

УДК 631.348.45

Способ и пневматическое устройство для снижения коагуляции капель в факелах распыла жидкости при защите растений**Method and pneumatic device for reduction of coalescence of drops in spray cones of liquid in plant protection****И. М. КИРЕЕВ, д-р техн. наук
З. М. КОВАЛЬ, канд. техн. наук****Новокубанский филиал Российского научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, Новокубанск, Россия, zinakoval@mail.ru****I. M. KIREEV, DSc in Engineering
Z. M. KOVAL', PhD in Engineering****Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, Novokubansk branch, Novokubansk, Russia, zinakoval@mail.ru**

Для снижения коагуляционной активности капель в щелевых факелах распыла рабочей жидкости предложен способ их инжектирования воздушной струей пневматического устройства с последующим транспортированием воздушно-капельной системы к растениям. О снижении коагуляции капель свидетельствуют сравнительные данные о густоте покрытия учетных карточек при применении разработанного и традиционного способов. При разработанном способе опрыскивание производится пневмогидравлическими устройствами при средней скорости движения агрегата 19 км/ч. При этом происходит увеличение количества мелких и средних капель, диаметры следов которых составляют от 0 до 150 мкм и от 150 до 300 мкм, и уменьшение количества капель размером более 300 мкм. При средней скорости движения агрегата в опытах 15,5 км/ч и ширине захвата одним пневмогидравлическим устройством 300 см расход рабочего раствора составил 16,26 кубического дециметра на 1 га. При традиционном варианте расположения распылителей на штанге опрыскивателя через 50 см и скорости движения агрегата 14,8 км/ч расход рабочего раствора составил 51,1 кубического дециметра на 1 га, что в 3,14 раза больше, чем при разработанном варианте. Преимущество нового способа нанесения капель на объекты обработки состоит в том, что внешняя часть воздушной струи, выходящей из сопла пневмогидравлического устройства, препятствует уносу капель во внешнюю среду. Результаты исследований и лабораторных испытаний могут служить основанием для дальнейшего изучения и практического использования экономичных, экологических и высокопроизводительных технологий применения пестицидов в растениеводстве.

Ключевые слова: коагуляция; капли; распылитель; факел распыла жидкости.

To reduce the coalescence activity of drops in the slot spray cones of working fluid, a method of injecting of air jet by pneumatic device with subsequent transporting of air-and-drop flow to the plants is proposed. Reducing of coalescence of drops is proved by comparative data on the density of the covering of record cards using the developed method and traditional one. In case of the developed method, the spraying is carried out by means of pneumohydraulic devices at average unit speed of 19 km/h. In this case, the number of small and medium drops with trace diameters from 0 to 150 micrometers is increased, and the number of drops larger than 300 micrometers is decreased. With the average unit speed of 15.5 km/h and operating width of single pneumohydraulic device of 300 cm, the spray material consumption is 16.26 cubic decimeters on 1 hectare. In the traditional version of arrangement of sprayers on the boom at a pitch of 50 cm and motion speed of tractor unit of 14.8 km/h, the spray material consumption is 51.1 cubic decimeters on 1 hectare, which is by 3.14 times more than in case of the developed method. The advantage of the developed method of drops application on the treatment objects lies in the fact that the outer part of air jet emerging from the nozzle of pneumohydraulic device prevents the entrainment of drops into the environment. The results of these studies and laboratory tests are the basis for further research and practical application of economical, eco-friendly and high-performance technologies of use of pesticides in crop production.

Keywords: coalescence; drops; sprayer; spray cone of liquid.

Введение

Основной способ защиты растений от вредителей, болезней и сорняков — опрыскивание растворами пестицидов. На практике оно осуществляется в основном штанговыми опрыскивателями с применением щелевых распылителей жид-

кости. Это обусловлено тем, что гидравлическое распыление жидкости самое экономичное — при распыливании 1 т жидкости затрачивается от 2 до 4 кВт [1]. Эта технология получила широкое распространение благодаря сравнительной простоте.

Для равномерности распределения жидкости по ширине захвата и исключения сноса капель в окружающую среду необходимо соблюдение следующих условий:

— высота расположения распылителей над объектом обработки не более 0,5 м;

— расстояние между распылителями на штанге 0,5 м;

— скорость передвижения опрыскивателя не более 3,33 м/с (12 км/ч);

— расход рабочей жидкости 200—250 дм³/га.

При таких условиях функционирования штанговых опрыскивателей большая концентрация создаваемых полидисперсных капель в начальной области факелов распыляемой жидкости приводит к их коагуляции (слиянию аэрозольных частиц при соприкосновении друг с другом). Это основная причина неэффективного применения крупнодисперсного аэрозоля, капли которого скатываются с листьев растений на почву, загрязняя ее пестицидами [2, 3].

Коагуляция аэрозолей при перемешивании в турбулентном потоке изучена недостаточно [4] и применительно к факелам щелевых распылителей в составе опрыскивателя не изучалась.

Цель исследования

Цель исследования — изучение закономерностей, обуславливающих коагуляцию капель в факелах распыляемой жидкости.

Материалы и методы

После дробления жидкости при выходе из сопла распылителя капли взаимодействуют с окружающим воздухом, который может существенно деформировать их или полностью разрушать [4]. На это взаимодействие накладывает нестационарность режима движения капель: они могут тормозиться или ускоряться потоком воздуха. В связи с тем, что первоначальный распыл полидисперсен, на некотором расстоянии от распылителя скорость капель различных размеров может существенно различаться, что служит причиной их взаимных столкновений. Этому может способствовать также пересечение траекторий движения частиц, обусловленное одновременной работой нескольких близко установленных распылителей. Мелкие капли при сближении с более крупными могут сталкиваться с ними или огибать их, попадая в поля их обтекания воздухом.

Образующаяся при диспергировании жидкости двухфазная система

по мере дальнейшего развития и движения претерпевает существенные изменения. В результате взаимодействия с окружающим воздухом капли в факеле затормаживаются или ускоряются, происходит эжекция воздуха в полость факела, изменяется траектория движения капель и т.д. [1].

Явление коагуляции наблюдается в различных физических ситуациях: в растворах — броуновская коагуляция, при образовании капель дождя — гравитационная, коагуляция капель распыленного топлива за форсунками в камерах сгорания — турбулентная [5]. Количественная теория кинетики коагуляции изложена во многих работах [4, 6, 7].

В факелах распыла жидкости за форсункой основной механизм, вызывающий увеличение размеров капель, — турбулентная коагуляция, при которой относительные скорости между частицами вызываются турбулентным ускорением и напряжением трения [5]. Характер увеличения размеров капель по времени (расстоянию) зависит от их начального размера. Наибольший рост капель в этом случае наблюдается в начальный момент коагуляции.

Из-за инертности среды системы с газообразной дисперсной средой, в частности аэрозоли, отличаются крайней агрегативной неустойчивостью [7]. Эти системы обладают лишь кинетической устойчивостью и поэтому не могут существовать при больших концентрациях. Число частиц в 1 см³ аэрозоля редко превышает 10⁷.

Сохранение первоначальной концентрации, создаваемой распылителем, обуславливает содержание частиц в единице объема, не превышающее определенное число. Критическое расстояние, на котором происходит взаимодействие между частицами, принято приблизительно равным сумме радиусов частиц, что соответствует их непосредственному контакту [7].

Частицы при турбулентном движении коагулируют из-за турбулентных пульсаций. В турбулентном потоке газа механизм ускорения достигает наибольшего эффекта. Коагуляция осуществляется в нем именно в связи с различием в плотностях газового потока и частиц аэрозоля.

Скорости движения частиц в полидисперсных системах существенно различаются, так как зависят от массы. Различие в скоростях приводит к встрече частиц, сопровождающейся их коагуляцией. Для полидисперсных систем скорость коагуляции в значительной степени определяется скоростью газового потока. При турбулентном движении особенно сильно искажаются линии тока мелких частиц, движущихся мимо крупных, поэтому каждая встреча частиц, рассчитанная для прямолинейных траекторий, приводит к коагуляции. При относительном движении частиц разных размеров происходит кинематическая коагуляция, которая возникает под воздействием разных сил и при разных скоростях.

При образовании аэрозольных частиц в процессе диспергирования жидкости существует также балло-электрический эффект, связанный с разрывом двойного электрического слоя и неравномерным распределением зарядов на дочерних каплях. Крупные и мелкие капли при разрыве приобретают заряды разных знаков. При наличии противоположно заряженных частиц аэрозоля коагуляция ускоряется [8].

Результаты и их обсуждение

Для снижения коагуляционной активности капель в щелевых факелах распыла рабочей жидкости предложен способ их инжектирования воздушной струей с последующим транспортированием воздушно-капельной системы к растениям [9, 10]. Общий вид пневмогидравлического устройства и процесс инжектирования капель показаны на рис. 1.

При лабораторных исследованиях снижение коагуляции капель оценивалось по сравнительным показателям их нанесения на предметные карточки традиционным и разработанным способами.

Результаты снижения коагуляционной активности капель в щелевых факелах распыла рабочей жидкости проиллюстрированы сравнительными показателями, приведенными на рис. 2 и в таблице.

На рис. 2, а графически представлено усредненное трехкратной

повторностью распределение густоты покрытия, капель/ 10^{-4} м^2 , по ширине захвата опрыскивателя с типом сопла LU-02 AD-02 (код цвета желтый), полученное при традиционном способе опрыскивания и средней скорости движения агрегата 5,22 м/с (18,8 км/ч).

Полиномиальные ряды 1, 2, 3 на рис. 2 представляют данные суммарного распределения накопленного на карточках количества капель, капель/ 10^{-4} м^2 , и включают диапазоны капель соответственно от 0 до 150 мкм, от 150 до 300 мкм, 300 мкм и более [11].

Приведенные на рис. 2, а данные свидетельствуют о том, что количество крупных капель (300 мкм и более) на единицу обрабатываемой площади примерно в 2,5 раза больше, чем суммарное количество капель размером от 0 до 150 мкм и от 150 до 300 мкм.

На рис. 2, б графически представлено усредненное трехкратной повторностью распределение густоты покрытия, капель/ 10^{-4} м^2 , по ширине захвата пневмогидравлических устройств при их оснащении соплами LU-02 AD-02 (код цвета желтый) и средней скорости движения агрегата 5,3 м/с (19 км/ч).

Приведенные на рис. 2, б графические данные о распределении густоты покрытия свидетельствуют о незначительном, но увеличении количества мелких и средних капель, диаметры следов которых составляют от 0 до 150 мкм и от 150 до 300 мкм, и об уменьшении количества капель размером более 300 мкм.

Отметим, что при разработанном способе опрыскивания количество капель размером более 300 мкм примерно в 1,5 раза меньше, чем при традиционном способе.

Значения показателей стандартного отклонения и коэффициента вариации следов капель подкрашенной жидкости на предметных карточках при лабораторных испытаниях разработанного и традиционного способов опрыскивания для двух скоростей движения опрыскивателя приведены в таблице.

При средней скорости движения машинно-тракторного агрегата в опытах 4,31 м/с (15,5 км/ч), производительности двух насадок в пневмогидравлическом устройстве

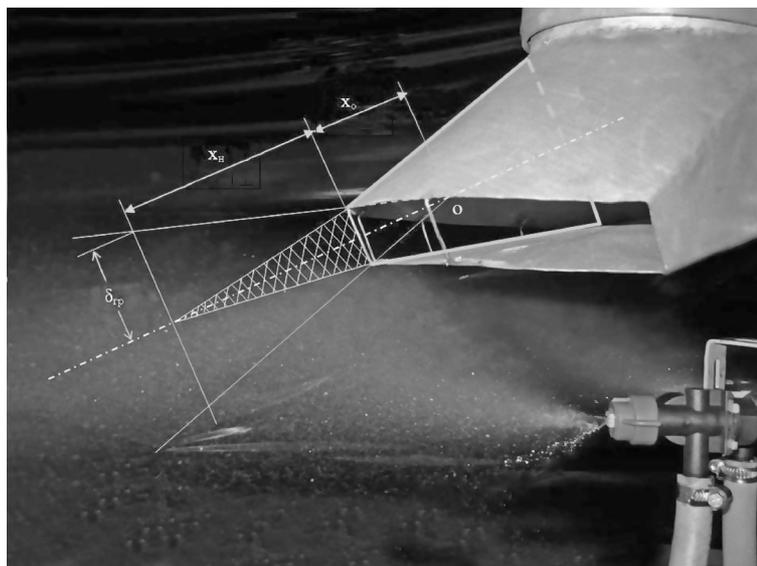


Рис. 1. Общий вид пневмогидравлического устройства и процесс инжектирования капель воздушной струей:

О — полюс струи; x_n — начальный участок воздушной струи; x_0 — расстояние от начального сечения до полюса струи; $\delta_{гр}$ — половина высоты струи на расстоянии x от начального сечения

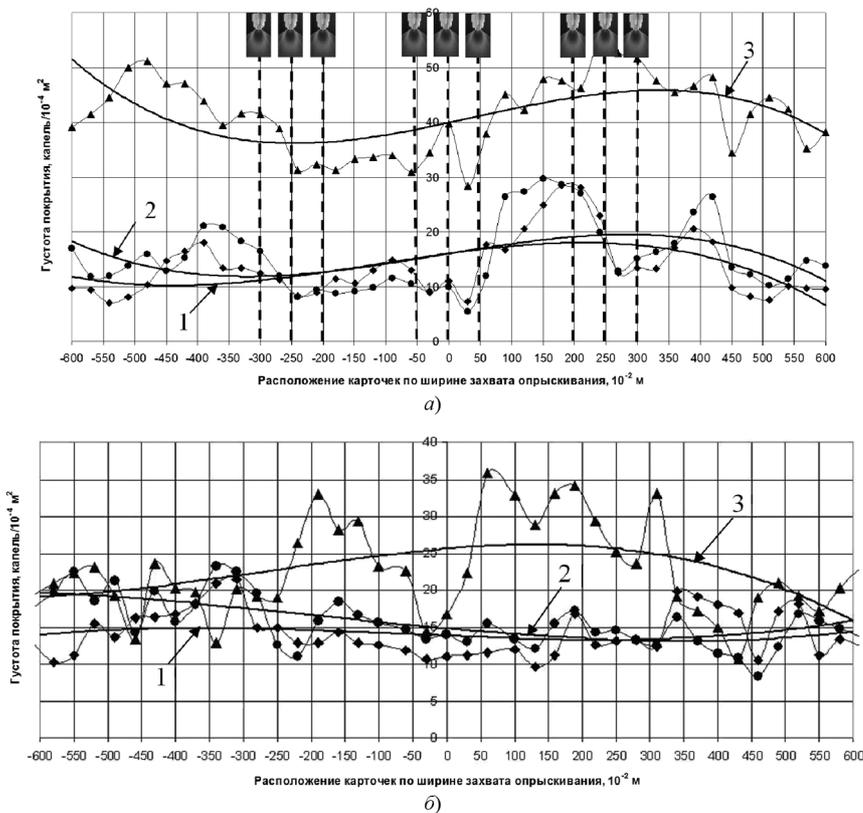


Рис. 2. Распределение густоты покрытия капель на карточках, капель/ 10^{-4} м^2 , по ширине захвата опрыскивателя, усредненное трехкратной повторностью:

а — при традиционном способе и средней скорости движения агрегата 5,22 м/с (18,8 км/ч); б — при опрыскивании пневмогидравлическими устройствами и средней скорости движения агрегата 5,3 м/с (19 км/ч)

◆ — капели от 0 до 150 мкм; ■ — капели 150 до 300 мкм; ▲ — капели 300 мкм и более;

1, 2, 3 — полиномиальные ряды

Значения показателей стандартного отклонения и коэффициента вариации при лабораторных испытаниях разработанного способа опрыскивания в сравнении с традиционным

Статистические характеристики выборки	Диаметр следов капель, мкм		
	От 0 до 150	От 150 до 300	Более 300
Традиционный способ опрыскивания			
При средней скорости движения агрегата 4,11 м/с (14,8 км/ч)			
Стандартное отклонение	4,14	3,86	5,33
Коэффициент вариации, %	34,18	36,08	18,15
При средней скорости движения агрегата 5,22 м/с (18,8 км/ч)			
Стандартное отклонение	6,06	5,66	8,9
Коэффициент вариации, %	44,89	43,84	22,18
Разработанный способ опрыскивания			
При средней скорости движения агрегата 4,31 м/с (15,5 км/ч)			
Стандартное отклонение	2,46	3,7	7,8
Коэффициент вариации, %	21,97	27,57	29,23
При средней скорости движения агрегата 5,3 м/с (19 км/ч)			
Стандартное отклонение	3,08	3,37	6,22
Коэффициент вариации, %	21,69	21,59	27,51

1,26 дм³/мин, создаваемом давлении жидкости 0,2 МПа и ширине захвата одним пневмогидравлическим устройством 300 см расход рабочего раствора составил 16,26 дм³/га. При традиционном варианте расположения распылителей на штанге опрыскивателя через 50 см, скорости движения агрегата 4,11 м/с (14,8 км/ч) и производительности насадки 0,63 дм³/мин расход рабочего раствора составил 51,1 дм³/га, что в 3,14 раза больше, чем в разработанном варианте.

Выводы

1. Разработанный способ снижения коагуляции капель и их последующего транспортирования на объекты обработки с применением пневмогидравлических устройств в штанговом опрыскивателе с воздушным рукавом удовлетворяет требованиям международного стандарта по плотности покрытия ($N = 20...30$ капель/см²) [11].

2. Преимущество разработанного способа нанесения капель на объекты обработки состоит и в том, что внешняя часть воздушной струи, выходящей из сопла пневмогидравлического устройства, препятствует уносу капель во внешнюю среду [12].

3. Результаты проведенных исследований и лабораторных испы-

таний могут служить основанием для дальнейшего изучения и практического применения экономичных, экологичных и высокопроизводительных технологий применения пестицидов в растениеводстве с целью защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

Литература и источники

1. Паж Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. М.: Химия, 1984. 216 с.
2. Мельников Н. Н. Современная ситуация с применением пестицидов // Химическая промышленность. 1994, № 2. С. 14—18.
3. ГН 1.2.2701—13. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень). М.: Минздрав России, 2013.
4. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 353 с.
5. Свириденков А. А., Третьяков В. В. Влияние коагуляции капель на характеристики факела распыливания за форсунками // Вестник СГАУ. 2009, № 3, ч. 2. С. 157—161.
6. Шелудко А. Н. Коллоидная химия. М.: Издательство, 1960. 332 с.
7. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учеб. для вузов. М.: Химия, 1982. 400 с.
8. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1984. 368 с.
9. Коваль З. М. Инжектирование капель факелов распыла жидкости воздуш-

ной струей для транспортирования пестицидов к растениям // Евразийский союз ученых. 2015, № 4 (13). С. 58—63.

10. Киреев И. М., Коваль З. М. Пневмогидравлический распылитель растворов пестицидов. Патент РФ на полезную модель № 138902, 2014.

11. ГОСТ Р 53053—2008. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2009. 41 с.

12. Коваль З. М. Исследование ресурсосберегающего способа опрыскивания растений пневмогидравлическими устройствами // Техника и оборудование для села. 2015, № 4. С. 26—29.

References

1. Pazhi D. G., Galustov V. S. *Osnovy tekhniki raspylivaniya zhidkostey* [Basic techniques of spraying of liquids]. Moscow, Khimiya Publ., 1984, 216 p.
2. Mel'nikov N. N. Current situation in the application of pesticides. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 1994, no. 2, pp. 14—18 (in Russ.).
3. GN 1.2.2701—13. Hygienic standards of pesticides content in the environmental objects (the list). Moscow, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 2013.
4. Fuks N. A. *Mekhanika aerorozoley* [Mechanics of aerosols]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1955, 353 p.
5. Sviridenkov A. A., Tret'yakov V. V. Influence of coalescence of drops on the characteristics of spray cone behind the nozzles. *Vestnik SGAU*, 2009, no. 3, part 2, pp. 157—161 (in Russ.).
6. Sheludko A. N. *Kolloidnaya khimiya* [Colloid chemistry]. Moscow, Izdatinlit Publ., 1960, 332 p.
7. Frolov Yu. G. *Kurs kolloidnoy khimii. Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy* [Course of colloid chemistry. Surface phenomena and disperse systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1982, 400 p.
8. Fridrikhsberg D. A. *Kurs kolloidnoy khimii* [Course of colloid chemistry]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984, 368 p.
9. Koval' Z. M. Injection of drops of liquid spray cones with air jet for transportation of pesticides to the plants. *Evraziyskiy soyuz uchenykh*, 2015, no. 4 (13), pp. 58—63 (in Russ.).
10. Kireev I. M., Koval' Z. M. *Pnevmo gidravlicheskiy raspylitel' rastvorov pestitsidov* [Pneumohydraulic sprayer of pesticides solutions]. RF utility model no. 138902, 2014.
11. GOST R 53053—2008. Machinery for crop protection. Spraying equipment. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2009, 41 p.
12. Koval' Z. M. Study of resource-saving method of plants spraying by pneumohydraulic devices. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2015, no. 4, pp. 26—29 (in Russ.).