

В.А. Потапов, д-р техн. наук, проф. (ХГУПТ, Харьков)

В.В. Качалов, ассист. (ХГУПТ, Харьков)

СЕЛЕКТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ ВЛАГИ В ДИСПЕРСНОМ МАТЕРИАЛЕ

Известным приемом интенсификации тепло-массообменных процессов во влажных дисперсных материалах является СВЧ - нагрев. Физический принцип воздействия сверхвысокочастотного поля на влажный дисперсный материал объясняется явлением поляризации диэлектрика, к которым относятся влажные материалы. Молекулы воды и других полярные жидкостей обладают собственным дипольным моментом, который подобно стрелки компаса, пытается ориентировать молекулы вдоль силовых линий внешнего электромагнитного поля. Такая картина характерна для идеального диэлектрика без потерь. Вода и её растворы, находясь в дисперсной системе, не являются идеальными диэлектриками, поэтому в результате теплового броуновского движения, образования короткоживущих водородных связей возникает трение, приводящее к выделению теплоты и объемному нагреву дисперсного материала. Однако такое общепринятое описание не учитывает главную особенность влажных дисперсных материалов - гетерогенность системы по энергиям связи. В наиболее простой модели это два энергетических состояния дисперсной среды: свободная влага и связанная влага. Их физические свойства существенно отличаются. По мнению ряда исследователей, связанная вода, адсорбированная на поверхности дисперсной фазы, по своим характеристикам приближается к свойствам аморфного льда. В частности, если для свободной воды на частоте $f=2,45$ ГГц относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon'=81$, а тангенс угла потерь $tg\delta=0,06$, то для льда $\epsilon'=3,19$, а тангенс угла потерь $tg\delta=3 \cdot 10^{-4}$. Даже если считать, что для связанной воды диэлектрические характеристики выше, чем для льда, все равно очевидна огромная разница в характере взаимодействия структурированной воды с внешним электромагнитным полем. Индикатором механизма взаимодействия высокочастотного электромагнитного поля и диэлектрика является отношение энергии поля, запасаемой за один период колебаний к энергии тепловых потерь

$$Q = \frac{f\epsilon_0\epsilon'E^2}{2\pi f\epsilon_0\epsilon'tg\delta E^2} = \frac{1}{2\pi g\delta}.$$

Очевидно, что для свободной воды величина $Q \sim 1$, в то время, как для связанной воды $Q \gg 1$. Это означает, что для свободной воды эффект поляризации (ориентации молекул вдоль силовых линий напряженности электрического поля E) сравним с эффектом объемного нагрева, тогда как для связанной воды нагревом можно пренебречь и рассматривать только полевое действие. В этом, по нашему мнению, и состоит селективный механизм высокочастотного электромагнитного воздействия на структуру влаги в дисперсном материале. Рассмотрим подробнее эффект полевого СВЧ - воздействия на мономолекулярный слой связанной воды на поверхности дисперсной фазы. В отсутствие внешнего поля на поверхности раздела дисперсная фаза образует объемный заряд, вызванный взаимным притяжением молекул воды и дисперсной фазы. Эта одна из оставляющих сил Ван-дер-Ваальса, которая на макроскопическом уровне проявляется как энергия связи связанной воды. Наличие ее затрудняет процессы переноса массы, энергии и импульса.

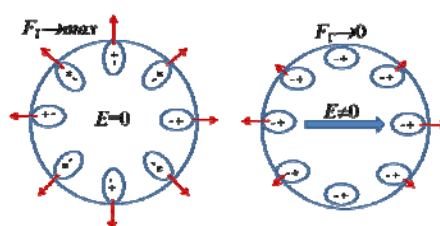


Рисунок 1 – Селективный механизм полевого СВЧ - воздействия на мономолекулярный слой связанной воды.

В отсутствие внешнего поля ($E=0$) силы Ван-дер-Ваальса F_V направлены по нормали к поверхности раздела фаз и имеют максимальное значение. При появлении внешнего поля ($E \neq 0$) диполи связанной влаги, которые, как показано выше, являются практически идеальными диэлектриками, ориентируются вдоль поля. Проекция их дипольных моментов на нормаль к поверхности дисперсной фазы изменяется по закону косинуса: $F_V = F_{V \max} |\cos(\alpha)|$, поэтому энергия связи вдоль поверхности дисперсной фазы изменяется от максимальной до нулевой. В результате для молекул с минимальной энергией связи резко увеличиваются коэффициенты переноса, приводящие к наблюдаемой в экспериментах интенсификации тепло-массообменных процессов в СВЧ - поле.