

Электрическая обработка жидких сред в отсутствие контакта с электродами

А. А. Авдеев, М. К. Болога

*Институт прикладной физики АН Молдовы,
ул. Академическая, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, e-mail: avdeev.alexandru@mail.ru*

Обсуждается роль нагрева при плазмолизе. Экспериментально исследован нагрев электролита через диэлектрический барьер при использовании различных источников переменного тока и напряжения ультразвуковой частоты. Отмечены особенности и сопутствующие нагреву эффекты для различных источников энергии и электролитов.

Ключевые слова: плазмолиз, электролит, нагрев, источники тока и напряжения, осциллограммы.

УДК 664.1.033

Среди разновидностей плазмолиза позитивно выделяется процесс, проводимый при электрическом воздействии как в части его хорошей управляемости, так и в повышении эффективности обработки растительного сырья.

На протяжении последних десятилетий уделяется заслуженное внимание осуществлению плазмолиза на переменном, постоянном напряжении и в импульсных полях. Одним из спорных, не решённых вопросов остаются эрозия и растворение материалов электродов и их влияние на качество экстрагируемых продуктов. В этой связи представляется интересным и практически важным проведение процесса в условиях исключения непосредственных контактов обрабатываемой среды и электродов. Использование нового подхода к изучению плазмолиза, в том числе технически, порождает интересные задачи, которые не всегда очевидны, поскольку принципиально важно, как вводится электрическая энергия. Подсчитать количество выходного продукта и сделать заключение об эффекте процесса проблематично, поскольку каждый вариант электроплазмолизной камеры и источника питания представляется уникальным по набору случайных параметров. В свою очередь, это затрудняет или даже исключает возможность использования результатов других исследователей и практиков, поскольку не известно влияние каждого из многочисленных параметров в отдельности.

Предпринятый авторами подход к методологии предполагает расчленение процесса на отдельные составляющие и изучение каждой из них, чтобы синтезировать его вновь оптимальным образом. После прояснения роли каждой составляющей следует составить жёсткий алгоритм для инженерного расчёта и проектирования всего процесса в зависимости от поставленной задачи. В работе рассмотрены две группы ком-

понентов плазмолиза: нагрев и те, которые не приводят к заметному нагреву, с учётом методологии подхода и аппаратурного оснащения экспериментов.

Нагрев жидкого сырья при плазмолизе способствует увеличению выхода сока из мезги и является фактором, влияющим на эффективность процесса. С повышением температуры эффект усиливается и одновременно с этим в соке могут происходить негативные изменения, в том числе химические взаимодействия с материалом электродов, тем вероятнее, чем больше электрический ток проходит по рабочей зоне. Чтобы исключить эти явления и приблизить электрический нагрев к традиционному нагреву, который используется при приготовлении пищи, можно изолировать электроды слоем диэлектрика. В качестве источника тепловой энергии следует использовать переменный ток, что должно исключить перенос материала электрода в мезгу в результате электрохимических процессов и прохождения диэлектрического барьера. Для увеличения энергетической эффективности процесса целесообразно работать на ультразвуковой частоте.

С целью обоснованного выбора источника электрической энергии следует рассмотреть мезгу как нагрузку и заменить её электролитом, как близким и более точно воспроизводимым объектом. Попытки составить эквивалентную электрическую схему нагрузки (кюветы с электролитом) с помощью измерительного моста оказались безуспешными, поскольку электродные потенциалы вносят сильные искажения в измерения. Использовались два источника напряжения прямоугольной формы и близкой к синусоидальной, в качестве электролита служил одномолярный раствор хлорида калия, в качестве диэлектрика – стеклянные пробирки.

На осциллограммах показаны напряжения и токи для обоих случаев. Для прямоугольного напряжения (рис. 1) частота менялась от 8 до 100 кГц. Характер осциллограмм не менялся. Видно, что осциллограммы токов представляют собой производные от напряжений. Импульсы тока очень короткие и совпадают по времени с фронтами напряжения. На рис. 2 показана осциллограмма, близкая к синусоиде, от источника напряжения с индуктивным выходом. Частота равна 10 кГц. Как видно (рис. 2), ток опережает напряжение на четверть периода. Оба источника работали на одну и ту же кювету с одним и тем же электролитом.



Рис. 1. Осциллограмма; источник напряжения с емкостным выходом.

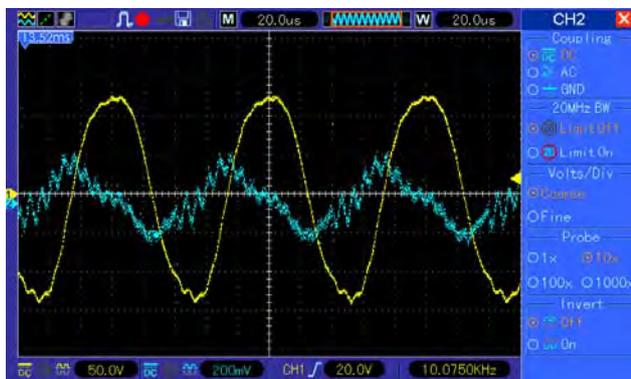


Рис. 2. Осциллограмма; источник напряжения с индуктивным выходом.

Далее эксперименты велись с кюветой, представляющей собой пластмассовую трубку с ёмкостными вводами большой площади по концам. Диэлектрическим барьером служила фторопластовая плёнка. Использовался резонансный источник тока, который поддерживал ток на постоянном уровне, в зависимости от напряжения питания. Вольт-амперная характеристика источника тока обеспечивалась его естественной выходной характеристикой без применения регулирования и обратной связи.

Из-за схемных особенностей ток в источнике имел частоту примерно в три раза большую, чем напряжение. Также наблюдается сдвиг фазы между током и напряжением в начале каждого

периода напряжения. На рис. 3 ток принимает форму с изломом. Фаза тока совпадает с фазой напряжения. Начало периода находится в точке излома тока. Это изменение происходит с увеличением температуры электролита. Из-за резкого уменьшения тока мощность, вводимая в электролит, падает, электролит охлаждается, и режим возвращается к первоначальному варианту (рис. 4). Режимы меняются резко, поэтому эффект можно назвать эффектом теплового триггера.

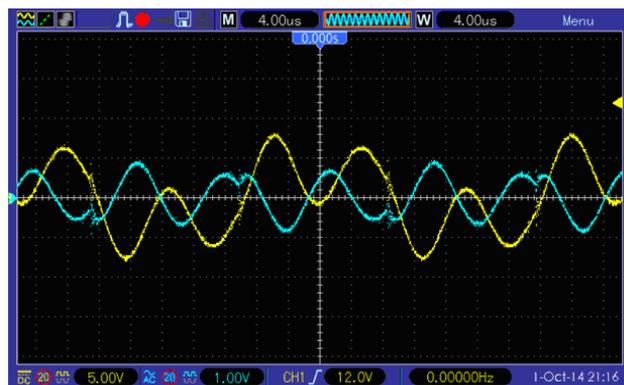


Рис. 3. Осциллограмма; источник тока, нагруженный на электролит (морская вода) с температурой выше 40°C.



Рис. 4. Осциллограмма; источник тока с индуктивным выходом в номинальном режиме.

Эксперименты проводились с разными электролитами, в том числе с морской водой. При пропускании тока был выявлен интересный эффект. После нагрева электролита выше 40°C ток резко уменьшался.

Для последних осциллограмм (рис. 2–4) источник можно заменить в первом приближении колебательным контуром, который нагружен на кювету с электролитом. Между источником и нагрузкой находится ёмкость диэлектрического барьера. Нагрузка представляет собой ёмкость с параллельным активным сопротивлением электролита. Чем более вытянута кювета, тем меньше ёмкость и больше активное сопротивление. Для

осциллограммы (рис. 1) источник можно заменить ёмкостью и последовательным ключом.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На осциллограмме (рис. 1) ток представляет собой короткие пики, совпадающие по фазе с фронтами напряжения, – типичная картина продифференцированного прямоугольного напряжения. На известных установках плазмолиза ток имеет такую же форму и совпадает с моментами открывания силовых ключей. Этот ток может вывести из строя мощные тиристоры, если мощность и ёмкость сети большие. Средний нагрев при таком токе незначительный.

На осциллограммах (рис. 2 и 3) ток опережает напряжение на четверть периода тока и также является производной от напряжения. Поскольку эти осциллограммы сняты с нагрузки, такой характер объясняется дифференцирующей ролью диэлектрического барьера. На осциллограмме (рис. 4) ток и напряжение не совпадают по фазе на 135 угловых градуса, то есть ток находится скорее в противофазе к напряжению, что объясняет его малую величину. Тем более что ток имеет уже не синусоидальную форму. Природа данного эффекта, по-видимому, в системе источник-нагрузка. Причиной эффекта является температура электролита, но его дальнейшее развитие имеет системный характер. На осциллограммах (рис. 3 и 4) иллюстрируются температурный эффект от тока и его фазы. Можно отметить, что за нагрев ответственна активная часть тока нагрузки, что подтверждается температурными измерениями.

Из отмеченных наблюдений, полностью совпадающих с теорией, можно сделать практические выводы об источниках питания. Если преследуется цель нагрева электролита, надо использовать источник с индуктивностью на выходе в случае трансформатора, например с индуктивностью рассеяния необходимой величины. Если нагревать электролит не желательно, источник на выходе должен иметь ёмкость и, разумеется, силовой ключ.

В связи с изложенными результатами отметим, что в [1] приводятся данные об увеличении выхода сока при работе от РС генератора. Предположим, что в мезгу вводится небольшая порция энергии с большой скоростью. Скорость намного больше, чем конвекция и теплопередача на расстояния, способствующие равномерному распределению энергии. Между электродами имеются электрическое поле и аккумулярованный заряд в ёмкостях сети и источника, который способствует разряду на нагрузке. После открывания силового ключа электроды способны отдать в мезгу определённое количество электри-

ческой энергии. Происходят явления по аналогии с грозовым разрядом, но только в жидкой среде. По мере прохождения тока и нагрева в локальной области образуется паровая фаза. Аналогия только усиливается. Возникает перепад давления, как при взрыве, что, вероятно, способствует разрушению растительного сырья.

Эта модель хорошо проработана во многих областях, например в технике высоких напряжений. Известно, что при таких процессах происходят высокотемпературные химические реакции: образование озона и окислов азота в том числе [2], и качество сока при таком процессе ухудшается [1]. Логично допустить, что увеличение выхода сока происходит из-за локальной взрывной волны, и возникает вопрос – не легче ли обеспечить данный эффект при помощи ультразвука? В отсутствие тока снимается проблема химического взаимодействия мезги с электродами и образование озона, окислов азота и других трудно контролируемых химических соединений. Разряд ёмкости порождает взрывные процессы не только в мезге, но и в элементах источника питания. Ограничение коротких ёмкостных токов сводит к нулю возможный положительный эффект увеличения выхода сока от микровзрывов в мезге.

Нельзя не упомянуть газообразование при нагреве электролита. В частности, в [3] отмечается большая роль растворённых газов в природной воде. В некоторых случаях отмечено выделение газа в виде запаха. При заметном нагреве в трубке с электролитом образовывались газовые пузырьки. Электролиты изготавливались из химически чистых реактивов и дистиллированной воды. Возможно, обильное газообразование связано с пробоем диэлектрического барьера и реакцией с электродами. В [3] выдвинута идея о возможности кавитации при наличии микроскопических пузырьков газа и электромагнитных полей. Такие процессы имеют большой энергетический потенциал по разрушению органических оболочек в водных растворах.

Отмеченный тепловой эффект триггера может быть связан с образованием пузырьков газа, возможно, микроскопического размера. В выполненных экспериментах, не исключено, были два разных эффекта: в морской воде – тепловой, в других электролитах – связанный с образованием газовых пузырьков, отличающийся от теплового эффекта характерным шумом, сопровождающимся не стабильной работой измерительных приборов при отсутствии видимых процессов и небольшом нагреве порядка 50°C. Этот эффект нельзя отнести к порогу, выше которого стойкость барьера нарушается, поскольку шум исчезает при дальнейшем увеличении напряжения.

Возможно, эффект связан с внутренними свойствами источника тока или с газообразованием.

Таким образом, тепловые составляющие плазмолиза заслуживают внимания и требуют детального исследования, как и вопросы источников энергии. С последними также связана проблема согласования источника и нагрузки, имеющая отношение не только к плазмолизу, но и к импульсной электрохимии и электрической обработке в электролитах вообще.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаренко Б.Р., Фурсов С.П., Щеглов Ю.А., Бордиян В.В., Чебану В.Г. *Электроплазмолиз*. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1977. 80 с.
2. Бейер М., Бек В., Меллер К., Цаенгль В. *Техника высоких напряжений: теоретические и практиче-*

ские основы применения. М.: Энергоатомиздат, 1989. 555 с.

3. Гак Е.З. *Магнитные поля и водные электролиты в природе, научных исследованиях, технологиях*. Санкт-Петербург: Элмор, 2013. 535 с.

Поступила 10.02.15

Summary

The role of heating at plasmolysis is discussed. The heating of the electrolyte through the dielectric barrier by using various sources of an alternating current and voltage of the ultrasonic frequency is investigated experimentally. The features and effects associated with heating for different sources of energy and electrolytes are described.

Keywords: plasmolysis, electrolyte, heating, sources of current and voltage, oscillogram.