

SUSZENIE DIELEKTRYCZNE

KRYSTYNA KRAJEWSKA

Zakład Maszynoznawstwa Ogólnego i Chemicznego P. W.

Referat niniejszy ma na celu omówienie jednej z nowszych metod stosowanych w suszarnictwie przemysłowym. W kompleksie zagadnień, które muszą być rozpracowane przy doborze racjonalnych warunków suszenia ziarna siewnego, jednym z najważniejszych jest dobranie takiego systemu, który odpowiadając agrotechnicznym wymaganiom stawianym ziarnu ułatwiałby proces technologiczny i byłby możliwie najbardziej ekonomiczny.

Jak wiadomo suszenie ziarna siewnego jest procesem bardzo złożonym. Zachowanie, a nawet poprawienie zdolności i energii kiełkowania ziarna tego lub innego gatunku zależy od wielu czynników, w pierwszym rzędzie od biochemicznych własności ziarna, jego wilgotności początkowej i końcowej, szybkości suszenia, temperatury czynnika suszącego i dopuszczalnej temperatury ogrzania. Z tych powodów dobór odpowiedniej metody suszenia jest sprawą wielkiej wagi.

Badania nad zastosowaniem prądów wielkiej częstotliwości do suszenia ziarna i innych materiałów były prowadzone od 1934 r. w ZSRR, USA i Anglii. Obecnie suszenie dielektryczne ze względu na szereg swoich cennych zalet znalazło zastosowanie na skalę przemysłową przede wszystkim do suszenia drewna, oraz w mniejszym stopniu w innych przemysłach np. do suszenia papieru i kartonu, tworzyw sztucznych, produktów spożywczych (drożdży, herbaty, makaronu), w przemyśle włókienniczym i ceramicznym. Zalety stosowania prądów wysokiej częstotliwości w technice suszarniczej polegają głównie na:

1) znacznym skróceniu czasu suszenia: dla przykładu suszenie desek o grubości 50 mm w suszarni dielektrycznej trwa 18—20 godz., zamiast 120—144 przy suszeniu konwekcyjnym; czas suszenia makaronu wynosi od 0,3—3 godz., zamiast 10—30. Dzięki tak znacznemu skróceniu czasu suszenia prądy wielkiej częstotliwości nadają się szczególnie do suszenia trudnoschnących, wilgotnych materiałów, w grubych warstwach, lub w postaci dużych brył;

2) możliwości otrzymania wysuszonego produktu o dobrych własnościach mechanicznych, bez pęknięć i zniekształceń;

3) możliwości szybkiego uruchomienia agregatu suszarniczego.

Oprócz wymienionych powyżej zalet suszenie w polu wielkiej częstotliwości posiada szereg wad, utrudniających stosowanie tej metody na szerszą skalę. Do najważniejszych z nich należą:

1. Trudność w osiągnięciu równomiernej wilgotności końcowej.
2. Skomplikowana budowa, a więc i wysoki koszt wyposażenia, oraz konieczność przestrzegania surowych przepisów bhp dotyczących obsługi aparatury pracującej pod wysokimi napięciami.
3. Znaczne zużycie energii elektrycznej wynoszące 2—5 kWh/kg odparowywanej wilgoci, w związku z czym koszt suszenia dielektrycznego jest 3—4 krotnie wyższy od kosztów suszenia konwekcyjnego.

Pozytywne wyniki osiągnięte przy zastosowaniu suszenia dielektrycznego w wymienionych wyżej gałęziach przemysłu zachęciły do przeprowadzenia badań nad możliwością zastosowania prądów wysokiej częstotliwości w przemyśle rolnym do dezynfekcji i suszenia ziarna siewnego.

Suszenie dielektryczne polega na umieszczeniu suszonego materiału między okładkami kondensatora i poddaniu go działaniu szybkozmiennego pola elektrycznego.

Przy zmianie ładunku elektrycznego na okładkach, naładowane cząsteczki (dipole) wewnątrz suszonego materiału będą obracać się w jedną lub w drugą stronę, starając się zająć położenie zgodne z kierunkiem linii sił pola. Zmiany położenia cząsteczek nie nadążają za zmianami pola, co jest związane z tarciem występującym między cząsteczkami materiału poddawanego suszeniu. Na pokonanie tego tarcia zużywa się pewną ilość energii elektrycznej, zamieniającej się w ciepło. Efekt cieplny może osiągnąć niekiedy znaczne wielkości.

Ciepło wytworzone w jednostce objętości dielektryka umieszczonego w polu wielkiej częstotliwości można określić ze wzoru:

$$\text{gdzie: } q = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot \left(\frac{U}{s}\right)^2 \cdot \varepsilon \cdot f \cdot \operatorname{tg} \delta \frac{W}{\text{cm}^3}$$

U — napięcie wyrażone w V,

s — odległość elektrod (grubość dielektryka) cm,

f — częstotliwość zmian pola MHz,

ε — stała dielektryczna,

$\operatorname{tg} \delta$ — tangens kąta stratności dielektrycznej.

Znajomość stałej dielektrycznej i $\operatorname{tg} \delta$ materiału poddawanego suszeniu jest konieczna do zaprojektowania i prawidłowego eksploataowania suszarki dielektrycznej.

S. S. Suworow w swoich pracach określił zależność stałej dielektrycznej i $\operatorname{tg} \delta$ ziarna pszenicy od jego wilgotności

$$\varepsilon = 2,719 \cdot a + b \cdot w$$

gdzie w jest to wilgotność pszenicy (11—26%), a i b — współczynniki zależne od gatunku ziarna.

N. W. Knipper określił dla ziaren żyta, owsa i jęczmienia (przy wilgotności 13—14%) średnią wielkość stałej dielektrycznej, $\epsilon = 2—2,7$ i dla pszenicy 2,7—4,4. Okazało się, że części składowe ziarna posiadają różne wielkości stałej dielektrycznej i $\text{tg}\delta$, przy czym kąt stratności zależy od sposobu związania wilgoci z ziarnem. Stwierdzono również, że wraz ze wzrostem wilgoci materiału rośnie stała dielektryczna, co jest korzystne ze względu na zwiększenie ilości wydzielanego ciepła.

W związku z wytwarzającym się wskutek zmian pola ciepłem temperatura materiału szybko wzrasta. Dzięki równomiernemu ogrzaniu wnętrza materiału ułatwiona jest dyfuzja wilgoci, unika się zbyt dużych gradientów wilgoci powodujących spękania i zbyt dużych gradientów temperatur występujących przy konwekcyjnym suszeniu grubych warstw materiału.

W odróżnieniu od suszenia konwekcyjnego szybkość suszenia dielektrycznego w niewielkim stopniu zależy od grubości warstwy. Można osiągnąć przy tym niższe wilgotności końcowe i wielokrotnie zwiększyć szybkość suszenia.

Wskutek wymiany ciepła między powierzchnią materiału a otoczeniem temperatura powierzchni materiału przy suszeniu dielektrycznym wzrasta wolniej niż temperatura wnętrza. Wpływa to korzystnie na proces, gdyż powoduje ruch wilgoci od wnętrza ku powierzchni. W odróżnieniu od suszenia konwekcyjnego, w którym można regulować temperaturę jedynie na powierzchni materiału, suszenie dielektryczne pozwala na regulowanie i utrzymywanie wyższej temperatury wewnątrz.

Jednocześnie w wyniku oddziaływania pola elektrycznego na suszony wilgotny materiał występuje zjawisko elektroosmozy, co oczywiście dodatnio wpływa na przebieg procesu. Efekt ten maleje jednak ze wzrostem częstotliwości prądu i powyżej $10^7—10^8$ okr./sek już niemal nie występuje.

Suszarki dielektryczne składają się z dwóch zasadniczych części: generatora wielkiej częstotliwości i komory suszarniczej. Suszarki przeznaczone do suszenia różnych materiałów różnią się między sobą konstrukcją komory, liczbą i sposobem rozmieszczenia elektrod. W pracach doświadczalnych prowadzonych w Instytucie Zbożowym w ZSRR posługiwano się rurą kwarcową wypełnioną ogrzewanym ziarnem i umieszczoną między elektrodami. Przez rurę przepływa powietrze unoszące wydzielane opary. Niekiedy komora ma kształt prostokątnego pudła. Zastosowanie przenośnika taśmowego w innej konstrukcji suszarki pozwala na zainstalowanie regulowanego układu płaskich lub cylindrycznych elektrod. Jest to szczególnie wygodne przy nagrzewaniu materiałów, których własności ulegają zmianie w miarę trwania procesu suszenia.

Ponieważ, jak już wspomniano wyżej suszenie prądami wielkiej częstotliwości przebiega przy intensywnym nagrzewaniu przeprowadzono szereg prac mających na celu sprawdzenie własności siewnych ziarna suszo-

nego tą metodą. Doświadczenia pozwoliły na określenie wpływu temperatury na zdolność i energię kiełkowania ziarna.

W pracy opublikowanej w 1952 r. przez N. W. Knippera opisano szereg prób przeprowadzonych z pszenicą Ukrainka ze zbioru 1950 r. Badano ziarna o różnej wilgotności (w granicach od 13,1—29,6%). W czasie doświadczeń częstotliwość zmian prądu wynosiła 12 MHz. W czasie trwania badań kontrolowano temperaturę, częstotliwość zmian i napięcie prądu. Ziarna o różnej wilgotności ogrzewano do wymaganej temperatury i utrzymywano w stanie ogrzonym przez pewien czas. Następnie sprawdzano siłę i energię kiełkowania. Przeprowadzonych ponad 100 prób pozwoliło na wyciągnięcie wniosków, że własności ziarna siewnego poddanego działaniu prądów wielkiej częstotliwości nie ulegają zmianie pod warunkiem nie przekroczenia dopuszczalnej temperatury ogrzania ziarna ponad granicę związaną z jego wilgotnością i że gradient napięcia wynoszący 200 — 1000 V/cm nie ma wyraźnego wpływu na własności ziarna. Stwierdzono również, że energia i siła kiełkowania maleje przy ogrzaniu go do temperatury o 5° wyższej od temperatury określonej przy suszeniu konwekcyjnym, lub na podstawie odpowiedniego wzoru.

Mimo, że przy suszeniu ziarna prądami wielkiej częstotliwości osiągnięto dobre wyniki, szerszemu zastosowaniu tej metody na skalę przemysłową stoi na przeszkodzie duże zużycie energii elektrycznej. Z tego też powodu suszenie dielektryczne w czystej postaci można stosować jedynie wtedy, gdy wymagane jest krótkotrwałe ogrzewanie masy ziarna, np. przy dezynfekcji.

Stwierdzono, że lepsze wyniki ekonomiczne daje kombinowane suszenie w polu wielkiej częstotliwości z suszeniem konwekcyjnym. Korzyść powyższej metody polega na tym, że ciepło potrzebne na ogrzanie materiału, urządzeń pomocniczych, oraz na odparowanie wilgoci swobodnej pokrywa się energią cieplną pochodzącą od gazów spalinowych lub ogrzanego powietrza. Energię pola wielkiej częstotliwości zużywa się jedynie na podniesienie temperatury wewnątrz suszonego materiału i przemieszczenie wilgoci z wewnętrznych warstw ku powierzchni.

Badania wykazały, że zużycie energii elektrycznej przy stosowaniu suszarek kombinowanych może obniżyć się do 1 kWh/kG odparowywanej wilgoci, czas suszenia jest natomiast kilkakrotnie krótszy od czasu suszenia konwekcyjnego.