

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ КІНЕТИКИ
СУШІННЯ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ

Досліджено кінетику процесу сушіння пивних дріжджів у тонкому шарі і одиничних краплин. Отримано експериментальні криві зміни температури і маси тонкого шару дріжджів від тривалості сушіння й температури теплоносія, а також температурні криві сушіння одиничних краплин у потоці теплоносія.

Ключові слова: кінетика процесу сушіння, пивні дріжджі, тонкий шар, криві сушіння і температури, потік теплоносія.

Одна з актуальних проблем переробного комплексу — підвищення ефективності переробки та утилізації пивних дріжджів. Найефективнішим способом вирішення цієї проблеми є переробка дріжджів у концентрати, зокрема, в сухий порошок, що досягається способом сушіння дріжджів. Аналіз наукових і технічних знань показав, що нині, ефективність процесу сушіння обмежується недостатністю даних з гідродинаміки та кінетики тепломасообміну при зневодненні пивних дріжджів.

Режим висушування дріжджів вибирають так, щоб максимально зберегти вітамінний комплекс. З існуючих методів сушіння, з техніко-економічного погляду, найприйнятнішим можна вважати розпилювальне сушіння.

Складність теорії механічного і пневматичного (сушіння на шарі інертного матеріалу) розпилення при зневодненні спонукала до проведення досліджень крапель пивних дріжджів на експериментальному стенді теплоносія [2]. Вивчали кінетику сушіння окремої краплі як одиничного елемента загальної полідисперсної системи об'єму сушильної камери.

Розгляд зміни маси і температури тонкого шару вихідних і подрібнених пивних дріжджів дає змогу дослідити кінетику процесу сушіння.

Дослідження проводилися на експериментальному стенді, що складається із системи ізольованих повітропроводів з пристроями для нагрівання та циркуляції теплоносія, сушильних камер, приладів для

It is investigated kinetics process of drying of beer yeast in a thin layer and individual drops. It is received experimental curve changes of temperature and weights of a thin layer of yeast from duration of drying and temperatures of the heat-carrier, and also temperature curve dryings of individual drops in a stream of the heat-carrier.

Key words: kinetics process of drying, beer yeast, a thin layer, curve dryings and temperatures, a stream of the heat-carrier.

контролю параметрів процесу та вимірювання величин, які характеризують процес сушіння дослідного матеріалу. Конструкція стенду дозволила проводити дослідження процесу сушіння ваговим способом за допомогою ваг AD-500, з'єднаних з комп'ютером. Розроблена прикладна комп'ютерна програма дала можливість автоматично накопичувати інформацію про перебіг процесу сушіння та виконувати всі необхідні розрахунки. Швидкість повітря в сушильній камері вимірювала за допомогою анемометра МС-13 і становила —

Вихідні і подрібнені (зруйновані дріжджові клітини при високооберттовому перемішуванні протягом 90 с) дріжджі, налиті тонким шаром (2 мм) в лоток, поміщали в сушильну камеру і проводили дослідження при температурах теплоносія (повітря) 75, 130 С. Отримані в процесі дослідження показники записували і обробляли за допомогою комп'ютера. Результати представлені у вигляді графіків на рис. 1-6. в потоці. При дослідженні використано ізотермічний метод визначення зміни ваги [1]. Встановлено, що криві сушіння пивних дріжджів мають типовий характер для колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Аналіз свідчить, що на всіх отриманих кривих сушіння (див. рис. 1, 2) є стадія прогрівання матеріалу при зменшенні вологості по кривій; перший період сушіння — вологість і швидкість сушіння змінюються по прямій, але остання — непостійна величина; другий період сушіння — швидкість зниження вологості починає зменшуватися. У кінці процесу спостерігається наближен-

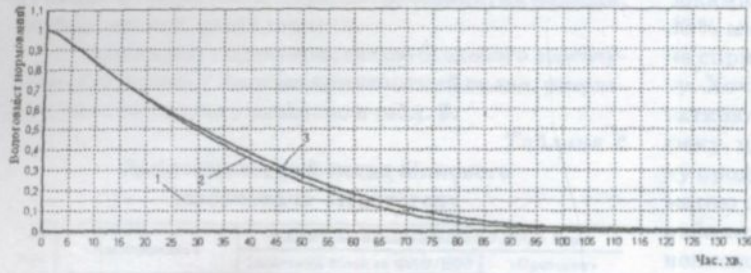


Рис. 1. Порівняння відносних кінетик сушіння дріжджів при 75 °C:
1 — границя; 2 — вихідні дріжджі; 3 — подрібнені дріжджі

Рис. 2. Порівняння відносних кінетик сушіння дріжджів при 130 °C:
1 — вихідні дріжджі; 2 — подрібнені дріжджі

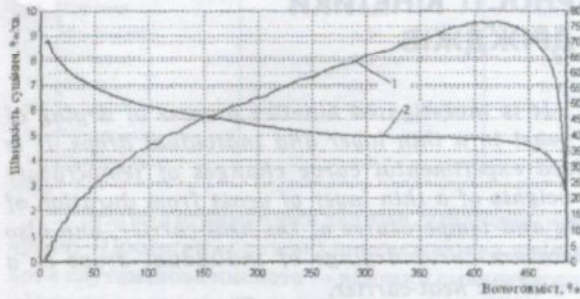
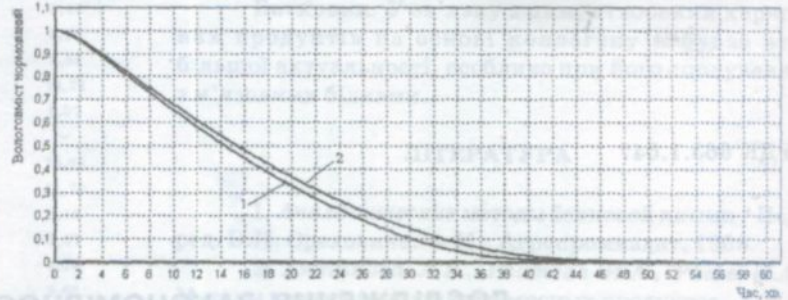


Рис. 3. Швидкість сушіння вихідних дріжджів при 75 °C:
1 — швидкість сушіння; 2 — температура дріжджів

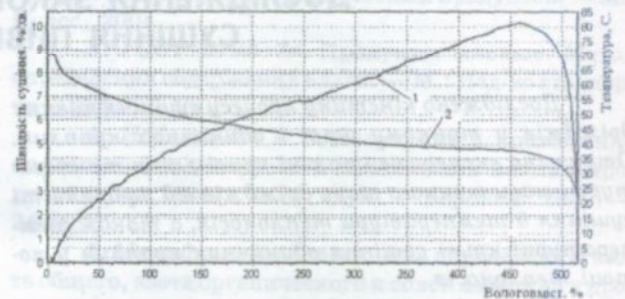


Рис. 4. Швидкість сушіння подрібнених дріжджів при 75 °C:
1 — швидкість сушіння; 2 — температура дріжджів

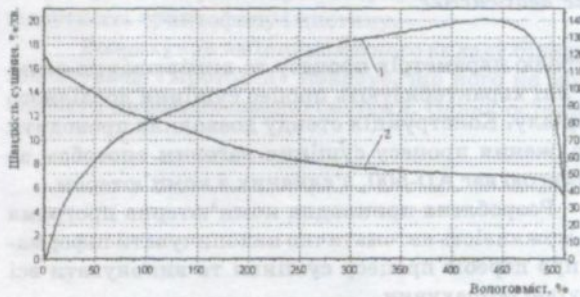


Рис. 5. Швидкість сушіння вихідних дріжджів при 130 °C:
1 — швидкість сушіння; 2 — температура дріжджів

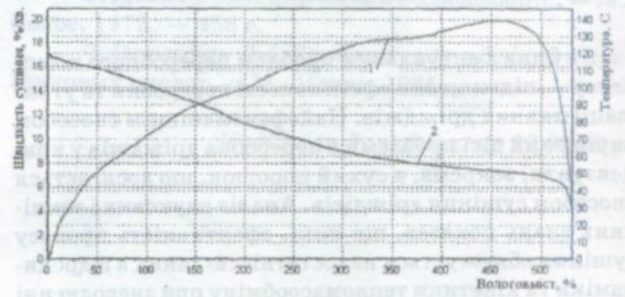


Рис. 6. Швидкість сушіння подрібнених дріжджів при 130 °C:
1 — швидкість сушіння; 2 — температура дріжджів

ня кривої сушіння до рівноважної вологості. З графіків швидкостей сушіння (див. рис. 3-6) вихідних і подрібнених дріжджів при температурі теплоносія 75 і 130 °C видно, що температура матеріалу була майже постійною, лише в кінці процесу сушіння вона наближалася до температури теплоносія. Швидкість процесу сушіння вихідних дріжджів вища, ніж подрібнених на 2...4 % при температурі теплоносія 75, 130 °C, лише при температурі 75 °C на початковому етапі швидкість сушіння подрібнених дріжджів на 6-7 % вища, ніж вихідних. Тривалість процесу сушіння вихідних дріжджів менша, ніж подрібнених на 3-5 %, що пояснюється різною кількістю вільної та зв'язаної води: у вихідних дріжджах — 1,288 г / г і в подрібнених - 1,496 г_в/г_{св}[3].

Для вибору та рекомендацій ефективного способу сушіння дріжджів пивних проведено дослідження кінетики сушіння одиничних краплин.

Дослідження процесу зневоднення одиничних краплин пивних дріжджів проводилися на стенді для дослідження кінетики сушіння краплин в потоці теплоносія [2]. У результаті досліджень отримані термограми процесу сушіння вихідних і подрібнених пивних дріжджів при температурах 100, 140, 180 °C

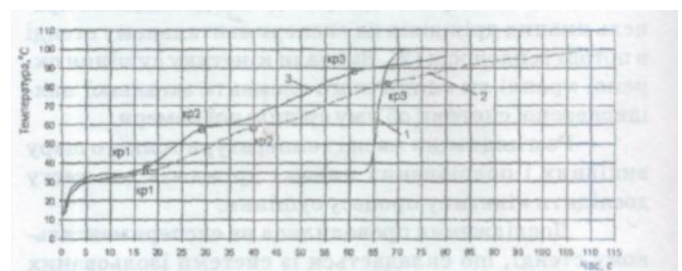


Рис. 7. Термограми процесу сушіння в потоці теплоносія при 100 °C:
1 — вода; 2 — вихідні пивні дріжджі; 3 — подрібнені пивні дріжджі

(рис. 7-9).

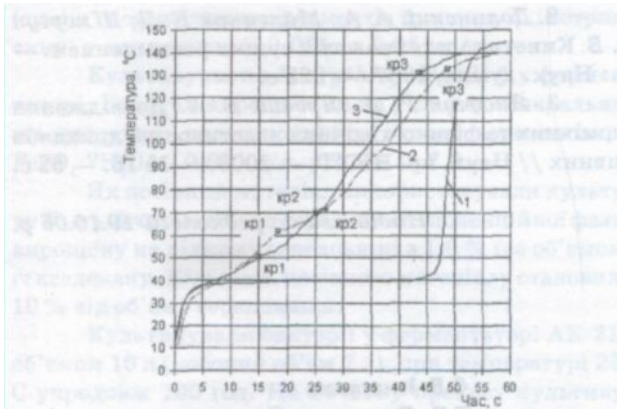


Рис. 8. Термограми процесу сушіння в потоці теплоносія при 140 °С: 1 — вода; 2 — вихідні пивні дріжджі; 3 — подрібнені пивні дріжджі

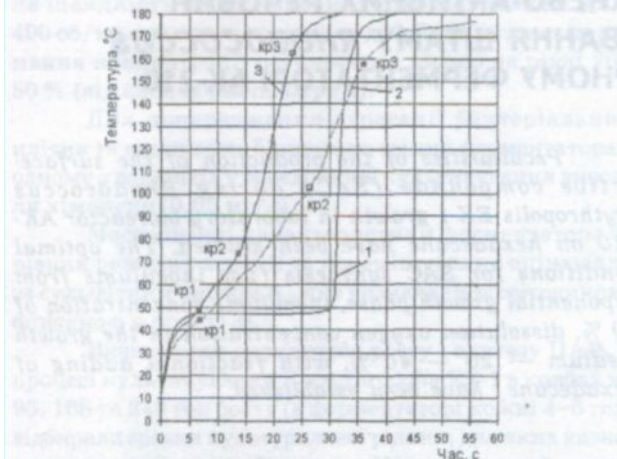


Рис. 9. Термограми процесу сушіння в потоці теплоносія при 180 °С: 1 — вода; 2 — вихідні пивні дріжджі; 3 — подрібнені пивні дріжджі

Відповідно до наведених на рис. 7 — 9 термограм процес сушіння можна розділити на декілька періодів. Перший — це період прогріву, що триває від початкової температури краплини дріжджів до температури рівноважного випаровування. Другий — це період рівноважного випаровування, який триває при температурі мокрого термометра і при якому видаляється вся вільна волога із краплин. Відповідно, цей період відмічається початковими і кінцевими температурами мокрого термометра ($t_{мн}$, $t_{мк}$), однак при різних температурах сушіння (100, 140, 180 °С) температури мокрого термометра і час цього періоду різні, про що свідчать термограми і результати, наведені в таблиці. Найбільш виражений цей період при температурі теплоносія 100 °С.

Підвищення температури краплини в період рівноважного випаровування свідчить про те, що рідкі дріжджі належать до колоїдних розчинів. Збільшення концентрації розчинених речовин у поверхневому шарі краплин веде до зменшення кількості видаленої вологи з поверхні краплини, результатом цього є підвищення інтегральної температури краплі при випаровуванні. Період рівноважного випаровування закінчується формуванням кірки на поверхневому шарі краплин, що відзначається критичною точкою $кр_1$ і відповідає температурі мокрого термометра ($t_{мк}$). Темп підвищення температури свідчить, що структура краплини належить до структур колоїдних капілярно-пористих речовин.

З моменту утворення на поверхні краплин дріжджів кірки в результаті інтенсивного випарову-

вання вологи (критична точка $Кр_1$) починається період кіркоутворення, що характеризується різким підвищенням температури дріжджів і завершується в критичній точці $кр_2$. Наступний період починається в критичній точці $кр_2$ та відповідає видаленню всієї фізико-механічно зв'язаної вологи з краплини і закінчується в критичній точці $кр_3$. У цьому періоді відбувається процес кипіння розчину під утвореною кіркою [2]. При температурі теплоносія 100 °С процесу кипіння в краплині не відбувається. Втім, при температурах сушіння дріжджів 140, 180 °С процес кипіння теж не відбувається. Це можна пояснити тим, що кірка, утворена на поверхні краплини, не суцільна, а має малі пори, оскільки пивні дріжджі — це колоїдні капілярно-пористі речовини. Тому всередині краплини під кіркою не збільшується тиск і не починається процес кипіння, а волога в наслідок різниці концентрації переміщується по капілярах і порах із середини краплини до периферії, а потім випаровується. Завершальним періодом зневоднення краплин пивних дріжджів є процес досушування, коли температура речовини після критичної точки $кр_3$ наближається до температури теплоносія і сушіння дріжджів закінчується.

Тривалість окремих періодів зневоднення різна, що пояснюється різною температурою потоку теплоносія, а також фізико-хімічними властивостями початкового розчину пивних дріжджів, зумовленими параметрами їх подрібнення. У таблиці наведено характерні точки термограм процесу сушіння вихідних

Характерні точки процесу сушіння пивних дріжджів

Температура сушіння	Температура мокрого термометра	Критичні точки									
		Дріжджі				Дріжджі					
		Вихідні		Подрібнені		Вихідні		Подрібнені			
$t_{мн}$	$t_{мк}$	$кр_1$	$кр_2$	$кр_3$	$кр_1$	$кр_2$	$кр_3$				
100 °С	$T, °C$	30	28	34	38	34	38	59	55	81	89
	Час, с	5	4	17,5	17,5	17,5	17,5	40	28	67	62
140 °С	$T, °C$	31	34	62	50	62	50	70	67	132	132
	Час, с	3	2,5	18	15	18	15	25	23	48	43
180 °С	$T, °C$	35	40	51	48	45	48	102	74	158	162
	Час, с	2,5	3	7	7	7	7	27,5	13	36	23

і подрібнених дріжджів.

Отже, як видно з термограм сушіння краплин вихідних і подрібнених пивних дріжджів і результатів, наведених у таблиці, температури і час у критичних точках, а також тривалість періодів процесу сушіння відрізняються. Це можна пояснити тим, що в подрібнених дріжджах клітини зруйновані, що забезпечує інтенсивніше перенесення вологи із внутрішніх шарів краплини до зовнішніх і забезпечує швидше випаровування. Тому тривалість сушіння краплин подрібнених дріжджів менша, ніж вихідних.

Дослідження в потоці теплоносія дають чіткішу температурну криву, краще прослідковуються всі етапи зневоднення, а також можливість інтенсифікувати процес.

Висновки. 1. Встановлено доцільність використання розпилювального способу сушіння з попереднім подрібненням дріжджів та проведено необхідні дослідження для розроблення рекомендацій щодо сушіння пивних дріжджів.

2. Отримано кінетичні характеристики процесу сушіння окремих краплин пивних дріжджів, які рекомендуються для розрахунку тепломасообміну при конструюванні розпилювальних сушильних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гинзбург А. С.* Технология сушки пищевых продуктов. — М: Пищ. пром-сть, 1976. — 250 с.

2. *Долинский А. А., Малецкая К. Д., Шморгул В. В.* Кинетика й технология сушки распылением. — К.: Наук. думка, 1987. — 222 с.

3. *Якобчук Р. Л., Яровий В. Л.* Дослідження термічних та фізико-хімічних властивостей дріжджів пивних // Наук. пр. НУХТ. — 2006. — № 18. — 52 с.

Надійшла до редколегії 19.10.06 р.