

Турецкий А.Е., Чернова Е.А., Копыт Н.Х.

Одесский национальный университет им. И.И.Мечникова

Исследование электродинамического распыления жидкостей

Получены экспериментальные зависимости вольтамперных характеристик нескольких жидкостей для процесса электрогидродинамического распыления. Определены режимы стабильного монодисперсного распыления.

Анализ экспериментальных исследований процесса электродиспергирования жидкостей показывает, что насчитывается около 16 факторов, оказывающих влияние на процесс диспергирования, основными из которых являются коэффициент поверхностного натяжения, электропроводность, приложенное напряжение, давление жидкости в капилляре. Из-за большого числа параметров и сложных связей между ними, задача по нахождению оптимальных условий электродинамического распыления при которых реализуется стабильный режим генерирования монодисперсных капель, представляется достаточно трудной и не может носить универсальный характер, а может быть получена для конкретной распыляемой жидкости.

Механизм электродиспергирования выглядит следующим образом. В отсутствии электрического поля на торце капилляра формируется выпуклый мениск жидкости, размер и форма которого зависят от величины гидростатического и лапласовского давления. Если к жидкости приложить высокое постоянное напряжение, то электрические силы нарушают равновесное состояние мениска и он превращается в конус, на конце которого увеличивается напряженность электрического поля. Удлинения конуса продолжаются до тех пор, пока не возникнут условия для нарушения устойчивости его формы, т.е. не начнется процесс диспергирования жидкости.

В процессе электродиспергирования фактически осуществляется перенос жидким аэрозолем электрического заряда через межэлектродный промежуток капилляр-противоэлектрод. Таким образом, в цепи будет протекать электрический ток. Величина тока зависит как от величины распыляемого потенциала на капилляре, гидростатического давления в системе, так и от свойств распыляемой жидкости. Анализируя особенности токопереноса при электродиспергировании различных жидкостей либо растворов солей на их основе, можно определять степень пригодности их для использования в разных практических областях, например, в сельском хозяйстве, медицине, полупроводниковой промышленности, при получении нановолокон [1,2] и т.п. Характер токопереноса изучался путем измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) процесса распыления таких жидкостей, как дистиллированная вода, этиловый спирт, глицерин, а также водно-глицериновых и спиртоглицериновых растворов.

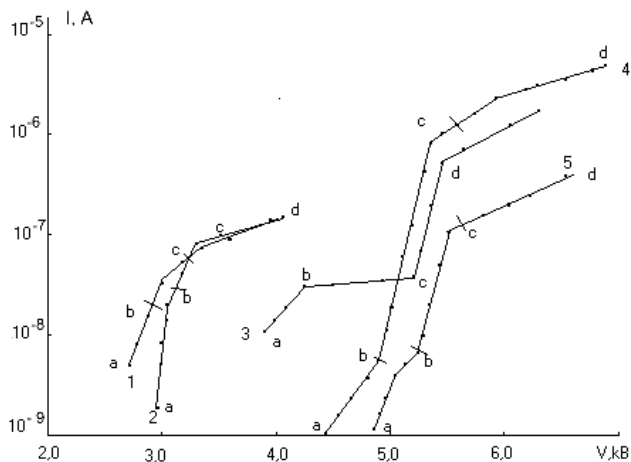


Рис.1. Вольтамперная характеристика процесса распыления
 1 – этиловый спирт; 2 – 90% этилового спирта + 10% глицерина; 3 – глицерин;
 4 – 70% воды + 30% глицерина; 5 – вода

Результаты измерения ВАХ некоторых жидкостей представлены на рисунке 1. Точка «а» соответствует начальному потенциалу распыления. Участок bc кривой 1 соответствует интервалу напряжений, в котором наблюдается стабильный процесс электродиспергирования этилового спирта практически в монодисперсном режиме. Аэрозольный факел хорошо развит, устойчив, дисперсность частиц порядка 5-10 мкм. С ростом электрического поля наблюдается нарушение стабильности работы генератора аэрозоля и переход к крупнодисперсному режиму образования капель разного размера.

Диспергирование воды (участок bc на кривой 5) происходит в резко выраженном полидисперсном нестабильном режиме с образованием крупных капель и отдельных струй. При этом следует обратить внимание на тот факт, что распыление воды становится возможным только при достижении больших, чем в случае диспергирования спирта, электрических полей. Однако при таких полях в области вершины жидкого мениска возникает интенсивный коронный разряд, который препятствует возрастанию напряженности поля на жидкостном острие. Это и является причиной нарушения стабильности процесса распыления. Существование коронного разряда при распылении воды обнаруживалось нами по характерному звуковому фону и по наблюдаемому в микроскоп свечению в области жидкого острия. Неодинаковый характер образования аэрозоля из воды и этилового спирта, а также различные начальные электрические потенциалы распыления этих жидкостей непосредственно обусловлены различием величин их электропроводностей и особенно коэффициентов поверхностного натяжения.

Известно, что глицерин ($C_3H_8O_3$) относится к группе тяжелых спиртов и может в бесконечных пропорциях растворяться в воде и спирте. Так как при

введении глицерина в распыляемую жидкость меняются ее физико-химические свойства, то это в свою очередь должно привести и к изменению характера процесса диспергирования. ВАХ процесса распыления глицерина представлена на кривой 3, рисунка 1. Видно, что диспергирование происходит в области электрических полей больших, чем при распылении спирта, но меньших, чем в случае использования воды. При напряжениях, соответствующих участку bc на кривой 3 наблюдается хорошо сформированный однородный факел аэрозоля радужной окраски, что свидетельствует о монодисперсном характере распыления глицерина. Особо следует отметить очень высокую, по сравнению со спиртом, стабильность процесса диспергирования глицерина. Это явление наблюдается в случае монодисперсного распада весьма вязких жидкостей с низкой упругостью паров и определяется стабилизирующей ролью вязкости, увеличивающей длину жидкого острия на торце распылительного капилляра. При постоянных значениях гидростатического давления и электрического потенциала распыления режим генерирования аэрозоля и форма факела остаются неизменными на протяжении многих часов эксперимента. В области высоких напряжений (за пределами участка bc) периодически наблюдается затухание процесса монодиспергирования вплоть до исчезновения факела. Это обусловлено тем, что при увеличении потенциала распыления из-за очень большой вязкости глицерина нарушается непрерывность поступления жидкости к торцу капилляра. Кроме того, при $V > 5.5$ кВ уже становится возможным возникновение коронного разряда в области жидкостного острия. В условиях существования разряда напряженность электрического поля, стимулирующего процесс распыления, резко падает и образование аэрозоля прекращается.

Проведены исследования электрораспыления спиртглицериновых (кривая 2) и водно-глицериновых смесей (кривая 4). Установлено, что добавление к спирту глицерина существенно стабилизирует процесс генерирования аэрозоля, повышает дисперсность частиц в факеле. При этом образование монодисперсного аэрозоля происходит в более широком интервале напряжений, чем это имело место при распылении чистого этилового спирта. Аналогично ведет себя смесь воды и глицерина.

Условие нарушения устойчивости поверхности жидкости на вершине мениска может быть записано в виде неравенства

$$P_Q + P_h > P_\sigma \quad (1)$$

где $P_Q = \epsilon_0 E^2 / 2\chi^2$ – давление на острие мениска, обусловленное силами электрического поля, $P_h = hdg$ – гидростатическое давление столба жидкости на конце конуса, $P_\sigma = 2\sigma a / b^2$ – давление на жидком острие, обусловленное силами поверхностного натяжения, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, E – напряженность электрического поля, при которой происходит стабильная генерация аэрозоля, h – высота столба жидкости, d – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения, σ – коэффициент поверхностного натяжения, a, b, c – параметры, которые могут быть определены из геометрических соображений

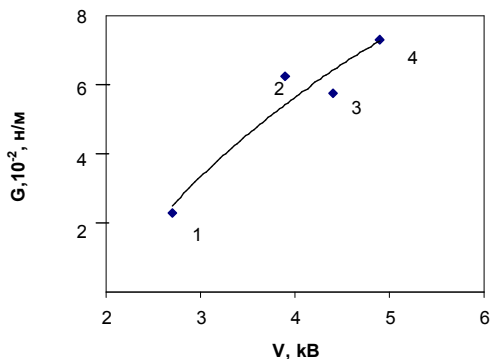


Рис.2. Зависимость потенциала распыления от поверхностного натяжения:
 1 - этиловый спирт, 2- глицерин, 3- вода 70% + глицерин 30%, 4 – вода.

в случае аппроксимации формы жидкого мениска полуэллипсоидом вращения: a и b – большая и малая полуоси эллипсоида, соответственно,

$$\chi = \frac{1-L^2}{2L^3} \left(\ln \frac{1+L}{1-L} - 2L \right) \quad (2)$$

коэффициент деполяризации эллипсоида относительно оси, совпадающей с направлением распыления, $L = \sqrt{1 - (b/a)^2}$ – эксцентриситет эллипсоида. Условие (1) примет вид [3]:

$$\frac{\epsilon_0 E_0^2}{2\chi^2} + \rho gh \geq \frac{2\sigma a}{b^2} \quad (3)$$

Из неравенства (3) следует, что чем выше коэффициент поверхностного натяжения жидкости, тем при больших электрических полях может быть достигнут режим стабильной генерации аэрозоля с высокой степенью дисперсности частиц.

На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость потенциала монодисперсного распыления от поверхностного натяжения, полученная на основе данных рис.1.

Данная зависимость подтверждает тот факт, что для распыления жидкостей с большим поверхностным натяжением необходимо приложить большее напряжение.

В работе [4] показано, что характер изменения формы капли на конце капилляра сильно зависит от проводимости жидкости. Такие свойства жидкости, как вязкость компенсируются повышением гидростатического давления в системе.

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о существовании корреляции между начальными потенциалами распыления и величинами коэффициентов поверхностного натяжения и электропроводности данных жидкостей.

Литература

1. Bronski S., Blasinska A. Electrospinning of liquid jets// 21st International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, Warsaw, Aug.15-21, 2004. – p.67.
2. Yarin A.L., Koombhorgse S., Reneker D.M. Taylor cone and jetting from liquid droplets I electrospinning of nanofibers// J. Appl. Phys. 2001. – V.90, № 9. – P.4836-4846.
3. Бураев Т.К., Верещагин И.П. Физические процессы при распылении жидкости в электрическом поле// Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1971. – №5. – С. 70-79.
4. Бураев Т.К., Верещагин И.П., Пашин Н.М. Исследование процесса распыления жидкостей в электрическом поле // Сб. Сильные электрические поля в технологических процессах. М.: Энергия. – 1979. – № 3. – С. 87 – 105.

Турецький О.Є., Чернова О.О., Копит М.Х.

Дослідження електродинамічного розпилення рідин

АНОТАЦІЯ

Отримані експериментальні залежності вольт-амперних характеристик декілька рідин для процесу електродинамічного розпилювання. Визначені режими стабільного монодисперсного розпилювання.

Turetsky A.E., Chernova E.A., Kopyt N. Kh.

Investigation of electrodynamic spraying of liquids

SUMMARY

Experimental volt-ampere characteristics of some liquids are obtained in the electrodynamic spraying process. The stable monodisperse spraying modes are determined.