

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖЭЛЕКТОРДНОГО РАССТОЯНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ РАСТВОРОВ

Е.М. ЗАЯЦ, д.т.н., профессор; В.А. КАРАСЕНКО, к.т.н., профессор; А.Е. ЗАЯЦ, инженер;
В.П. БУТЛОВ, аспирант (БАТУ)

Будем рассматривать жидкие гетерогенные растворы - мелкодисперсные системы с размером частиц дисперсной фазы до 10^{-7} м (молоко, вина, соки, питьевую воду при обеззараживании, уксус и др.). Цели обработки могут быть разные: обеззараживание, изменение физико-химических свойств, выделение частиц дисперсной фазы и др.

Для достижения целей обработки используют нетепловые (электро-физикохимические) и тепловые (термические) действия тока. Остановимся на последних из них.

Во всех случаях, важнейшей является задача наиболее рационального и эффективного использования энергии электрического тока. Раствор может иметь сложный состав, но упрощенно его рассматривают как двухфазную систему из жидкой дисперсионной среды (растворителя) и твердой дисперсной фазы (частиц растворенного вещества). Обработка может преследовать цель определенного воздействия на одну из фаз. Эффективность использования тока достигается при концентрировании энергии именно в той (обычно твердой) фазе, которая является объектом технологического воздействия. Важную роль в этом играют параметры рабочей камеры и, в первую очередь, межэлектродное расстояние (речь идет об использовании тока промышленной частоты, поэтому роль таких важных факторов, как форма и частота тока, здесь не затрагивается).

Существует большой опыт проектирования рабочих камер для нагрева воды и получения пара, где в отличие от обработки растворов, задачи нагрева достаточно просты, а свойства среды не вызывают особых трудностей в их достижении.

В растворах силовые линии тока проходят последовательно через жидкую среду и частицы твердой фазы, обычно обладающие определенной электрической проводимостью. В простейшем случае фрагмент раствора можно моделировать электрической схемой замещения с последовательно соединенными активными сопротивлениями дисперсной (жидкой) среды $r_{жс}$ и дисперсной (твердой) фазы r_T . Для такой схемы замещения условие выделе-

ния максимальной мощности, например, в элементе r_T (приемнике энергии) хорошо известно в электротехнике [2]:

$$r_{жс} = r_T \quad (1)$$

Выделяемая в приемнике максимальная мощность

$$P_{T.макс} = \frac{U}{4 \cdot r_T}, \quad (2)$$

где U - напряжение питания цепи $r_T - r_{жс}$.

Принцип регулирования мощности приемника путем изменения его сопротивления (r_T) широко используют в устройствах электроники и радиотехники. В этих устройствах второй элемент схемы (в нашем случае $r_{жс}$, а в электротехнических устройствах это может быть внутреннее сопротивление источника, сопротивление проводов питания потребителя и др.) выполняет функцию передачи энергии от источника к потребителю. В нем тоже выделяется энергия, представляющая собой неизбежные потери, поэтому говорят о КПД передачи энергии:

$$\eta = \frac{r_T}{r_{жс} + r_T}, \quad (3)$$

максимальное значение которого 0,5.

Применительно к растворам энергию, выделяемую в $r_{жс}$, нельзя отнести к "чистым" потерям так как эквивалентная этой энергии теплота тоже выполняет (не прямо, а косвенно) определенные технологические функции. В этом смысле величину η по (3) можно назвать коэффициентом прямого технологического использования энергии тока.

В процессах АПК имеют дело с широким кругом жидкостных сред, начиная с собственно растворов и до грубодисперсных механических смесей. Примерами последних являются пищевые отходы (варка, обеззараживание), измельченное и увлажненное раствором фуражное зерно, растительные отходы

(повышение переваримости и усвояемости), крупы (тепловлажностная обработка), семена (предпосевная обработка) и др. Очевидно, что несмотря на известную общность свойств растворов и механических смесей и схожесть задач их электродной обработки оптимизации процессов в каждом случае имеет свои особенности.

Выделим в объеме раствора (смеси) между электродами трубку материала длиной, равной межэлектродному расстоянию $\ell_{\text{э}}$, и будем считать, что плотность тока во всех сечениях трубки одинакова. Для такой трубки равенство (1) можно представить в виде

$$\rho_{\text{ж}}^{\text{с}} = \rho_{\text{т}}^{\text{с}} \quad \text{или} \quad \rho_{\text{ж}}^{\text{в}} \ell_{\text{ж}} = \rho_{\text{т}}^{\text{в}} \delta_{\text{т}} \quad (4)$$

где $\rho_{\text{ж}}^{\text{с}}, \rho_{\text{т}}^{\text{с}}$ - удельные поверхностные, Ом м² и $\rho_{\text{ж}}^{\text{в}}, \rho_{\text{т}}^{\text{в}}$ - удельные объемные, Ом м, электрические сопротивления соответственно жидкой и твердой сред; $\ell_{\text{ж}}$ - суммарная длина (толщина слоя) жидкой среды на пути тока между электродами, м; $\delta_{\text{т}}$ - суммарная пикнометрическая толщина (слой) частиц твердой фазы на пути тока между электродами, м.

В отличие от технических устройств, где мощность приемника регулируют изменением его сопротивления $r_{\text{т}}$, в растворах величину

$$r_{\text{т}} = \frac{\rho_{\text{т}}^{\text{в}} \delta_{\text{т}}}{S} \quad (\text{или} \quad \rho_{\text{т}}^{\text{с}} = \rho_{\text{т}}^{\text{в}} \delta_{\text{т}}),$$

где S - площадь поверхности сечения трубки, м², регулировать практически невозможно, ибо в естественных растворах (молоко, соки и т.п.) величина от $\delta_{\text{т}}$ определяется их природой (составом, размерами частиц, их концентрацией и др.), а в искусственных растворах и влажных смесях соотношение жидкой среды и твердой фазы определяют технология процессов, энергетические и другие соображения.

Иное дело в процессах с естественными сильно разбавленными растворами (молоко, уксус, вина, соки и др.), где результирующая толщина слоя твердой фазы $\delta_{\text{т}}$ на пути тока несравнимо меньше толщины слоя жидкой среды $\ell_{\text{ж}}$, т. е. $\delta_{\text{т}} \ll \ell_{\text{ж}}$, а поскольку межэлектродное расстояние:

$$\ell_{\text{э}} = \ell_{\text{ж}} + \ell_{\text{т}}, \quad (5)$$

то в этом случае $\ell_{\text{э}} \approx \ell_{\text{ж}}$.

Так при пастеризации молока в электродных аппаратах, где объектом воздействия тока ("частицами твердой фазы") являются болезнетворные мик-

роорганизмы (главным образом одноклеточная туберкулезная палочка), имеющие размер порядка 10^{-6} м, на пути линий тока (при реальных значениях $\ell_{\text{ж}} = 0,05 \dots 0,15$ м) оказывается не более одной клетки. Однако удельное поверхностное сопротивление клетки $\rho_{\text{т}}^{\text{с}}$, определяемое сопротивлением ее оболочки, соизмерима с удельным поверхностным сопротивлением слоя молока на пути тока $\rho_{\text{ж}}^{\text{с}}$, включенном последовательно с клеткой. Значение $\rho_{\text{т}}^{\text{с}}$ чаще всего принимают равным 0,1 Ом м² (оно может достигать 1 Ом м² и выше [1]). Значение $\rho_{\text{ж}}^{\text{в}}$ при средней температуре пастеризации можно принять равным 1,1 Ом м [3] и при межэлектродном расстоянии $\ell_{\text{э}}$ равным, например, 0,1 м:

$$\rho_{\text{ж}}^{\text{с}} = \rho_{\text{ж}}^{\text{в}} \ell_{\text{ж}} \cong \rho_{\text{ж}}^{\text{в}} \ell_{\text{э}} = 1,1 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ Ом м}^2.$$

Следовательно, в подобных растворах условие (4) можно достигать изменением величины $\ell_{\text{э}}$ и тем самым перераспределять тепловыделения в фазах, поскольку влияние $\ell_{\text{э}}$ на величину $\delta_{\text{т}}$ пренебрежимо мало.

Удельное поверхностное сопротивление трубки раствора $\rho_{\text{р}}^{\text{с}}$ при выполнении условия (4) можно представить в виде

$$\rho_{\text{р}}^{\text{с}} = \rho_{\text{р}}^{\text{в}} \ell_{\text{э}} = 2\rho_{\text{ж}}^{\text{с}} = 2\rho_{\text{т}}^{\text{с}}, \quad (6)$$

откуда

$$\ell_{\text{э}} = \frac{2\rho_{\text{ж}}^{\text{с}}}{\rho_{\text{р}}^{\text{в}}} = \frac{2\rho_{\text{ж}}^{\text{в}} \ell_{\text{ж}}}{2\rho_{\text{р}}^{\text{в}}} \quad (7)$$

или

$$\ell_{\text{э}} = \frac{2\rho_{\text{т}}^{\text{с}}}{\rho_{\text{р}}^{\text{в}}} = \frac{2\rho_{\text{т}}^{\text{в}} \delta_{\text{т}}}{2\rho_{\text{р}}^{\text{в}}} \quad (7a)$$

В расчетах можно использовать то или иное из выражений (7) в зависимости от располагаемых исходных данных. Если известны удельные электрические сопротивления составляющих раствора и их концентрация, то удельное электрическое сопротивление раствора можно рассчитать по известной формуле проф. В.И.Оделевского для обобщенной проводимости гетерогенных систем.

Однако изменением $\ell_{\text{э}}$ можно оптимизировать тепловыделение только в жидкой среде системы (растворителя), аналогично тому, как изменением $r_{\text{т}}$ регулируют мощность твердой фазы. При этом максимальную мощность, выделяемую в жидкой среде

определяют по формуле (2), заменяя r_T на $r_{ж}$.

Изменения l_3 , конечно, отражаются и на тепловыделении в твердой фазе. Это видно, например, из выражения (2), переписанного для удельной поверхностной мощности (плотности теплового потока) в твердой фазе:

$$P_{Tmax}^s = \frac{U^2 \rho_T^v \delta_T}{(\rho_{ж}^v l_3 + \rho_T^v \delta_T)^2} \quad (8)$$

Как видно, изменением l_3 (в пределах, допускаемых по другим условиям) можно увеличивать или уменьшать мощность в твердой фазе по сравнению с оптимальным ее значением для жидкой среды.

Косвенным экспериментальным подтверждением влияния l_3 на перераспределение тепловыделения в растворах служат кривые, приведенные на рис. 1, где показаны (в относительных единицах) зависимости скорости нагрева суспензий дрожжевых клеток в воде (кривая 1) и степени инактивации клеток (кривая 2) от величины l_3 . Скорость нагрева зависит от интенсивности тепловыделений в жидкой среде, а инактивация клеток - от тепловыделений в твердой среде, причем скорость нагрева имеет явный максимум при определенном (оптимальном для жидкой среды) значении l_3 . Увеличение l_3 снижает тепловыделения в клетках и степень их инактивации.

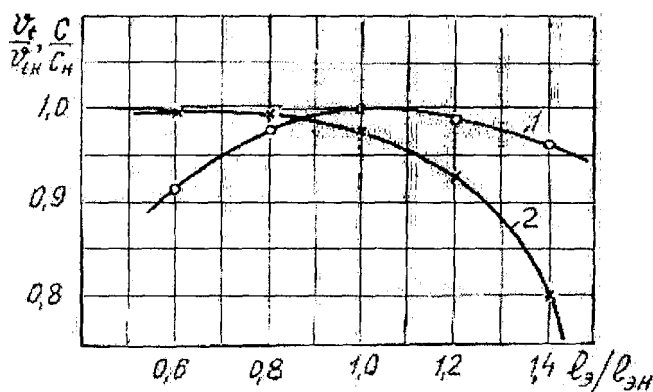


Рис. 1. Зависимость (в относительных единицах) скорости нагрева (Q_1 , кривая 1), суспензии дрожжевых клеток в воде и степени их инактивации (C , кривая 2) от межэлектродного расстояния (l_3). $Q_{1н}, C_{н}$ - значения величин при оптимальном для жидкой среды межэлектродном расстоянии $l_3 = l_{3н}$.

Как отмечалось, в растворах объектом непосредственного воздействия тока является обычно твердая фаза и выбор l_3 производят применительно к решению этой задачи. Но если жидкая среда не гомогенна (например, молоко), то изменение l_3 может определенным образом сказаться не только на частицах "твердой фазы" - объектах непосредственного технологического воздействия тока, но и на инертных элементах - естественных составляющих жидкой среды. Так, при пастеризации молока электрическим током изменяется диаметр жировых шариков, содержание газов (углекислоты, кислорода) и др. Поэтому необходимо учитывать возможные влияния величины l_3 на обе фазы раствора.

ВЫВОД

При обосновании межэлектродного расстояния l_3 в рабочих (электродных) камерах аппаратов обработки электрическим током разбавленных растворов необходимо учитывать не только допустимые значения плотности тока на электродах и напряженности поля в межэлектродном пространстве, но и влияние величины l_3 на перераспределение тепловыделений в фазах раствора, что позволяет, варьируя величиной l_3 , повышать эффективность технологического использования энергии тока, решая в конечном счете задачу энергосбережения.

Литература

1. Бут А.И. Применение электронно-ионной технологии в пищевой промышленности. - М.: Пищевая промышленность, 1977.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Высш. шк., 1999.
3. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. - М.: Агропищепромиздат, 1988.

СП. Альфрес Индастрис	<input checked="" type="checkbox"/> Абразивный
	<input checked="" type="checkbox"/> Алмазный
	<input checked="" type="checkbox"/> Металлорежущий инструмент
	<input checked="" type="checkbox"/> Подшипники заводов СНГ
	<input checked="" type="checkbox"/> Профессиональные щетки из стальной проволоки
	<input checked="" type="checkbox"/> Факс
	(017) 265-14-82
	Адрес
	220103. г.Минск, ул.Кнорина, 55