

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ

Дано оцінку основних фізичних і теплофізичних характеристик пивної дробини з метою визначення тепломасообмінних характеристик процесу її сушіння зі збереженням усіх корисних властивостей вихідного продукту для подальшого використання як харчових добавок.

Дана оценка основных физических и теплофизических характеристик пивной дробины с целью определения тепло-массообменных характеристик процесса ее сушки с сохранением всех полезных свойств исходного продукта для дальнейшего использования в качестве пищевых добавок.

Утилізація вторинної сировини пивоварного виробництва є однією з основних екологічних і економічних проблем галузі. Вона містить понад 25 % (мас.) поживних речовин вихідної сировини, більша частина яких припадає на солодово-зернову дробину, що утворюється в процесі фільтрації затору як залишок після відділення рідкої фази — пивного сусла (ОСТ 10-1-86 «Дробина пивная»). Дробина має густу консистенцію грубо розмеленого зернового продукту, світло-коричневий колір, солодкуватий смак і солодовий запах. До її складу входять зернові оболонки, нерозчинні частини зерна. Абсолютно суха дробина містить, % (мас.): жир — 10; білок — 22; геміцелюлоза — 35; целюлоза — 20; лігнін — 10; зола — 3 [5]. Вологість сирої дробини становить 76...80 % (мас.), насипна маса висушеної дробини 280...310 кг/м² [2, 5].

Нині пивоварні заводи збувають сиру пивну дробину сільським господарствам для відгодівлі худоби. Проте влітку, коли обсяги виробництва пива збільшуються, а в господарствах з'являються зелені корми, попит на дробину значно знижується. Високі вмісти вологи і білкових речовин утруднюють використання дробини — термін зберігання свіжої дробини не перевищує 24 год [3], її потрібно якомога швидше утилізувати.

За часів Радянського Союзу сушіння дробини вважалось надзвичайно енергоємним процесом, хоча пропозиції щодо її сушіння були [2, 5, 6], а досвід роботи пивоварних підприємств США, Німеччини і ряду інших країн свідчить, що солодову дробину, як правило, висушують. Висушена дробина стійка при зберіганні й транспортабельна, має залишкову вологість близько 9 % (мас.). Аналіз хімічного складу абсолютно сухої дробини дає змогу прогнозувати, що наявність у ній таких речовин, як целюлоза, геміцелюлоза та лігніновий комплекс (до 65 % (мас.)), дасть можливість використовувати її як сировину для виробництва добавок на основі харчових волокон. Фізичні властивості таких добавок дають можливість вводити їх у харчові продукти й безпосередньо вживати; вони транспортабельні, допускають тривале зберігання. Харчові волокна використовують як лікувально-профілактичні добавки для збагачення продуктів розмелювання зерна [1].

Хоча пропозиції щодо висушування пивної дробини в літературі є, вони мають певні недоліки: з віджиманням пивної дробини на шнекових пресах разом з фільтратом втрачається до 3 % (мас.) [6] сухих речовин дробини; висушування дробини відпрацьованими димовими газами або парою при жорсткому режимі призводить до денатурації білків дробини і насиченні її канцерогенними продуктами горіння, що знижує харчову цінність дробини та унеможливує використання її як добавки до харчових продуктів.

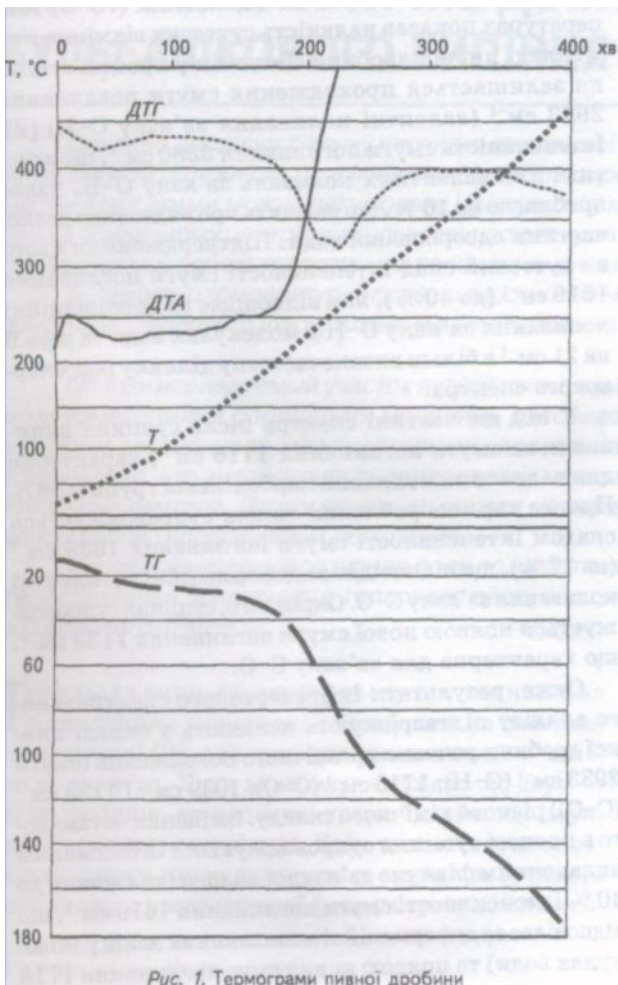
Розроблення способів сушіння пивної дробини і вибір раціонального режиму ведення цього процесу потребують даних про змінення гігроскопічних, термодинамічних і теплофізичних характеристик матеріалу як об'єкта сушіння [4]. Змінення їх у процесі термічного оброблення або періодичної дії теплоти і вологи зумовлено молекулярним характером зв'язку поглиненої вологи з речовиною.

На підставі вищезазначеного вирішено проаналізувати сировину (пивну дробину) як об'єкт сушіння, встановити особливості процесу, визначити шляхи його інтенсифікації і зниження паливно-енергетичних витрат.

Об'єктом досліджень була вибрана пивна дробина ЗАТ "Пивзавод на Подолі", що має такі характеристики: насипна маса в сухому стані 280...310 кг/м²; вологість 76...80 % (мас.); середньозважений розмір часточок дробини (2,21 ± 0,022) мм з коефіцієнтом нерівномірності 0,16.

Характер зв'язку вологи в пивній дробині визначали за даними повного термічного та інфрачервоного спектрального аналізів. Досліди проводили для зразків, що були висушені до рівноважної вологості при кімнатній температурі і при 70 °С.

Нарис. 1 показано термограми пивної дробини: крива втрати ваги *TГ* (крива сушіння), диферен-



ціальна крива втрати ваги *ДТГ* (крива швидкості сушіння), температурна крива *T* і диференціальна крива змінення тепловмісту в процесі термооброблення *ДТА*. Термограми знято при таких режимних параметрах: навеска дробини пивної 200 мг; тиглі керамічні; піч № 2, блок з ZnO; температура печі 500 °С; швидкість нагрівання 1,25 °С на хвилину; *ДТГ* — 1/1; *ДТА* — 1/1; тривалість обертання барабана — 400 хв.

Як видно з отриманих даних, інтенсивне видалення вологи супроводжується ендотермічним ефектом (характерні мінімуми на кривій *ДТА*), починається при температурі 25...30 °С і закінчується при температурі 105...110 °С, про що свідчать криві *ДТГ* і *ДТА*, які практично паралельні осі часу на цьому проміжку. Подальший хід процесу характеризується низькою швидкістю сушіння (крива *TГ* майже паралельна осі часу) і підвищенням температури зразка. Максимум ендотермічного ефекту спостерігається при 70 °С. Втрата ваги, що відповідає цьому ефекту, становить 40 % (мас.) від вихідної вологості (10 % (мас.)). Тобто остаточно вологість становить близько 6...7 % (мас.). Наступне підвищення температури до 190...200 °С призводить до різкого зменшення ваги і великого виділення теплоти (крива *ДТА* спрямована різко вгору, а *TГ* — вниз). В цей період відбувається горіння матеріалу, про що свідчить вигляд зразка після термообробки.

Отже, критична вологість 6...7 % (мас.) відповідає початку видалення зв'язаної вологи (ці дані збігаються з результатами експериментів, проведених в ізотермічних умовах у сушильній шафі). Максимальне видалення вільно зв'язаної вологи відбувається при 70...75 °С, максимальна швидкість сушіння спостерігається при температурі матеріалу 50...55 °С, критична вологість 6...7 % (мас.) відповідає початку видалення зв'язаної вологи.

У роботі використано метод ізотермічного визначення зміни ваги [4]. Встановлено, що крива сушіння має типовий характер для колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Аналіз показує, що на всіх отриманих кривих сушіння є стадія підігрівання матеріалу, коли вологість матеріалу зменшується по кривій; перший період сушіння, коли вологість змінюється по прямій лінії і швидкість сушіння постійна; другий період сушіння, коли швидкість зниження вологості починає зменшуватись. У кінці сушіння спостерігається асимптотичне наближення кривої до рівноважної вологості (рис. 2, а). Критична вологість і тривалість сушіння пивної дробини з підвищенням температури зменшуються (таблиця (в дужках наведено значення відносної вологості матеріалу)).

За кривою сушіння визначено швидкість сушіння (рис. 2, б). Ці криві дають змогу чітко визначити положення точок критичної і рівноважної вологості. Спочатку — на стадії підігрівання — швидкість сушіння зростає від нуля до максимального значення $N = 0,118 \cdot 10^{-3}$ кг/(м²·с); у період постійної швидкості $N = \text{const} = 0,118 \cdot 10^{-3}$ кг/(м²·с); потім,

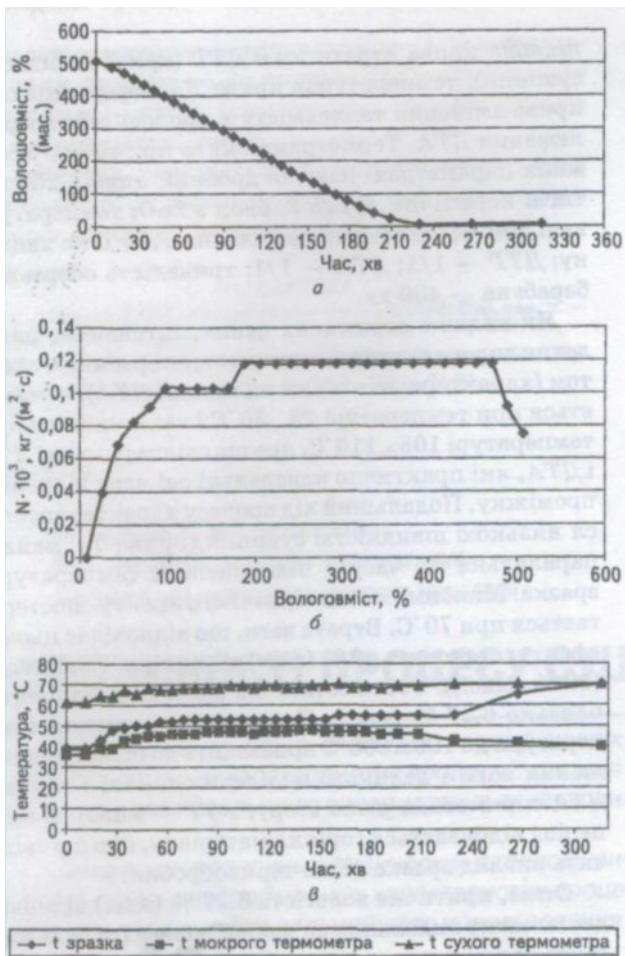


Рис. 2. Крива сушіння (а), крива швидкості сушіння (б), термограма (в) пивної дробини при температурі 70 °С

Результати аналізу кривих сушіння пивної дробини

| Температура сушіння, °С | Критичний вологовміст W_k , % | Рівноважний вологовміст W_p , % | Тривалість сушіння, хв |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 60 | 162 (62) | 8 (7,4) | 134 |
| 65 | 153 (60) | 8 (7,4) | 126 |
| 70 | 137 (58) | 8 (7,4) | 96 |
| 75 | 126 (56) | 7 (6,5) | 84 |

від першої критичної точки, швидкість сушіння починає падати.

Аналіз термограми сушіння (рис. 2, в) показав, що впродовж всього періоду сушіння (і першого, і другого) температура матеріалу залишається постійною і тримається на рівні близько температури мокрого термометра. Тільки після досягнення матеріалом рівноважної вологості температура його починає різко зростати і досягає температури навколишнього середовища.

Отже, можна зробити висновок про можливість підтримувати більш високу температуру сушильного агента, оскільки при температурі повітря 70 °С

температура матеріалу не підіймалася вище ніж 55 °С аж до досягнення матеріалом рівноважної вологості, тобто до кінця процесу сушіння.

Пивна дробина має високу початкову вологість, причому основна частина води — вільна, що підтверджується кривими сушіння і швидкості сушіння, та даними інфрачервоного спектрального аналізу (рис. 3).

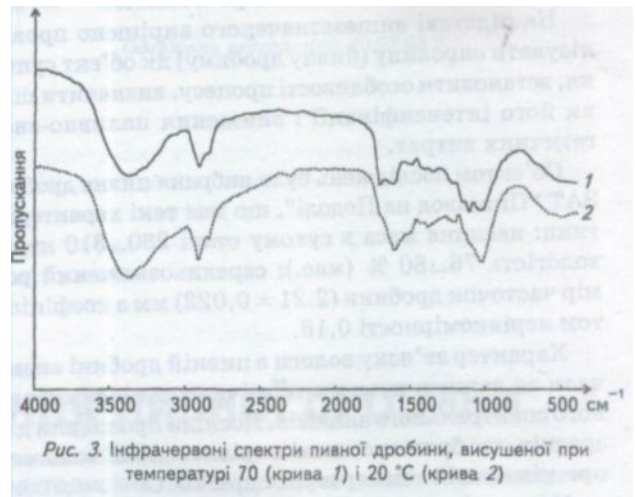


Рис. 3. Інфрачервоні спектри пивної дробини, висушеної при температурі 70 (крива 1) і 20 °С (крива 2)

Порівняльний аналіз 14 спектрів після сушіння дробини при кімнатній та підвищеній (70 °С) температурах показав наявність суттєвих відмінностей у складі пивної дробини. Без змін у процесі сушіння залишається проходження смуги поглинання 2933 cm^{-1} (валентні коливання зв'язку С-Н) [2]. Інтенсивність смуги поглинання 3380 cm^{-1} , що властива для валентних коливань зв'язку О-Н, падає приблизно на 10 %, що свідчить про видалення деякої частини адсорбованої води. Підтвердженням цього є і суттєвий спад інтенсивності смуги поглинання 1619 cm^{-1} (до 40 %), яка відповідає за деформаційні коливання зв'язку О-Н в молекулах води та зсув її на 21 cm^{-1} в більш високочастотну ділянку інфрачервоного спектра.

У цій же частині спектра після сушіння виникає нова смуга поглинання 1716 cm^{-1} , характерна для валентних коливань карбонільної групи (С=О). Процес термооброблення також супроводжується спадом інтенсивності смуги поглинання 1039 cm^{-1} (на 17%), що відповідає за деформаційні та валентні коливання зв'язку С-О. Окрім того, сушіння супроводжується появою нової смуги поглинання 1133 cm^{-1} , що характерна для зв'язку С-О.

Отже, результати інфрачервоного спектрального аналізу підтверджують наявність у складі пивної дробини речовин органічного походження (смуги 2933 cm^{-1} (С-Н); 1716 cm^{-1} (С=О); 1039 cm^{-1} і 1133 cm^{-1} (С-О)) різного хімічного складу. Змінення останнього в процесі сушіння супроводжується інтенсивним видаленням фізично зв'язаної води (зниження до 40 % інтенсивності смуги поглинання 1619 cm^{-1} , що відповідає за деформаційні коливання зв'язків у молекулах води) та появою нових смуг поглинання 1716

і 1133 см⁻¹, характерних для зв'язків С=О і С-О. Поява останніх може бути пов'язана з видаленням фізично адсорбованої води в процесі сушіння.

Висновок. В результаті проведених досліджень визначено критичну і рівноважну вологість матеріалу, тривалість сушіння при температурах 60, 65, 70, 75 °С; отримано термограми і криві швидкості сушіння, інфрачервоні спектри дробини, висушеної при температурах 20 і 70 °С, аналіз яких показав наявність вільної і зв'язаної вологи, при цьому значна її частина припадає на вільну вологу, що є підставою для проведення попереднього зневоднення її механічним способом до вологості 65...67 % (мас.).

Результати порівняльного інфрачервоного спектрального аналізу свідчать про значні зміни в хімічному складі пивної дробини, що зумовлені термообробкою. Це підтверджує необхідність розроблення м'якого режиму висушування цього матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азиз Д. М., Богомолова Н.В., Медведева Л.Л., Новикова Е.П. Использование пивной дробины для повышения пищевой ценности пряничных изделий // Тез. Междунар. симпозиума «Федеральный и региональный аспекты государственной политики в области здорового питания». — Кемерово, 2002. — С. 49-50.
2. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. — 5-е изд., перераб. и доп. — Л.: Химия, 1986. — 432 с.
3. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности: Справ. — М.: Экономика, 1984. — 563 с.
4. Гинсбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. — М.: Пищ. пром-сть, 1973. — 528 с.
5. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. — К.: Урожай, 1999. — 542 с.
6. Кретов И.Т. Исследование процессов механического обезвоживания и сушки пивной дробины: Дисс.... канд. техн. наук / Воронеж, технол. ин-т. — Воронеж, 1962. — 209 с.

Одержана редколлегією 11.06.04 р.