\tau = \tau_{ф.ш.} + \tau_{пр} + \tau_{суш.} + \tau_{п.о.} + \tau_{к.} + \tau_{о.} \quad (1)$$

Укладання пиломатеріалів у штабелі виконується відповідно з КТМ (керівні технічні матеріали) проведення камерного сушіння деревини. Тривалість укладання пиломатеріалів у штабель залежить від ємності штабеля.

Місткість камери розраховують за формулою:

$$E = lbhn\beta_0 \frac{100 - y_0}{100}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

де: l, b, h – відповідно довжина, ширина та висота штабеля; n – кількість штабелів у камері; β_0 – коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля.

$$\beta_0 = \beta_d \beta_{ш} \beta_v,$$

де $\beta_d, \beta_{ш}, \beta_v$ – відповідно коефіцієнти заповнення штабеля по довжині, ширині, висоті штабеля. При застосуванні стандартних прокладок (25×40 мм).

$$\beta_v = \frac{S_1}{S_1 + 25},$$

де: S_1 – товщина матеріалу, мм; Y_0 – об'ємне всихання матеріалу (залежить від розмірів матеріалу, породи та кінцевої вологості), визначається за формулою $Y_0 = K_0(30 - W_K)$; W_K – кінцева вологість деревини).