

УДК 621.384.668.8: 537.534.3

© О. В. Пашков, М. З. Мурадымов, Н. В. Краснов, М. Н. Краснов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАКЕЛА ЭЛЕКТРОРАСПЫЛЕНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИМ ДЕЛЕНИЕМ ПОТОКА ЖИДКОСТИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

В статье приведены экспериментальные данные по исследованию характеристик факела электрораспыления жидкости с динамическим делением потока в области распыления при нормальных условиях. Показана зависимость плотности тока распыленных заряженных частиц в поперечном распылении направлении. Зарегистрирован режим электрораспыления жидкости с коронным разрядом над поверхностью мениска; проведено сравнение характеристик тока при электрораспылении с коронным и без коронного разряда. Определена возможность управлять величиной тока распыленных частиц неэлектрическими параметрами.

Кл. сл.: электрораспыление жидкости, динамическое деление потока жидкости, коронный разряд, электроспрей

ВВЕДЕНИЕ

В серии работ [1–5], посвященных изучению свойств процесса электрораспыления жидкости с динамическим делением потока в области распыления при нормальных условиях основное внимание уделялось интегральным характеристикам процесса, к которым можно отнести стабильность тока распыленных заряженных частиц в широком диапазоне объемных скоростей подачи раствора от 5 до 250 мкл/мин и скоростей откачки парогазовой смеси из области распыления, влияние электрического поля на формирование формы мениска жидкости, соответствующего стабильному распылению, и фиксирование вида мениска соответствующему режиму распыления.

Тестирование исследуемого узла электрораспыления проводилось с использованием ион-дрейфового спектрометра, подробно описанного в [6], где приведены результаты в виде спектров подвижности различных веществ в широком диапазоне масс для положительных и отрицательных ионов. В качестве исследуемых объектов использовались растворы: алифатических четвертичных аминов Me_4N и Et_4N , аргинина (175 Да), резерпина (608.68 Да) в положительной моде, макробиомолекул Human serum albumin (69 367 Да), Hemoglobin Human (16 000 Да), Apoferritin (445 000 Да), Myoglobin (17 083 Да), Chymotrypsinogen A (25 666 Да), синтетических олигонуклеотидов и додидецила сульфата натрия (265 Да) в положительной и отрицательной модах. В работе [7] показана возможность стыковки жидкостного хроматографа с ион-дрейфовым спектрометром в каче-

стве детектора при использовании рассматриваемого узла электрораспыления.

При использовании в качестве детектора ион-дрейфового спектрометра, у которого диаметр входного отверстия непосредственно в дрейфовую камеру определяется размерами затвора Бредбери—Нильсена и составляет порядка 2 см, особого внимания на распределение интенсивности тока в факеле распыленных частиц по радиальной составляющей не уделялось, т. к. диаметр мениска, из которого происходит эмиссия заряженных частиц составляет порядка 0.2 мм, т. е. в 100 раз меньше входного отверстия в дрейфовую камеру. Совсем иное дело, когда исследуемый распылитель используется в качестве источника ионов для масс-спектрометрической системы. Заряженные частицы распыленного раствора в таких источниках получают при атмосферном давлении, и при помощи системы транспортировки ионов с дифференциальной откачкой вводят ионы в масс-анализатор. Для разумных размеров системы дифференциальной откачки, которые определяются используемыми откачными вакуумными средствами, ввод заряженных частиц из области атмосферного давления в прибор осуществляется через диафрагму (сопло) с отверстием диаметром 0.2–0.3 мм, т. е. сравнимым с диаметром мениска распыляемого раствора. При таких размерах диафрагмы становится критичным распределение тока распыленных заряженных частиц в радиальном направлении, что может сказаться на интенсивности ионного пучка впоследствии. Также на интенсивности ионного пучка должно сказываться расстояние от вершины мениска жидкости до вход-

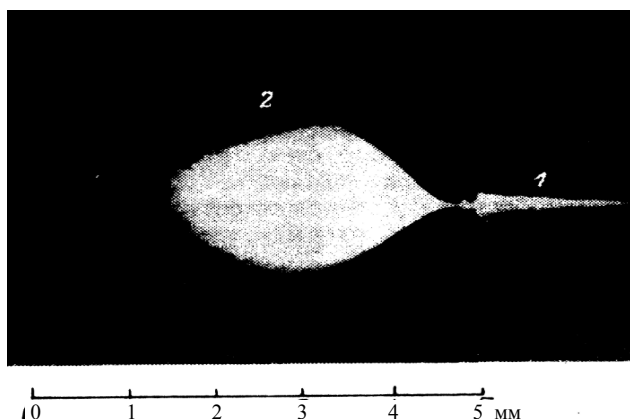


Рис. 1. Фотография [8] факела ЭГД-струи.
1 — капилляр, 2 — капельный аэрозоль

ной диафрагмы в масс-спектрометр, т. к. при общем движении частиц по полю в сторону диафрагмы происходит рассеяние зарядов на фоновом газе (атмосферный воздух при нормальных условиях) и кулоновское взаимодействие ионов одного знака. Исходя из таких общих представлений были исследованы характеристики факела электрораспыления с динамическим делением потока жидкости при нормальных условиях. Следует отметить, что прямых измерений факела электрораспыления в исследуемом варианте распылительного узла не провести, т. к. в видимом диапазоне визуальнo факел не наблюдается в отличие от реализации элек-

трораспыления, представленного в [8], где форму факела легко зарегистрировать на фотографии (рис. 1). В режиме электрораспыления с динамическим делением потока распыляемой жидкости не видно не только факела, но и микрокапель и "росы" на противоэлектроде, которые могли бы косвенно по своему местоположению показать внешние границы факела. Поэтому исследование свойств факела и определение его параметров для данной реализации распыления проводилось по косвенным данным. Радиальное распределение факела и его осевое распределение получали с помощью сменных противоэлектродов с различными диаметрами отверстий в них. Следует отметить, что при диаметрах отверстий, равных или больших расстоянию от торца мениска до противоэлектрода, полевая картина существенно отличается от ситуации, когда диаметры отверстий меньше расстояния между мениском и противоэлектродом. Но тем не менее оба варианта имеют место в реальных реализациях в приборах (ион-дрейфовый спектрометр и масс-спектрометр).

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для исследования характеристик факела электрораспыления с динамическим делением потока жидкости при нормальных условиях была создана простая по конструкции и малогабаритная экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 2.

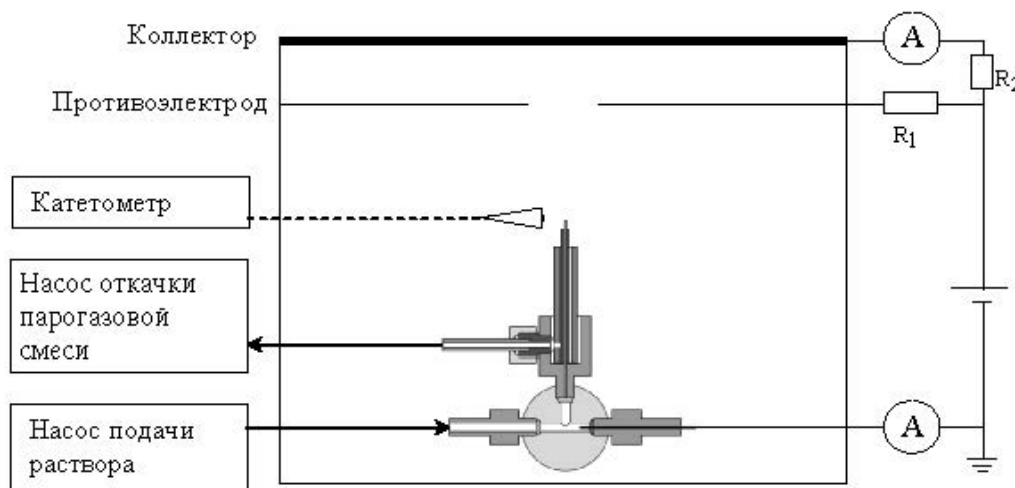


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Использованный в экспериментах распылительный узел отличался от подробно описанного в [1] тем, что центральный металлический капилляр находился под потенциалом "земля". Это в свою очередь позволяло избежать электрических утечек по жидкости, подаваемой в распылительный узел. Напротив металлического капилляра располагался сменный противоэлектрод с соосным отверстием, а за ним был установлен коллектор в виде плоской металлической пластины. В экспериментах использовался набор противоэлектродов с различными диаметрами отверстий: 0.3 и от 0.5 до 6 мм с шагом 0.5 мм. Точность изготовления противоэлектродов и расположение отверстий позволяло получать каждый раз при смене противоэлектрода соосное расположение металлического капилляра и отверстия в противоэлектроде. Расстояние между торцом металлического капилляра и плоскостью противоэлектрода — 4.5 мм, а между противоэлектродом и коллекторной пластиной — 5 мм. Для визуального контроля режима распыления использовался катетометр с десятикратным увеличением. Для подачи раствора в узел распыления использовался жидкостный шприцевой микронасос Harvard Apparatus PHD 2000 Infusion с задаваемой объемной скоростью подачи, а избыток раствора в виде парогазовой смеси откачивался через коаксиальный зазор при помощи регулируемого воздушного насоса Thomas G12/045. В канале откачки парогазовой смеси перед воздушным насосом устанавливался осушитель, позволяющий отделить жидкость от воздуха. Плавная регулировка скорости откачки парогазовой смеси осуществлялась при помощи регулируемого источника постоянного тока в диапазоне 0–12 В.

Противоэлектрод и коллекторная пластина запитывались через делитель от высоковольтного источника питания Stanford Research Systems PS350, который вырабатывает управляемое напряжение до 5000 В. Ток заряженных частиц, поступающих на противоэлектрод и коллекторную пластину, измерялся электрометрическими усилителями с сопротивлениями измерительных резисторов 10^6 и 10^7 Ом соответственно. В качестве образца использовалась смесь вода—ацетонитрил (1:1), подкисленная 0.25 % муравьиной кислотой.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ЭЛЕКТРОРАСПЫЛЕНИИ ЖИДКОСТИ

Радиальное и продольное распределение тока заряженных частиц из факела электрораспыления раствора исследовалось по следующей методике.

В экспериментальную установку воспроизво-

димо на фиксированном расстоянии от металлического капилляра устанавливался противоэлектрод с выбранным отверстием, которое было соосно металлическому капилляру. Далее для предотвращения неустойчивого режима распыления, который характеризуется появлением капель в факеле, устанавливали скорость откачки парогазовой смеси из области распыления (мениска) через коаксиальный канал, заведомо большую, чем требуемую для исследуемого режима. После этого при помощи жидкостного шприцевого насоса в область распыления подавался раствор, а на противоэлектрод и коллектор подавалось регулируемое напряжение. Усилители и тестеры, отображающие цифровое значение тока, находились под потенциалом противоэлектрода и коллекторной пластины. Контроль вида мениска при выбранном режиме распыления осуществлялся визуально при помощи катетометра с десятикратным увеличением. При необходимости вид мениска фотографировался через катетометр. Регулируя скорость откачки парогазовой смеси при постоянных остальных параметрах распыления, настраивался стабильный режим. После фиксации тока распыленных заряженных частиц на противоэлектроде и коллекторной пластине снималось высокое напряжение и выключался шприцевой жидкостный микронасос. Производилась замена противоэлектрода на другой с выбранным диаметром отверстия. После этого процедура получения стабильного режима распыления и фиксация токов повторялись.

На рис. 3 представлена зависимость тока распыленных частиц на коллекторе от диаметра отверстия в противоэлектроде при токе распыления положительных частиц на противоэлектрод 0.2 мкА, напряжении распыления $U_{\text{расп}} = 4$ кВ, на-

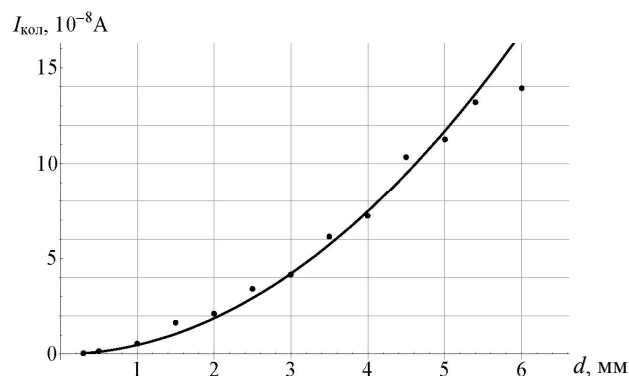


Рис. 3. Зависимость тока распыленных частиц на коллекторе ($I_{\text{кол}}$) от диаметра d отверстия в противоэлектроде.

При параметрах режима распыления: $I_{\text{расп}} = 0.2$ мкА и $U_{\text{расп}} = 4$ кВ

пряжении на коллекторе относительно противоэлектрода 500 В и потоке откачиваемой парогазовой смеси 3 л/мин. Из рисунка видно, что при диаметрах отверстия 5.5–6 мм зависимость тока распыления плавно выходит на "насыщение", т. е. большая часть заряженных частиц проходит через отверстие. Измеренную зависимость, представленную на рисунке, можно аппроксимировать кривой $I_{\text{кол}} = 0.47d^2$. Если предположить, что плотность тока ρ неизменна по всем диаметрам отверстий, то ток распыленных частиц на коллекторе должен был бы быть пропорционален изменению площади отверстий $I_{\text{кол}} = \rho S$; при этом площадь отверстия соотносится с диаметром как $S = 0.785d^2$; таким образом, в этом случае кривая $I_{\text{кол}}$ имела бы более крутую зависимость. Более медленный рост тока распыленных частиц на коллекторе, экспериментально измеренный, можно объяснить уменьшением концентрации ионов при отдалении от оси. На рис. 4 показана зависимость плотности тока заряженных частиц на коллекторе, от диаметра отверстия; при этом плотность тока у оси распылительной системы (при диаметрах 0.3–0.5 мм) выше приблизительно на 30 %; при диаметрах 1–5.5 мм плотность тока изменяется слабо в пределах погрешности измерений, а при диаметрах более 5.5 мм плотность тока уменьшается.

Аналогичные зависимости были измерены для двух значений тока распыления на противоэлектроде. При напряжении между коллектором и металлическим капилляром 5 кВ были получены две зависимости для разных токов распыления на противоэлектроде: 0.2 (кривая 1) и 0.14 мкА (кривая 2) на рис. 5. Величина тока распыления регулировалась не электрическими параметрами, а с помощью регулировки скорости откачки парогазовой смеси, при объемной скорости откачки 4.7 л/мин получен

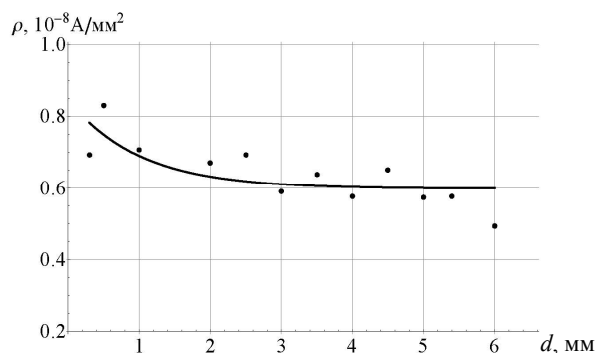


Рис. 4. Зависимость плотности тока ρ на коллекторе от диаметра отверстия d в противоэлектроде. При $I_{\text{расп}} = 0.2$ мкА и $U_{\text{расп}} = 4$ кВ

ток распыления 0.14 мкА, а для 3.2 л/мин — ток распыления 0.2 мкА, при этом скорость подачи жидкости во все время эксперимента не изменялась. Этот результат хорошо согласуется с представлениями об эмиссии заряженных частиц в электрическом поле с жидкого мениска. В случае большой скорости откачки парогазовой смеси мениск "обеднен" жидкостью и в электрическом поле автоматически выстраивается геометрия мениска, при которой возможен ток эмиссии распыляемых заряженных частиц 0.14 мкА; а при меньшей скорости откачки парогазовой смеси мениск "обогащен" жидкостью, и в электрическом поле автоматически выстраивается геометрия мениска, при которой ток эмиссии распыляемых заряженных частиц 0.2 мкА. Другими словами, при "обогащенном" варианте образуется мениск с более острой вершиной и соответственно с большей напряженностью электрического поля, что и приводит к увеличению тока распыления. Таким образом организованный режим электрораспыления жидкости является в некоторой области параметров его существования самосогласующимся, если меняется один из параметров, а остальные остаются неизменными; при этом стабильность тока электрораспыления не уменьшается.

Из зависимостей тока заряженных частиц на коллектор от диаметра отверстия в противоэлектроде для двух значений токов распыления на противоэлектрод, представленных на рис. 5 — 0.2 (кривая 1) и 0.14 мкА (кривая 2) — видно, что при токе распыления 0.14 мкА (кривая 2) и при диаметре отверстия в противоэлектроде более 5.5 мм весь ток распыления достигает коллекторной пластины, т. е. диаметр факела распыления

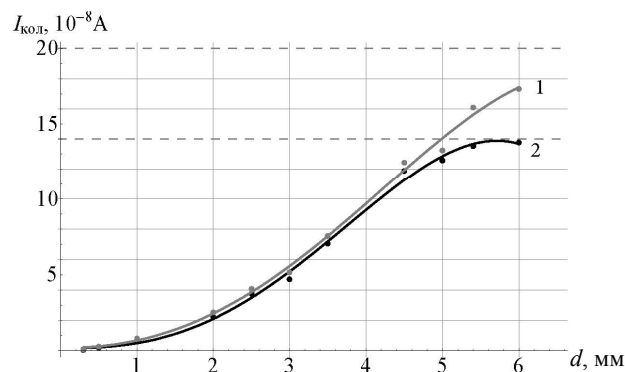


Рис. 5. Зависимости токов распыленных частиц на коллекторе ($I_{\text{кол}}$) от диаметра d отверстия в противоэлектроде. Условия: $U_{\text{расп}} = 5$ кВ; кривая 1 — при $I_{\text{расп}} = 0.2$ мкА; кривая 2 — при $I_{\text{расп}} = 0.14$ мкА

для такого тока можно оценить в 6 мм в плоскости противоэлектрода. При токе распыления 0.2 мкА (кривая 1), исходя из поведения кривой при диаметрах отверстия в противоэлектроде более 5–5.5 мм, можно сказать, что диаметр факела распыления в этой ситуации более 6 мм, и при аппроксимации зависимости может оказаться порядка 7 мм. Из кривой 1 зависимости можно предположить, что на диаметр факела распыления в плоскости противоэлектрода существенно влияет объемный (пространственный) заряд распыленных заряженных частиц (кулоновское взаимодействие), т. к. рассеяние распыленных заряженных частиц на фоновом газе для обеих кривых — равно при стабильном распылении. Преобразование зависимостей, характеризуемых кривыми 1 и 2 на рис. 5, в соответствующие зависимости плотностей тока представлены на рис. 6, из которого видно, что по оси распылительной системы плотность тока выше, чем на периферии зависимостей для больших диаметров для обеих кривых, причем для кривой 1 в 1.5 раза больше, чем для кривой 2.

При измененной геометрии узла электрораспыления в области существования мениска распыляемой жидкости получена зависимость тока распыленных частиц на коллекторе от диаметра отверстия в противоэлектроде при токе распыления положительных частиц на противоэлектрод 0.2 мкА, напряжении распыления $U_{\text{расп}} = 4$ кВ, напряжении на коллекторе относительно противоэлектрода 500 В. При этом длина коаксиальной насадки была увеличена в 2 раза по сравнению с исходной. Такая длина капилляра была обусловлена получением стабильного распыления без радикального изменения параметров распыления,

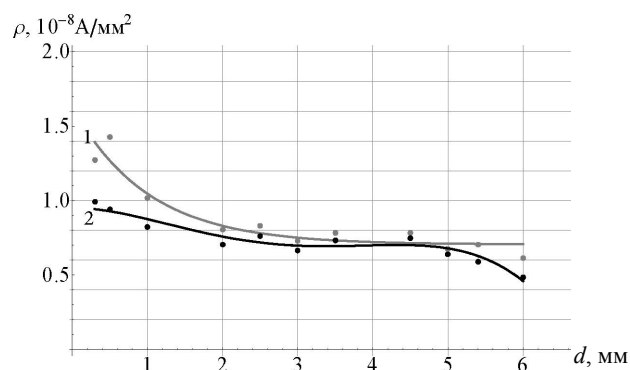


Рис. 6. Зависимости плотности тока ρ на коллекторе от диаметра d отверстия в противоэлектроде. Условия: $U_{\text{расп}} = 5$ кВ; кривая 1 — при $I_{\text{расп}} = 0.2$ мкА; кривая 2 — при $I_{\text{расп}} = 0.14$ мкА

кроме увеличения скорости откачки парогазовой смеси до 5.5 л/мин (исходная скорость откачки составляла 3 л/мин). Полученная зависимость практически совпадает с исходной зависимостью тока распыленных заряженных частиц на коллектор от диаметра отверстия в противоэлектроде (рис. 3). Из этого результата можно предположить, что структура факела заряженных частиц не зависит от длины металлического капилляра, выступающего из коаксиальной трубки, при использованных геометрических размерах узла электрораспыления в области мениска и с использованными параметрами распыления.

В процессе экспериментальных исследований факела заряженных частиц при стабильном электрораспылении проводился поиск параметров режима распыления с целью его оптимизации. Было получено, что при электрораспылении чистой воды в положительной моде (положительные заряженные частицы) распыление не происходит: при использованных параметрах распыления мениск имеет сферическую форму и над всей его поверхностью горит коронный разряд; а в отрицательной моде (отрицательные заряженные частицы) распыления, как такового, не происходит и не наблюдается коронного разряда. Зависимость тока на коллектор от диаметра отверстия в противоэлектроде по характеру аналогична ранее полученным, но величина тока на коллекторе при диаметре отверстия в противоэлектроде 6 мм в 5 раз больше измеренной в предыдущих экспериментах и составила $8 \cdot 10^{-7}$ А. Наличие коронного разряда над поверхностью воды в технической физике [9] и прикладной химии [10] довольно широко применяется.

При распылении раствора вода/ацетонитрил с добавлением муравьиной кислоты был получен режим распыления в отрицательной моде с зажиганием коронного (тлеющего) разряда на конической поверхности мениска распыляемой жидкости, при этом на противоэлектроде и коллекторной пластине появились микрокапли раствора.

ВЫВОДЫ

Из полученных экспериментальных данных, характеризующих факел заряженных частиц при электрораспылении с динамическим делением потока анализируемого раствора при нормальных условиях следует, что исследованный узел электрораспыления может быть перспективен в качестве источника ионов из раствора для ион-дрейфовых спектрометров и для масс-спектрометров. Для масс-спектрометров с источниками ионов при атмосферном давлении существует особенность извлечения ионов из поступающего в прибор газодинамического потока, на что полу-

ченные характеристики тока заряженных частиц почти не влияют, а определяющим для прибора является долговременная стабильность бескапельного электрораспыления. Для ион-дрейфовых спектрометров существенным, кроме долговременной стабильности электрораспыления, может оказаться влияние пространственного заряда распыленных частиц на качество ионных пакетов формируемых электрическим импульсом сеточно-го затвора Бредбери—Нильсена, находящегося на входе в дрейфовую трубку спектрометра.

Существование режима распыления с коронным разрядом на коническом мениске жидкости требует тщательного масс-спектрометрического изучения, т. к. может оказаться методически полезным при исследовании сложных биоорганических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самокиш В.А., Мурадымов М.З., Краснов Н.В. Электроспрей-источник ионов с динамическим делителем потока жидкости // Научное приборостроение. 2012. Т. 22, № 3. С. 5–12.
2. Samokish V.A., Muradymov M.Z., Krasnov N.V. Electro-spray ion source with a dynamic liquid flow splitter // Rapid Commun. mass-spectrometry. 2013. Vol. 27, no. 8. P. 904–908. doi: 10.1002/rcm.6524.
3. Арсеньев А.Н., Краснов Н.В., Мурадымов М.З. Исследования стабильности электрораспыления при динамическом делении потока жидкости // Масс-спектрометрия. 2014. Т. 11, № 1. С. 36–38.
4. Арсеньев А.Н., Мурадымов М.З., Краснов Н.В. Полевая десорбция ионов из острия на мениске жидкости при ЭГД-распылении // Научное приборостроение. 2014. Т. 24, № 3. С. 21–26.
5. Arseniev A.N., Muradymov M.Z., Krasnov N.V. Investigation of electrospray stability with dynamic liquid flow splitter // J. Analytical Chemistry. 2014. Vol. 69, no. 14. P. 30–32. (doi: 10.1134/S1061934814140020).
6. Арсеньев А.Н., Алексеев Д.Н., Бельченко Г.В. и др. Спектроскопия пептидов, белков и олигонуклеотидов из растворов методом ионной подвижности // Научное приборостроение. 2015. Т. 25, № 1. С. 17–26.
7. Корякин П.С., Краснов И.А., Мурадымов М.З., Краснов М.Н. Ион-дрейфовый спектрометр с электрораспылительным источником ионов как детектор жидкостного хроматографа // Научное приборостроение. 2015. Т. 25, № 2. С. 34–39.
8. Александров М.Л., Галль Л.Н., Вереников А.Н., Краснов Н.В., Шкуров В.А. Исследование механизма образования катионов в масс-спектрометрии ЭРИ АД // Научное приборостроение. 1991. Т. 1, № 2. С. 3–36.
9. Бычков В.А., Бычков Д.В., Вакулин Д.Н. и др. Исследования импульсного и коронного разрядов над поверхностью диэлектрических жидкостей // Тезисы докладов XXXVIII Международной (Звенигородская) конференции по физике плазмы и УГС. 14–18 февраля 2011 г.
10. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Кинетика окисления фенола под действием вспыхивающего коронного электрического разряда // Журнал прикладной химии. 2002. Т. 75, № 1. С. 86–89.

Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), Санкт-Петербург (Пашков О.В., Мурадымов М.З., Краснов Н.В.)

ООО "Грант Инструмент", Санкт-Петербург (Краснов М.Н.)

Контакты: Краснов Николай Васильевич,
krasnov@alpha-ms.com

Материал поступил в редакцию: 16.06.2015

FEATURES ELECTROSPRAY TORCH WITH DYNAMIC LIQUID FLOW SPLITTER AT ATMOSPHERIC PRESSURE

O. V. Pashkov¹, M. Z. Muradymov¹, N. V. Krasnov¹, M. N. Krasnov²

¹*Institute for Analytical Instrumentation of RAS, Saint-Petersburg, Russia*
²*St. Petersburg Ltd. "Grant Instrument", Russia*

The paper presents experimental data on the characteristics of an electrospray plume fluid dynamic division of the flow in the spray under normal conditions. The dependence of the current density of charged atomized particles in the transverse direction of spraying. Registered electrospray mode liquid with corona above the surface of the meniscus, a comparison of the characteristics of the current electrospray and corona without corona discharge. The possibility to control the amount of current sputtered particles are not electrical parameters.

From the experimental data that the node is examined electrospray may be promising as a source of ions from the solution for ion mobility — spectrometers and mass spectrometers. For mass spectrometers with electrospray ion source at atmospheric pressure is a decisive long-term stability non droplets electrospray. For the ion mobility — spectrometers essential but long-term stable electrospray, may affect the space charge of sputtered particles on the quality of the ion packets generated electric pulse grid Bradbury—Nielsen gate located at the entrance of a drift tube of the spectrometer.

The existence of a regime of spraying corona on a conical meniscus fluid requires careful study of mass spectrometry, as it may be methodologically useful for the study of complex bio-organic objects.

Keywords: electrospray, dynamic liquid flow splitter, corona discharge

REFERENCES

1. Samokish V.A., Muradymov M.Z., Krasnov N.V. [Electrospray ion source with a dynamic division of liquid flow]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Science Instrumentation], 2012, vol. 22, no. 3, pp. 5–12. (In Russ.).
2. Samokish V.A., Muradymov M.Z., Krasnov N.V. Electrospray ion source with a dynamic liquid flow splitter. *Rapid Commun. mass spectrometry*, 2013, vol. 27, no. 8, pp. 904–908. doi: 10.1002/rcm.6524.
3. Arsenyev A.N., Krasnov N.V., Muradymov M.Z. [Researches of stability of electrodispersion at dynamic division of a stream of liquid]. *Mass-spektrometriya* [Mass spectrometry], 2014, vol. 11, no. 1, pp. 36–38. (In Russ.).
4. Arsenyev A.N., Muradymov M.Z., Krasnov N.V. [Field desorption of ions from the tip to the meniscus of the liquid at the EHD-spraying]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Science Instrumentation], 2014, vol. 24, no. 3, pp. 3–8. (In Russ.).
5. Arseniev A.N., Muradymov M.Z., Krasnov N.V. Investigation of electrospray stability with dynamic liquid flow splitter. *J. Analytical Chemistry*, 2014, vol. 69, no. 14, pp. 30–32. doi: 10.1134/S1061934814140020.
6. Arsenyev A.N., Alekseev D.N., Belchenko G.V. et al. [Spectroscopy of peptides, proteins and oligonucleotides from solutions by ion mobility]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Science Instrumentation], 2015, vol. 25, no. 1, pp. 17–26. (In Russ.).
7. Koriakin P.S., Krasnov I.A., Muradymov M.Z., Krasnov M.N. [Ion mobility spectrometer with an electrospray ion source as detector liquid chromatography]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Science Instrumentation], 2015, vol. 25, no. 2, pp. 34–39. (In Russ.).
8. Aleksandrov M.L., Gall L.N., Verenchikov A.N., Krasnov N.V., Shkurov V.A. [Research of the mechanism of formation of cations in mass spectrometry of ERIAD]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Science Instrumentation], 1991, vol. 1, no. 2, pp. 3–36. (In Russ.).
9. Bychkov V.A., Bychkov D.V., Vakulin D.N. et al. [Researches of pulse and crown categories over a surface of dielectric liquids]. *Tezisy докладov XXXVIII Mezhdunarodnoy (Zvenigorodskaya) konferenzii po fizike plazmy i UGS* [Theses of reports of the XXXVIII International conferences on physics of plasma and UGS], Zvenigorod, 14–18 February 2011. (In Russ.).
10. Aristova N.A., Piskarev I.M. [Kinetics of oxidation of phenol under the influence of a flare crown electric discharge]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of applied chemistry], 2002, vol. 75, no. 1, pp. 86–89. (In Russ.).

Contacts: Krasnov Nikolay Vasil'evich,
 krasnov@alpha-ms.com

Article received in edition: 16.06.2015