

Осаждение электроаэрозольной струи в растительном слое

П.Л. Лекомцев, А.М. Ниязов, Е.В. Дресвянникова

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г.Ижевск

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы защиты растений электроаэрозолями химических препаратов. Раскрыты общие закономерности проникновения электроаэрозольной струи в растительный слой и осаждения капель электроаэрозоля на растительных элементах. Приведена оценка глубины проникновения электроаэрозольной струи в растительный слой и интенсивности осаждения электроаэрозоля на защищаемых растениях. Данная статья представляет интерес для широкого круга читателей, занимающихся вопросами электроаэрозольных обработок в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: электроаэрозоли, струйный поток электроаэрозолей, аэродинамика струйного потока, защита растений, растительный слой, заряд капель электроаэрозоля, гравитационное и электростатическое осаждение.

Интенсификация тепличного производства наряду с технологическими преимуществами создает ряд новых проблем, связанных с защитой растений от вредителей и болезней. Скудность растений на ограниченных территориях могут вызывать возникновение эпифитотий. Это вызывает ряд сложностей, связанных с постоянным проведением защитных мероприятий.

В настоящее время в качестве средств защиты используются разнообразные химические препараты, преимущественно, синтетические органические соединения – пестициды. Появились препараты практически безопасные для человека и полезные животным, обеспечивающие минимальное влияние на внешнюю среду и эффективно предотвращающих появление резистентных форм вредителей.

Для защиты растений пестициды использую в аэрозольной форме. При этом эффективность обработок зависит от глубины проникновения аэрозольной турбулентной струи в растительный слой и интенсивностью осаждения частиц аэрозоля на растительные элементы.

В отличие от традиционной обработки, зарядка аэрозоля позволяет выровнять осаждение препаратов на растительные элементы, уменьшает трудоемкость и, соответственно, время обработок, сокращает расход химических препаратов [1-3].

Обработка от опасных болезней, вредоносных насекомых или подкормка растений осуществляются различными методами: агротехническими, физическими, механическими, химическими или биологическими. Все методы имеют определенные показания и не являются совершенными.

Электроаэрозольную обработку растений можно отнести как к химическим приемам, так и к физическим. Но физическое воздействие от электроаэрозолей нельзя отметить как существенное, поскольку электромагнитное излучение небольшое и предназначено для более равномерного распределения аэрозоля в объеме растительного слоя. А вот химическое воздействие аэрозоля, состоящие из химического вещества в дисперсном состоянии смело можно отнести к качественной обработке растений. Размер частиц диктуется объемом обработки, глубиной, длительностью воздействия вещества на растение. Так норма распыления химического вещества в электроаэрозольном виде намного уменьшается по сравнению с опрыскиванием и может достигать снижения до 100 раз (с 500 л/га до 5 л/га) [2, 3]. При этом конечная цель применения вещества (опыливание, инсекция и т.д.) не изменяется. Есть возможность уменьшения размера частиц до 20 мкм, при этом эффективность применения химических препаратов значительно усиливается. Небольшой размер капли позволяет продлить «жизнь» капли и тем самым увеличивать время нахождения в объеме и на поверхностях в 5-20 раз по сравнению с крупными каплями. Химические препараты в мелких каплях намного опаснее и смертоноснее для насекомых. Суммарная площадь внешней поверхности капель аэрозоля малого диаметра с поверхностью больше по сравнению с опрыскиванием при одинаковом расходе вещества. В связи с этим эффективность обработки аэрозолем повышается.

Проникновение электроаэрозоля в растительный слой сопровождается сложными аэродинамическими явлениями. На структуру турбулентного потока аэрозольного облака воздействует плотность растительной массы, его структурный состав, размер неровностей поверхности листа растений,

температура и т.д. Процесс осаждения электроаэрозольных капель происходит под влиянием аэродинамической скорости потока, скорость осаждения зависит характера движения потока, конфигурации внешнего электрического поля, начальной концентрации электроаэрозоля, химической активности диспергируемого вещества, температуры окружающей среды. Причем на технологию обработки растительного объема оказывают большое влияние внешние факторы окружающей среды. Например, рост температуры в определенном промежутке вызовет усиление диффузии вещества в листовую ткань, а повышенная влажность воздуха способствует снижению скорости испарения капель попавших на поверхности листа. Также наблюдается зависимость от времени суток, количества солнечной радиации или интенсивности освещения. Стоит учитывать при обработке влияние радиометрических сил, влияние термофореза. Для заметного проявления термофореза необходимо, чтобы градиент температуры у поверхности листьев был велик и имел положительное значение. Сила термофореза возникает тогда, когда нагретая сторона частицы молекулы газа отлетает с более высокой скоростью, чем от менее нагретой стороны, и таким образом частица приобретает импульс ускорения в направлении понижения температуры [2,3].

Также замечено влияние возраста растения и времени суток на скорость осаждения электроаэрозоля. Связано это с обменными процессами в растениях. Это стоит учитывать при аэрозольной подкормке растений. Биодоступность микроэлементов, поступающих при аэрозольной подкормке через листья, может оказывать большое воздействие на заражение растений. Неметаболическое проникновение вещества через кутикулу является основным, но для этого аэрозоль должен быть осажден на поверхности листа. Микроэлементы транспортируемые аэрозолем могут быть поглощены листьями, и в дальнейшем могут переноситься в другие растительные ткани [3, 4].

При производстве работ по распылению электроаэрозоля на растения туманообразующие генераторы электроаэрозоля целесообразнее, для более качественной обработки необходимо размещать на удаленном расстоянии от растительного покрова. Это создаст первичную концентрацию электроаэрозоля, и заложит направление движения электроаэрозольной турбулентной струи на обрабатываемый объект [5, 6].

В процессе просачивания в растительную массу электроаэрозольной струи, концентрация электроаэрозольного тумана уменьшается по закону пропорционально глубине проникновения [7]

$$\frac{dn}{dx} = -k S x, \quad (1)$$

где k – коэффициент захвата капель аэрозоля; S – удельная площадь поверхности листьев, $\text{м}^2/\text{м}^3$; x – глубина проникновения электроаэрозоля в растительный слой, м.

Интегрируя (1) при начальных условиях $h = 0, n = n_{уст}$, получим

$$n = n_{уст} \exp(-k S x), \quad (2)$$

Коэффициент захвата k при инерционном движении частиц является функцией критерия Стокса [1].

$$Stk = \frac{2\rho v_e r^2}{9\eta_B x}, \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; v_e – скорость движения частицы в электрическом поле, м/с; r – радиус частицы аэрозоля, м; η_e – динамическая вязкость воздуха, $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$.

Скорость осаждения под действием электрического поля найдем по выражению [2]

$$v_e = \frac{Eq}{6\pi\eta_B r}, \quad (4)$$

где E – напряженность электрического поля, В/м; q – заряд частицы, Кл.

Радиус капель электроаэрозоля, полученных на механическом генераторе электроаэрозолей равен [2, 8]

$$r = 0,74 \left(\frac{Q_{ж} \alpha}{R^{3/2} \rho \omega^3 n r_1} \right)^{2/7}, \quad (5)$$

где $Q_{ж}$ – объемный расход жидкости, м³/с; α – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; R – радиус электроаэрозольного генератора, м; ω – угловая частота вращения диска, с⁻¹; n – количество перфорированных отверстий генератора; r_1 – радиус перфорированного отверстия, м;

Заряд капель электроаэрозоля можно найти по выражению [7]

$$q = \frac{2\pi^3}{3} \varepsilon_0 E r^2, \quad (6)$$

где ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м.

Коэффициент захвата рассчитан для ряда простых случаев, использующих простые геометрические тела. При моделировании листьев растений плоскими дисками для осаждения электроаэрозоля получена эмпирическая формула [9, 10]

$$k = \frac{Stk^3}{Stk^3 + 0,77Stk^2 + 0,22}, \quad (7)$$

По выражению (7) получены величины коэффициента захвата листьями капель электроаэрозоля (рис.1).

Как видно из рисунка 1 с повышением расхода жидкости генератора коэффициент захвата капель листьями растений увеличивается. Связано это с высокой начальной концентрацией электроаэрозоля, поступающего в растительный слой.

Коэффициент захвата капель электроаэрозоля существенно зависит от напряжения зарядки на генераторе. При использовании незаряженного аэрозоля, даже на больших расходах жидкости, коэффициент захвата не превышает 0,54, что может привести к большим потерям препарата при обработке растений. На высоких напряжениях зарядки от 2 до 3 кВ коэффициент захвата повышается до

0,9. Причем на этих напряжениях коэффициент захвата слабо зависит от расхода жидкости.

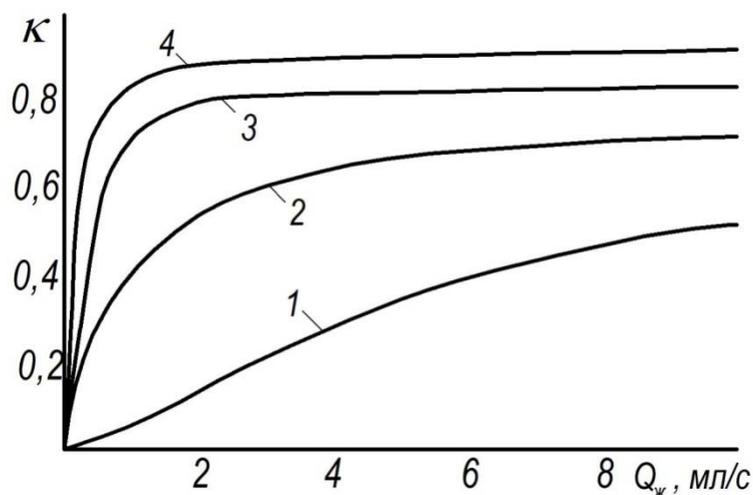


Рис.1 – Зависимости коэффициента захвата k от расхода жидкости $Q_{ж}$ при разном напряжении U .

1 – $U = 0$ кВ; 2 – $U = 1$ кВ; 3 – $U = 2$ кВ; 4 – $U = 3$ кВ.

Концентрация электроаэрозоля до проникновения в растительный слой зависит от параметров работы электроаэрозольного генератора и может быть записана в следующем виде [2]

$$\frac{dn}{dt} = an^2 + bn + c, \quad (8)$$

$$\text{где } a = -\frac{1}{6} \frac{q^2}{\epsilon_0 \pi \eta_b r}; \quad b = -\left(\frac{v_g}{h} + K\right); \quad c = \frac{Q_{ж}}{V_k \pi l^2 h}; \quad v_g = \frac{2g\rho r^2}{9\eta_b};$$

v_g – скорость гравитационная осаднения; h – высота помещения; K – кратность воздухообмена, s^{-1} ; V_k – объем капли, m^3 ; l – расстояние до электроаэрозольного генератора, м.

При наступлении равновесия между поступлением и осаднением электроаэрозоля имеем установившееся значение концентрации электроаэрозоля

$$n_{уст} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (9)$$

С учетом полученного значения, по выражению (9), построены зависимости концентрации электроаэрозоля при проникновении в растительный слой (рис. 2).

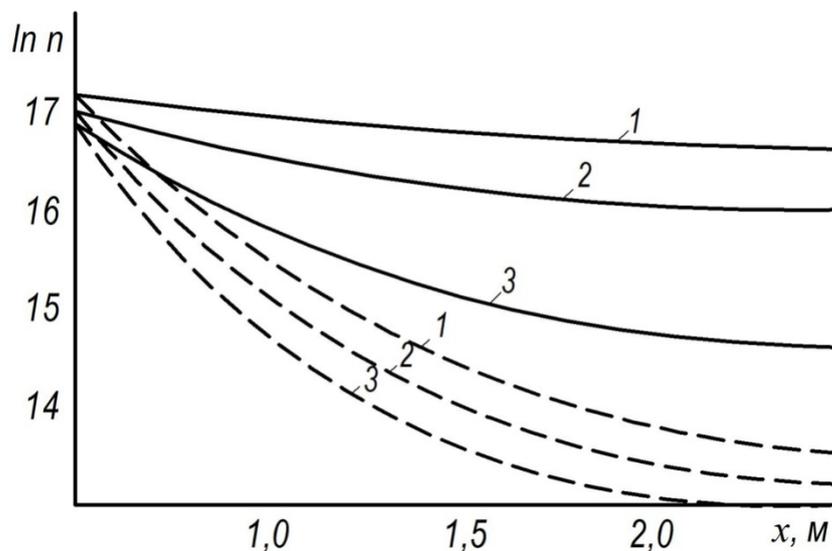


Рис. 2– Зависимости концентрации электроаэрозоля от глубины проникновения x при разных напряжениях U и расходах жидкости $Q_{жс}$.
— $U = 0$ кВ; - - $U = 3$ кВ. 1 – $Q_{жс} = 1,00$ мл/с; 2 – $Q_{жс} = 4,00$ мл/с; 3 – $Q_{жс} = 9,00$ мл/с.

Из рисунка видно, что с увеличением глубины проникновения концентрация электроаэрозоля уменьшается быстрее по сравнению с незаряженным аэрозолем. Это указывает на интенсивность осаждения заряженного аэрозоля на растения. Причем величина осаждения усиливается при повышении расхода жидкости и напряжения зарядки. При небольших напряжениях зарядки, электроаэрозоль проходит сквозь растительный слой, почти без осаждения.

Полученные результаты показывают, что равномерную обработку растительного слоя можно обеспечить при напряжениях зарядки не более 2 кВ. Более высокие напряжения зарядки приводят к осаждению электроаэрозоля на небольшой глубине проникновения, а незаряженный аэрозоль проходит растения практически без осаждения.

Таким образом, использование электроаэрозолей позволяет в широких пределах регулировать глубину проникновения электроаэрозоля и плотность его осаждения на растительных элементах, при этом существенно повышается эффективность обработок растений, уменьшаются потери препаратов.

Литература

1. Анкилов А.Н. Эффективность захвата аэрозольных частиц растительными элементами. Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1980. 13 с.
2. Лекомцев П.Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: монография. Ижевск, ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. 219 с.
3. Tarasov V. I., Veshchunov M. S. On the theory of bipolar charging of large aerosol particles // Aerosol science and technology. 2018. Vol.52. release 7. pp. 740-747.
4. Зинченко В.А. Химическая защита растений. Средства, технология и экологическая безопасность. М.: КолосС, 2005. 232 с.
5. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Пестицидные аэрозоли. М.: Наука, 1982. 288 с.
6. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. 351 с.
7. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. М.: Химия, 1984. 254 с.
8. Лебедев М.Н., Скальская И.П. Сила, действующая на проводящий шарик, помещенный в поле плоского конденсатора // ЖТФ. т. XXXII, вып.3. 1962. С. 375–377.

9. Лекомцев П.Л., Дресвянникова Е.В., Ниязов А.М. Расчет конвекционного тока механического электроаэрозольного генератора. // Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3366.
10. Lekomtsev P.L., Savushkin A.V., Dresviannikova E.V., Niyazov A.M. Study of aerosol charging in electro-aerosol generator // Journal of applied engineering sciences. 2017. Vol 7(20). pp. 69-77.

References

1. Ankilov A.N. Novosibirsk: ITPM SO AN SSSR, 1980. 13 p.
2. Lekomcev P.L. Jelektroajerozol'nye tehnologii v sel'skom hozjajstve [Electroaerosol technology in agriculture]: Monografija. Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2006. 219 p.
3. Tarasov V. I., Veshchunov M. S. Aerosol science and technology. 2018. Vol.52. release 7. 740-747 pp.
4. Zinchenko V.A. Khimicheskaya zashchita rasteniy. Sredstva, tekhnologiya i ekologicheskaya bezopasnost'. [Chemical plant protection. Facilities, technology and environmental safety] M.: KolosS, 2005. 232 s.
5. Dunskiy V.F., Nikitin N.V., Sokolov M.S. Pestitsidnye aerrozoli [Pesticide sprays]. M.: Nauka, 1982. 288 p.
6. Fuks N.A. Mekhanika aerrozoley. [Mechanics of aerosols] M.: Izd-vo akademii nauk SSSR, 1955. 351 p.
7. Pazhi D.G., Galustov V.S. Osnovy tekhniki raspylivaniya zhidkostey. [Fundamentals of liquid atomization techniques] M.: Khimiya, 1984. 254 p.
8. Lebedev M.N., Skal'skaya I.P. ZhTF. t. XXXII, vyp.3. 1962. 375–377 pp.



9. Lekomcev P.L., Dresvjannikova E.V., Nijazov A.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3366.
10. Lekomtsev P.L., Savushkin A.V., Dresviannikova E.V., Niyazov A.M. Journal of applied engineering sciences. 2017. Vol 7(20). pp.69-77.