

В.О. Потапов, д-р техн. наук. проф. (ХДУХТ, Харків)

В.В. Качалов, ст. викл. (ХДУХТ, Харків)

МЕХАНІЗМ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ВОЛОГИ В ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛАХ

Відомим прийомом інтенсифікації тепло-масообмінних процесів у вологих дисперсних матеріалах є НВЧ-нагрівання (мікрохвильова обробка). Фізичний принцип дії над-високочастотного поля на вологий дисперсний матеріал пояснюється явищем поляризації діелектрика, до яких відносяться вологі матеріали.

Молекули води та інших полярні рідин володіють власним дипольним моментом, який подібно стрілки компаса, намагається орієнтувати молекули вздовж силових ліній зовнішнього електромагнітного поля. Така картина характерна для ідеального діелектрика без втрат.

Вода і її розчини, перебуваючи в дисперсній системі, не є ідеальними діелектриками, тому в результаті теплового броунівського руху, утворення короткоживучих водневих зв'язків виникає тертя, що приводить до виділення теплоти і об'ємному нагріванню дисперсного матеріалу.

Однак таке загальноприйняте опис не враховує головну особливість вологих дисперсних матеріалів гетерогенність системи по енергіях зв'язку. У найбільш простий моделі це два енергетичних стану дисперсної середовища: вільна волога і зв'язана волога.

Їх фізичні властивості істотно відрізняються. На думку ряду дослідників, зв'язана вода, адсорбована на поверхні дисперсної фази, за своїми характеристиками наближається до властивостей аморфного льоду. Зокрема, якщо для вільної води на частоті $f = 2,45$ ГГц відносна діелектрична проникність $\epsilon' = 81$, а тангенс кута втрат $tg\delta = 0,06$, то для льоду $\epsilon' = 3,19$, а тангенс кута втрат $tg\delta = 3 \cdot 10^{-4}$.

Навіть якщо вважати, що для зв'язаної води діелектричні характеристики дещо інші, ніж для льоду, все одно очевидна величезна різниця в характері взаємодії структурованої води із зовнішнім електромагнітним полем.

Індикатором механізму взаємодії високочастотного електромагнітного поля і діелектрика є відношення енергії поля, що запасається за один період коливань до енергії теплових втрат (об'ємний нагрів):

$$Q = \frac{f \varepsilon_0 \varepsilon' E^2}{2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon' \operatorname{tg} \delta E^2} = \frac{1}{2\pi g \delta}.$$

Очевидно, що для вільної води величина $Q \sim 1$, в той час, як для зв'язаної води $Q \gg 1$. Це означає, що для вільної води ефект поляризації (орієнтації молекул уздовж силових ліній напруженості електричного поля E) можна порівняти з ефектом об'ємного нагріву, тоді як для зв'язаної води нагріванням можна знехтувати і розглядати тільки польове дію. У цьому, на нашу думку, і полягає селективний механізм високочастотного електромагнітного впливу на структуру вологи в дисперсному матеріалі.

Розглянемо докладніше ефект польового СВЧ-впливу на мономолекулярний шар зв'язаної води на поверхні дисперсної фази.

У відсутності зовнішнього поля на поверхні розділу дисперсна фаза, дисперсна середа, утворюється об'ємний заряд, викликаний електричною взаємодією молекул води і дисперсної фази. Ця одна зі складових сил Ван-дер-Ваальса, яка на макроскопічному рівні проявляється як енергія зв'язку зв'язаної води. Наявність її ускладнює процеси перенесення маси, енергії та імпульсу.

У відсутності зовнішнього поля ($E = 0$) сили Ван-дер-Ваальса F_V спрямовані по нормалі до поверхні розділу фаз і мають максимальне значення. При появі зовнішнього поля ($E \neq 0$) диполі зв'язаної вологи є практично ідеальними діелектриками та орієнтуються уздовж поля. Проекція їх дипольних моментів на нормаль до поверхні дисперсної фази змінюється по закону косинуса: $F_V = F_{V \max} |\cos(a)|$, тому енергія зв'язку уздовж поверхні дисперсної фази змінюється від максимальної до нульової, а середнє значення енергії зв'язку буде меншим чим у випадку відсутності зовнішнього поля. У результаті для молекул з мінімальною енергією зв'язку різко збільшуються коефіцієнти переносу, що призводять інтенсифікації тепломасообмінних процесів при мікрохвильовій обробці вологих дисперсних матеріалів.

Таким чином при розробці процесів мікрохвильової обробки вологих дисперсних матеріалів (НВЧ-нагрівання, НВЧ-екстракція, НВЧ-стимуляція, НВЧ-дезинфекція, НВЧ-інактивація) необхідно враховувати селективний механізм високочастотного електромагнітного на дисперсні матеріалі, для чого потрібні дані про структуру енергії зв'язку вологи в них.