

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Н.И. Ботошан, М.К. Болога, С.Е. Берзой

МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАЗМОЛИЗА ДВУХКОМПОНЕНТНОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Идея описания явлений переноса двухкомпонентной моделью биологического сырья, состоящая из жидкой фракции и тканей сухого вещества была заложена в работе [1]. Обычно, жидкую фракцию растительного сырья подразделяют на две части, которые участвуют в явлениях переноса по-разному. Внеклеточная жидкость имеет непосредственный контакт с внешней средой, а внутриклеточная через "сэндвич" из множества биологических мембран и желеобразного содержимого цитоплазмы. Удельные характеристики процессов переноса обеих жидких фракций примерно равны. Составляющая тканей сухих веществ характеризуется удельной величиной являющиеся средней арифметической всех составляющих сухого вещества среды. Для описания динамических характеристик среды следует учесть, что составляющая внутриклеточной жидкости изолирована для прямого участия в процессах переноса, будучи равнозначной по удельным характеристикам внеклеточной. Таким образом, сумма объемных долей составляющих удовлетворяет условию полноты [2, 3]:

$$x + y + z = 1,$$

где x и y – доли внеклеточной и внутриклеточной жидкости, z – суммарная доля тканей сухих веществ.

Ограничимся рассмотрением процессов переноса для образца в виде параллелепипеда с контактной поверхностью переноса S и расстоянием между поверхностями d . Обобщенные динамические характеристики процессов переноса являются: полное электрическое сопротивление $R = d/\sigma S$, где σ – удельная электропроводность среды; тепловое сопротивление $R_T = d/\lambda S$, где λ – коэффициент удельной теплопроводности среды; полное диффузионное сопротивление $R_D = d/DS$, где D – обобщенный коэффициент удельной диффузии среды. В некоторых случаях [1, 4] модельное описание релаксационных процессов в биологической среде при электрическом воздействии требует определения характерного времени релаксации $\tau_M = \epsilon/\sigma = RC$, где $C = \epsilon S/d$ – емкость среды, заключенной в экспериментальном параллелепипеде, ϵ – обобщенная удельная диэлектрическая проницаемость среды. Дальнейшее моделирование среды зависит от правильного выбора геометрии описания процесса переноса. Естественно, динамика всех перечисленных процессов аналогична, и отличается лишь удельными характеристиками составляющих среды. Поэтому, ограничимся вычислениями обобщенных характеристик воздействия электрического поля на среду.

Моделью биологической среды при электроплазмолизе является параллелепипед вида:

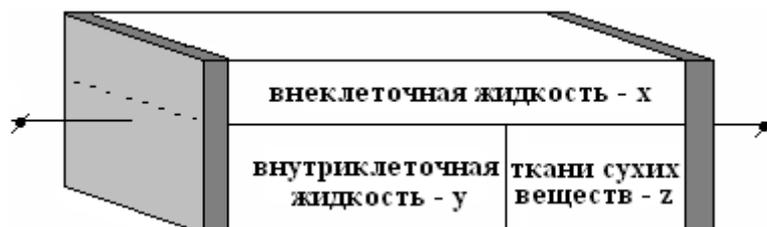


Рис. 1. Схематичное представление модели биологической среды для явлений переноса

Согласно приведенной схеме $d_y S_{yz} = yV, d_z S_{yz} = zV, dS_x = xV$, где $V = dS$. Смысл введенных геометрических характеристик следующий: d_y – суммарное расстояние переноса через внутриклеточную жидкость, d_z – суммарное расстояние переноса через ткани сухих веществ, S_{yz} – суммарное поперечное сечение двухкомпонентного переноса, S_x – суммарное поперечное сечение внеклеточной жидкости. Учитывая соотношения $S_{yz} + S_x = S$ и $d_y + d_z = d$ можно выразить второстепенные компонентные характеристики геометрии модели, через базовые размерные величины d и S :

$$d_y = \frac{y}{y+z} d, d_z = \frac{z}{y+z} d, S_{yz} = (y+z)S, S_x = xS.$$

Согласно рассматриваемой модели, электрическое сопротивление среды определяется условием параллельного соединения $R^{-1} = R_{yz}^{-1} + R_x^{-1}$, где $R_{yz} = R_y + R_z$ сопротивление последовательно соединенных сопротивлений $R_y = d_y / \sigma_L S_{yz}$ и $R_z = d_z / \sigma_S S_{yz}$; $R_x = d / \sigma_L S_x$ – сопротивление внеклеточной составляющей жидкой фракции. Здесь σ_L и σ_S – удельные характеристики электропроводности жидкой фракции и тканей сухих веществ биологической среды, соответственно.

В результате моделирования удельная электропроводность биологической среды является функцией долей составляющих и в общем случае для предложенной геометрии модели:

$$\sigma(x, y, z) = \sigma_L \frac{\sigma_S(1-x) + xz(\sigma_L - \sigma_S)}{\sigma_S(1-x) + z(\sigma_L - \sigma_S)},$$

с учетом соблюдения условия полноты $x + y + z = 1$.

Для свежего, неплазмолизованного сырья имеет место соотношение $x \rightarrow 0$, или $y + z = 1$. Удельная электропроводность среды является функцией лишь содержания тканей сухих веществ согласно формуле

$$\sigma(z) = \frac{\sigma_L \sigma_S}{\sigma_S(1-z) + z\sigma_L},$$

или лишь функцией содержания внутриклеточной вакуольной жидкости: $\sigma(y) = \frac{\sigma_L \sigma_S}{\sigma_S y + (1-y)\sigma_L}$.

Интересен для рассмотрения случай полного плазмолиза сырья $y \rightarrow 0$, когда вся жидкость становится внеклеточной благодаря разрушению клеточного строения среды $x + z = 1$:

$$\sigma(x, 0, z) = \sigma_S + (1-z)(\sigma_L - \sigma_S) = \sigma_S + x(\sigma_L - \sigma_S).$$

Другой характеристикой процесса переноса является скорость изменения обобщенного коэффициента передачи с изменением соотношения между долями внеклеточной и внутриклеточной жидкости. При сохранении условия полноты доля тканей сухих веществ остается постоянной, поэтому для скорости изменения обобщенного коэффициента электропроводности получаем выражение:

$$\chi(x, y, z) = \frac{d\sigma(x, y, z)}{dx} = \frac{\sigma_L(\sigma_L - \sigma_S)^2 z^2}{[\sigma_S(1-x) + z(\sigma_L - \sigma_S)]^2},$$

с учетом соблюдения условия полноты $x + y + z = 1$.

Скорость изменения удельной электропроводности модельной биологической среды зависит от стадии процесса плазмолиза и является заведомо положительной величиной. Характерна квадратичная зависимость от разности удельных характеристик составляющих среды и доли тканей сухих веществ z .

Для свежего, неплазмолизованного сырья $x \rightarrow 0$ и $y + z = 1$ скорость изменения удельной электропроводности равна:

$$\chi(0, y, z) = \frac{\sigma_L(\sigma_L - \sigma_S)^2 z^2}{[\sigma_S(1-z) + z\sigma_L]^2} \text{ с условием полноты } y + z = 1.$$

В конце плазмолиза, когда $y \rightarrow 0$ скорость изменения удельной электропроводности перестает зависеть от доли составляющей тканей сухих веществ и выражается формулой

$$\chi(x, 0, z) = (\sigma_L - \sigma_S)^2 / \sigma_L \text{ с условием полноты } x + z = 1.$$

Это максимально возможное значение скорости изменения обобщенного коэффициента переноса не зависит от доли составляющей тканей сухих веществ. Таким образом, скорость изменения обобщенного коэффициента переноса в конце плазмолиза является чисто материальной характеристикой удельных компонент сырья.

Динамика процесса переноса для удельной электропроводности определена соотношением между долями компонент x и y . Доля составляющей тканей сухих веществ (при соблюдении условия полноты) остается постоянной и может служить потенциальной характеристикой уровня возможного плазмолиза среды. Отметим, что в случае обмена между средой и окружением (испарения жидкости или её выжимания из среды) доля составляющей сухих веществ перестает быть постоянной величиной. Введем динамический параметр $\zeta(z)$, характеризующий отношение удельной электропроводности полностью плазмолизованного к её значению для свежего, неплазмолизованного сырья:

$$\zeta(z) = \frac{\sigma_P}{\sigma_N} = \frac{[z\sigma_S + (1-z)\sigma_L][(1-z)\sigma_S + z\sigma_L]}{\sigma_L\sigma_S}.$$

Эта характеристика среды рассмотрена ранее, как величина определяющая эффективность плазмолиза для процессов переноса в биологической среде, в частности, был рассмотрен процесс переноса тепла [2]. График эффективности плазмолиза $\zeta(z)$ представляет куполообразную кривую, характеризующую производной

$$\frac{d\zeta(z)}{dz} = \frac{(\sigma_L - \sigma_S)^2}{\sigma_L\sigma_S} (1 - 2z).$$

Таким образом, наибольшую интенсификацию процессов переноса плазмолизом следует ожидать у биологических сред со сравнительно большим содержанием тканей сухих веществ $z \approx 0,5$. В самом деле, проведенные эксперименты [5] указывают, что эффективность плазмолиза растительных сред ниже эффективности плазмолиза рыбного сырья [6], у которого доля составляющей тканей сухих веществ выше.

Анализ модели биологической среды

В случае выполнения плазмолиза без нарушения условия полноты, доля сухих веществ среды является постоянной величиной, поэтому $\frac{dy}{dx} = -1$. Обработка биологической среды, при нарушении

условия полноты, например когда часть внеклеточной жидкости отделяется путем уноса из среды прессованием или самотеком, тогда $\frac{dy}{dx} + \frac{dz}{dx} = -1$. Фактически убыль внутриклеточной жидкости

зависит не только от процесса плазмолиза клеток сырья, но и от массового обмена между сырьем и окружающей средой. В таком случае эффект плазмолиза характеризуется большими коэффициентами переноса внутриклеточной жидкости в объем внеклеточной. Этот вывод прослеживается из зависимости $\zeta(z)$, когда z растет, приближаясь к значению 0,5, эффективность увеличивается. Для определения эффективности плазмолиза и его динамических характеристик скорости и длительность процесса достаточно иметь первоначальные, оценочные данные об отношении соответствующих коэффициентов переноса (электропроводности, теплопроводности, диффузии) для тканей сухих веществ и жидкой фракции, а также о процентном содержании сухих веществ.

Хотя плазмолиз представляет один из самых эффективных способов усиления процессов переноса электричества, тепла и массы, его применение не всегда энергетически выгодно. Дело в том, что электроплазмолиз осуществляется с затратами энергии на обработку сырья током, которые при определенных условиях и начальных характеристиках являются неприемлемыми. Поэтому, представленный анализ обобщенной, двухкомпонентной модели биологической среды является в то же время выводом критерия энергетической эффективности плазмолиза или целесообразности его применения.

Формула для эффективности плазмолиза, представленная в виде

$$\zeta(z) = \frac{(1+\gamma)^2}{\gamma} - \frac{(1-\gamma)^2}{\gamma} (z-0,5)^2,$$

указывает, как изменится коэффициент переноса по отношению к первоначальному значению для неплазмолизованного сырья. Видно, что чем параметр γ меньше, тем значительнее эффект плазмолиза. Коэффициент эффективности электроплазмолиза сырья, у которого γ весьма малая величина до-

стигает внушительной величины: при $\gamma \approx 0,001$, $\zeta(z) \approx 10^4$. Однако, потребительский эффект плазмолиза определяется не изменением обобщенного коэффициента электропроводности, а теплопроводности при интенсификации теплообмена, диффузии при извлечении и разделении жидкой фракции от тканей сухих веществ или экстракции ценных составляющих сырья. Учитывая, что для отношения удельных коэффициентов теплопроводности составляющих двухкомпонентной модели $\gamma \approx 0,6$, эффект плазмолиза определяется значениями $\zeta(z) < 10$. Зависимость отношения обобщенного коэффициента теплопроводности плазмолизованного сырья к его значению в начале плазмолиза представлена на рисунке 1, которое в максимуме не превышает значения 12,5. $\zeta(z)$

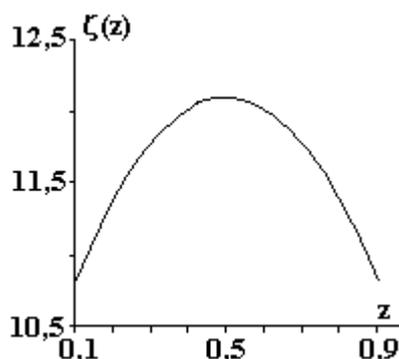


Рис. 2. Зависимость эффективности переноса от доли составляющей сухих веществ

В однородном сырье, для которого $\gamma = 1$, эффект плазмолиза не зависит от составляющей доли сухих веществ z , и равен четырем. Таким образом, даже при одинаковых удельных характеристиках составляющих жидкой фракции и тканей сухих веществ эффективность электроплазмолиз равна четырем, и не зависит от z . Однако, зависимость от z весьма ощутима при малых значениях γ , что обычно характерно для отношения коэффициентов электропроводности составляющих двухкомпонентной модели биологического сырья. Поэтому, для усиления эффекта электроплазмолиза и понижения уровня неэффективных энергозатрат при обработке сырья иногда целесообразно предварительно модифицировать значение доли тканей сухих веществ путем удаления или добавления жидкости в обрабатываемую током среду. Если начальная доля сухих веществ $z < 0,5$, тогда для увеличения z следует удалить часть внеклеточной жидкости, и, наоборот, в случае $z > 0,5$, следует добавить жидкость в обрабатываемую среду. Эффект плазмолиза будет максимальный, когда $z = 0,5$, и $\zeta(0,5) = (1 + \gamma)^2 / \gamma$.

Длительность обработки сырья током при электроплазмолизе зависит от скорости изменения обобщенного коэффициента электропроводности при разрушении клеточного строения и переводе жидкой фракции в состояние свободной, внеклеточной жидкости. Заметим, что отношение скорости плазмолиза к коэффициенту электропроводности жидкой фракции стремится к нулю, при $\gamma \approx 1$:

$$\frac{\chi(x, y, z)}{\sigma_L} = \frac{(1 - \gamma)^2 z^2}{[\gamma(1 - x) + z(1 - \gamma)]^2},$$

являясь заведомо положительной величиной. Таким образом, для сред, у которых $\gamma \approx 1$ плазмолиз неосуществим. Характерно, что у большинства биологических сред $\gamma \approx 10^{-3} - 10^{-4}$, что является четким критерием целесообразности электроплазмолиза. Фактически, у большинства видов сырья скорость электроплазмолиза имеет порядок величины, равный σ_L . Когда удельная электропроводность жидкой фракции низкая величина необходимо добавить в сырье растворенные соли, и осуществить плазмолиз путем приведения клеток среды в состояние анабиоза благодаря осмосу. Состояние анабиоза клеток не равносильно плазмолизу, когда клеточная структура разрушается, поэтому электроплазмолиз не теряет своей значимости, а иногда и необходимости для интенсификации обменных процессов.

В общих чертах модель биологической среды для процессов переноса и обмена веществ позволяет выявить основные характеристики электроплазмолиза и оценить его целесообразность в зависимости от основных удельных характеристик двухкомпонентной модели. Характерно то, что модель носит принципиально общий характер для описания процессов переноса электричества, тепла и массы. Согласование с экспериментом указывает на качественное и частичное количественное совпадение результатов анализа. Недостатком, при согласовании модели с экспериментом является разброс значений характеристик среды, экспериментальное определение которых является не тривиальным.

Для биологических сред, у которых эти характеристики четко определены согласие между экспериментом и моделью вполне удовлетворительное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ботошан Н.И., Папченко А.Я., Чебану В.Г., Берзой С.Е., Лымарь А.С. Явление гистерезиса при электрообработке биологических сред // Электронная обработка материалов. 1988. № 3. С. 70–74.
2. Ботошан Н.И., Болога М.К., Берзой С.Е. Интенсификация переноса тепла электроплазмолизом // Промышленная теплотехника. 2003. Т. 25. № 4. Киев, С. 290–292.
3. Ботошан Н.И., Болога М.К., Берзой С.Е. Интенсификация теплообмена в биологической среде электроплазмолизом // Электронная обработка материалов. 2005. № 1. С. 68–75.
4. Ботошан Н.И., Болога М.К., Берзой С.Е. Время релаксации Максвелла и электризация проводящих сред // Электронная обработка материалов. 2003. № 6. С. 44–52.
5. Ботошан Н.И., Берзой С.Е., Болога М.К., Чебану В.Г., Папченко А.Я. Динамические характеристики процесса электроплазмолиза растительного сырья // Электронная обработка материалов. 1989. № 5. С. 58–62.
6. Болога М.К., Берзой С.Е., Ботошан Н.И., Захарчук А.В., Скимбов А.А. Применение электроплазмолиза в производстве жира из светящегося анчоуса // Электронная обработка материалов. 1988. № 6. С. 67–72.

Поступила 05.05.04

Summary

Model of description of electropasmolysis of a two-component biological medium, capable to describe both dynamics and efficiency of electropasmolysis as well as the effect of subsequent processes of heat and mass transfer, is developed. The main parameters of the model are specific characteristics of the transfer process and the constituent part of tissue of dried substances. Criterion of efficiency the processes of transfer is found and the way of their enhancing by means of modification of ratio among the medium parts, by adding or removal of some part of liquid fraction, is proposed.

В.И. Зеленцов, Т.Я. Дацко, В.В. Ковалев

СВОЙСТВА И ПОРИСТАЯ СТРУКТУРА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТХОДОВ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Твердые отходы винодельческой промышленности (продукты после обработки вино материалов бентонитом) представляют собой бентонит, соосажденный с белковыми, пектиновыми, дубильными и красящими соединениями, а также ферроцианид железа [1, 2]. Этот шлам является сложной коллоидно-молекулярной смесью, где вещество представлено во всем диапазоне крупности частиц от грубодисперсных до коллоидных и молекул. Ввиду того, что в результате осветления вин образуются большие объемы этих шламов, возникает вопрос об их утилизации. Предприняты попытки добавлять шламы в керамические изделия, плитку и т.д., но практического применения они не получили.

Авторы предлагают рассмотреть возможность повторного использования шламов в виноделии для доочистки вина от соединений железа. Однако в исходном виде шлам для этой цели непригоден, так как все активные центры бентонита заблокированы, а ферроцианид полностью насыщен железом. Следовательно, необходимо предварительно активировать шлам, модифицируя его в желательном направлении. Модифицирование может быть произведено путем прививки к шламуаниона селективного к иону железа. Таковым может служить сульфид-ион, введенный в структуру шлама в виде