

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

Отделение защиты и биотехнологии растений
Отделение механизации, электрификации и автоматизации
Всероссийский НИИ фитопатологии

**Ю.М. Веретенников, В.И. Долженко, И.В. Горбачев,
М.С. Соколов, Ю.Я. Спиридонов, С.С. Санин, А.В. Овсянкина,
Ю.Х. Шогенов, С.С. Ладан, В.Г. Селиванов, Л.А. Марченко,
В.И. Ягодкин, В.Г. Островский, И.Я. Паремский**

Монодисперсные Техногенные Аэрозоли

Материалы к симпозиуму по научно-технической проблеме:
***«Создание и внедрение монодисперсных технологий сжигания
жидких углеводородов и внесения пестицидов взамен
полидисперсных»***

(5 сентября 2013 г.)

Московская область
Большие Вязёмы
2013

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

Отделение защиты и биотехнологии растений
Отделение механизации, электрификации и автоматизации
Всероссийский НИИ фитопатологии

Монодисперсные техногенные аэрозоли

Ю.М. Веретенников, В.И. Долженко, И.В. Горбачев, М.С. Соколов,
Ю.Я. Спиридонов, С.С. Санин, А.В. Овсянкина, Ю.Х. Шогенов,
С.С. Ладан, В.Г. Селиванов, Л.А. Марченко, В.И. Ягодкин,
В.Г. Островский, И.Я.Паремский

Научный редактор: академик Россельхозакадемии В.И. Долженко

Работа выполнена во исполнение плана фундаментальных и приоритетных прикладных исследований Россельхозакадемии по научному обеспечению развития АПК Российской Федерации на 2011-2015 годы по направлению ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ, задание 0.5: «Разработать стратегию фитосанитарной оптимизации агроэкологических систем фитосанитарного мониторинга и прогнозирования, новых биологических и химических средств защиты растений, инновационных технологий в интегрированной защите сельскохозяйственных культур в условиях интенсификации растениеводства и ресурсосбережения.

Выходная продукция плана, наименование научной продукции

Ресурсосберегающие технологии внесения средств защиты растений, включающие монодисперсное распределение (2014г.)

Задание 05.04.02

Разработать современный ассортимент средств защиты растений с включением препаратов нового поколения, отвечающих требованиям эколого-ресурсосбережения и технологии их внесения на основе монодисперсного распыления в традиционных системах точного земледелия.

Посвящается 100-летию со дня рождения

Виктора Фёдоровича ДУНСКОГО
(1913-2013г.г.)

Профессор Виктор Фёдорович Дунский – основоположник нового научно-технического направления развития: монодисперсные техногенные аэрозоли...

В.Ф. Дунский родился 15 декабря 1913 года в Литве в семье дипломата. Среднее образование получил в Англии и Германии. В 1937г. окончил МВТУ им. Баумана. Участник Великой Отечественной войны (1941-1945гг.). В 1950г. по окончании аспирантуры в Центральном институте авиационного машиностроения (ЦИАМ), получил учёную степень кандидата технических наук. В 1955 году, после увольнения из ЦИАМ, работал научным сотрудником Московской областной станции ВИЗР (МосСТАЗР), реорганизованной в 1958г. во ВНИИфитопатологии (ВНИИФ).

Более 40 лет трудовая деятельность В.Ф. Дунского была связана с ВНИИФ. Здесь он работал со дня основания института, вначале - старшим научным сотрудником, затем в 1961-1978гг. – заведующим лабораторией сельскохозяйственных аэрозолей, а с 1978г. по 1991г. её научным консультантом. В 1963г. В.Ф. Дунский защитил докторскую диссертацию и ему была присуждена учёная степень доктора технических наук.

Дунский В.Ф. – ведущий учёный в сфере пестицидных и микробиологических аэрозолей и механизации защиты растений, хорошо был известен в СССР и за пределами страны. Им теоретически разработаны, а его школой экспериментально обоснованы проблемные вопросы генерации аэрозолей (монодисперсных, высокодисперсных, грубодисперсных, униполярно заряжённых), их распространения от плоскостного и линейного источников в приземной атмосфере и в закрытых помещениях, исследовано распространение и испарение воздушно-капельных турбулентных струй и их проникновение через полупроницаемые препятствия. Тем самым, им внесён весомый вклад в теорию и практику технологий химической и биологической защиты растений.

В.Ф. Дунский – автор 170 научных трудов, в числе которых монографии «Монодисперсные аэрозоли» и «Пестицидные аэрозоли», принесшие ему широкую известность как в нашей стране, так и за рубежом. У В.Ф. Дунского много учеников и последователей, под его руководством защищено 10 кандидатских диссертаций. Разработанные им 30 оригинальных технических решений (в области механизации защиты растений) защищены авторскими свидетельствами СССР.

Его трудолюбие, интеллигентность, высокая культура, человеческое обаяние, скромность, высокий профессионализм снискали ему всеобщее уважение в отечественных и зарубежных научных трудах.

Скончался В.Ф. Дунский 30 октября 1993 г. на 79 году жизни. В памяти коллектива института и всех знавших Виктора Фёдоровича он до конца жизни оставался полным новых идей, умным доброжелательным человеком, интеллигентным и широко образованным учёным – **первооткрывателем монодисперсных техногенных аэрозолей.**

ЧАСТЬ I

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И АГРОХИМИКАТОВ В МОНОДИСПЕРСНОМ СОСТОЯНИИ

Создание конструкций распылительной техники с регулируемыми (близкими к монодисперсным) характеристиками капельных потоков и корректных средств их измерения – основа для разработки прорывных, экологически рациональных ресурсоэнергосберегающих технологий в АПК. Они найдут применение в защите растений, внесении регуляторов роста, препаратов для некорневой подкормки растений. Использование монодисперсных опрыскивателей, обеспечивающих управление параметрами распыления рабочих растворов агрохимикатов, оптико-электронных и лазерных методов «неразрушающего контроля» дисперсной фазы аэрозолей пестицидов открывает реальную возможность снизить экотоксикантную нагрузку на агроценозы, среду обитания человека и существенно сократить удельный расход агрохимикатов.

Ключевые слова: *аэрозоли, ресурсосбережение, распыливающие устройства, пестициды, агрохимикаты, дисперсные жидкостные системы, степень диспергирования, монодисперсные технологии.*

ВВЕДЕНИЕ

Физика промышленных аэрозолей среди естественных наук пока не имеет своего самостоятельного статуса. Ее элементы рассматривают соответствующие разделы механики, термодинамики, статистической физики, гидродинамики и электродинамики, оптики, теплофизики, молекулярной физики, кинетической теории газов. Согласно энциклопедическому определению [1] «аэрозоли – это дисперсные системы, состоящие из жидких или твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газовой среде (обычно в воздухе), например, дымы, туманы, пыли, смог». В виде аэрозолей применяют пестициды и регуляторы роста растений, сжигают моторное топливо, используют лекарства, продукты бытовой химии, парфюмерные изделия и др.

Таким образом, под понятие «аэрозоли» подпадают все классы частиц (капель жидкости), находящиеся «во взвешенном состоянии»: от природных аэрозолей (пыли, дымы и туманы) с размерами частиц от $>0,1$ мкм до техногенных, с размерами капель рабочих растворов пестицидов до 2000 мкм. Отсутствие самостоятельного научно-технического направления «Физика аэрозолей для промышленности и сельского хозяйства», – науки о теоретических закономерностях, правилах, методах расчета и управления промышленными аэрозолями, – привело к тому, что внесение пестицидов до сих пор характеризуется непродуктивно большим разбросом капель по их физическим размерам в дисперсионных (дисперсионноспособных) жидкостных

системах (ДЖС). Следствие этого – низкие коэффициенты полезного действия (КПД) при использовании технологического продукта. Поэтому, очевидно, пестициды практически повсеместно рассматриваются в числе главных управляемых поллютантов, причиняющих вред нецелевой биоте.

Еще в 1964 г. Х.Грин и В.Лейн [2] сформулировали ключевую (но до сих пор нерешенную!) проблему, характеризующую состояние пока еще не состоявшейся фундаментальной науки – «Физики промышленных аэрозолей». Эти авторы, в частности, констатировали: «Процесс распыления жидкостей интенсивно исследовался в связи с конструированием и эксплуатацией форсунок, широко используемых в промышленности, однако физические его основы еще не вполне выяснены и механизм распыления еще не поддается количественному теоретическому анализу. Это прискорбно, поскольку точное знание физики распыления имело бы не только научное, но и практическое значение, так как определило бы пути дальнейшего применения аэрозолей в промышленности, медицине и сельском хозяйстве». К большому сожалению, на фоне известных научно-технических открытий и технологических достижений практически все существующие в мире технологии генерирования, измерения и применения промышленных аэрозолей всё ещё остаются на уровне 60-х годов XX века.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время фитосанитарные мероприятия в России ежегодно реализуются на площади в ~ 70 млн. гектаров (потребность – 90-100 млн. га). В соответствии с Концепцией Федеральной целевой программы (ФЦП) определяющим условием обеспечения биологической и химической безопасности АПК должно стать материально-техническое перевооружение и укрепление ветеринарной и фитосанитарной служб России [3]. На них возложены своевременное предупреждение, оперативная локализация и ликвидация очагов биологической и химической опасности. Существенным вкладом в это перевооружение могло бы стать обеспечение этих служб, а также всех заинтересованных землепользователей прецизионными отечественными высокопроизводительными опрыскивателями, обеспечивающими регулирование ДЖС в заданном диапазоне (такими, например, как разработанные в постсоветское время близкие к монодисперсным ОСК-200 и ОМОН-601). Подобные аппараты при малообъемном (20-50 л/га) и ультрамалообъемном опрыскивании (УМО, 5-15 л/га) не только высокопроизводительны, но, что самое главное, обеспечивают диспергирование рабочего раствора пестицида на капли практически одинакового регулируемого размера (в диапазоне 100÷1000 мкм).

В настоящее время в России при проведении химзащитных работ используются полидисперсные опрыскиватели (импортные и морально устаревшие отечественные), обеспечивающие регулирование лишь среднего размера капель ($d_{ср.}$) [4]. Образуемые при этом мелкие капли ($\leq 150-100$ мкм)

сносятся за пределы обрабатываемого поля или испаряются, токсичируя людей и нецелевую биоту, а крупные капли (>300 мкм) – скатываются с растений, загрязняя почву. В то же время, как свидетельствуют наши многолетние эксперименты, монодисперсные малообъемные и УМО опрыскиватели значительно повышают эффективность фитосанитарных мероприятий [5-7]. Однако из-за отсутствия (применительно к конкретным сельскохозяйственным культурам) базовых критериев монодисперсного опрыскивания (да и самих опрыскивателей!) расход пестицидов, рассчитанный на технологические потери и конструктивное несовершенство опрыскивающей техники, завышается (по меньшей мере, на 20-30% [6]).

При технологии монодисперсного опрыскивания эффективность воздействия пестицида на целевые объекты будет в значительно большей степени зависеть от коэффициента захвата мишенью (растением или иным целевым объектом) капель рабочего раствора пестицида, чем от его дозы. Коэффициент захвата означает долю капель ДЖС, удерживаемых растением – сорным (в случае гербицидов) или культурным (применительно к фунгицидам, регуляторам роста, удобрениям), а также вредным членистоногим (применительно к контактным инсектоакарицидам). Наличие серийных монодисперсных малообъемных и УМО опрыскивателей позволило бы нормативно узаконить оптимизированные (по степени диспергирования) базовые критерии опрыскивания – коэффициенты монодисперсности, концентрацию и поверхностное натяжение рабочего раствора, краевой угол смачивания целевого объекта, плотность и степень покрытия, коэффициенты захвата капель, коэффициенты вариации (характеризующие неравномерность осаждения пестицида по ширине обрабатываемой полосы посева) и др. [5].

ГЛАВНЫЙ ИТОГ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ – РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Полидисперсное (с коэффициентами полезного действия, по расчетам, $\eta \leq 10-30\%$) распыление рабочих растворов пестицидов в корне противоречит экологической концепции XXI века. Однако при современном уровне знаний оно продолжает считаться хозяйственно приемлемым и рентабельным приемом. Суть современной экологической концепции – снижение экотоксикантной нагрузки на экосферу и биоресурсы. Оно должно осуществляться за счет сокращения удельного расхода сырья, энергии, иных техногенных продуктов при приемлемой технической эффективности. При полидисперсном опрыскивании пестициды не только расходуются нерационально, но и причиняют существенный урон экосфере от сноса на смежные территории, повреждают и загрязняют посевы чувствительных к ним культур. Поэтому, базируясь на микроскопически точном количественном теоретическом анализе полидисперсности (как фазовоагрегатных состояниях ДЖС), предлагается практический путь реализации этой актуальнейшей проблемы. Его суть – создать и внедрить технологии внесения пестицидов,

биологических средств защиты и регуляторов роста растений, а также распыления других дисперсионноспособных жидкообразных агентов в монодисперсном состоянии.

ОЖИДАЕМЫЕ ИТОГИ РЕШЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ЗАДАЧ

Сельскохозяйственные опрыскиватели (как и многое другое оборудование специального назначения) – все они оснащены распылительными устройствами (РУ): гидравлическими, механическими, пневматическими или иными. Техническими и технологическими продуктами, полученными в результате решения сформулированной выше проблемы, будут следующие конструкции, устройства и разработки.

1) Устройства для монодисперсного распыливания жидкостей и технологические процессы их применения с коэффициентами монодисперсности (K_m), изменяющимися в диапазоне $K_m=1,3\dots2,0$ и обеспечивающими ресурсо-сберегающие КПД ($\eta = 60\%\dots35\%$).

2) Многофункциональный контрольно-измерительный комплекс «Дисперограф» (предназначенный для создания РУ специального назначения), включающий новые инструментальные, лазерные и оптико-электронные методы измерения, оценки и контроля степени диспергирования ДЖС на основе разработанного авторами точного количественного теоретического анализа полидисперсности. В процессе этого анализа будут учитываться температура, давление, вязкость, плотность, поверхностное натяжение, активность и другие характеристики диспергируемых жидкостей, влияющие на размеры и объёмы капель, скорости их движения, распределение в факеле распыла и др.

3) Лабораторное контрольно-измерительное оборудование («Стенд») для экспериментальной отработки конструкций монодисперсных распылителей жидкостей и совершенствования технологических процессов их монодисперсного применения (в соответствии с пп. 1-2).

4) Практические руководства, учебные и рекомендательные пособия, излагающие методологические и методические основы, правила диспергирования и управления монодисперсными капельными потоками жидкостей при внесении пестицидов и осуществлений многих других аэрозольных процессов;

5) Инновационные программы и методы, позволяющие на основе точного количественного теоретического анализа полидисперсности создавать конструкции и аппараты с РУ, обеспечивающими заданные параметры при диспергировании жидкостей, в частности: а) осаждении оптимальных микрообъемов капель и их количества на единицу площади (л/га; мл/см²; мкм³/см², шт/см²), б) регулировании скоростей истечения потоков капель в единицу времени (м/сек).

Степень диспергирования ДЖС, конструктивно оцениваемая соответствующими коэффициентами поли- или монодисперсности (K_p , K_m),

показывает, во сколько раз полидисперсное состояние системы превышает её строго монодисперсное состояние. Оно выражается числом однородных капель, их кубическим диаметром и $K_M = 1$. Во всех практических случаях за границы отсчёта K_M принимаются его технологически рациональные величины (в пределах $K_M = 1,3 \dots 2,0$).

Если $K_M > 2$, то монодисперсное диспергирование постепенно переходит в полидисперсное распыливание с $K_n \leq 20$. В диапазоне $K_n = 2 \dots 20$ может производиться: удовлетворительное ($K_n = 2$), плохое ($K_n = 5$) или очень плохое ($K_n \leq 20$) распыливание. Диспергирование рабочего раствора пестицида при $K_n = 5 \dots 20$ характеризуется не только контрпродуктивными, чрезвычайно низкими экономическими показателями распыливания и КПД, но, в ряде случаев, и интенсивным разрушением биотопов нецелевых организмов, загрязнением и отравлением среды обитания человека мелкими каплями сносимого ветром препарата, а в случае применения гербицидов или арборицидов – повреждением или даже гибелью посевов чувствительных культур. В диапазоне $K_M = 1,3 \dots 2,0$ осуществляется экономически и экологически рациональное (монодисперсное или близкое к таковому) использование препарата, обеспечивающее его минимальное негативное воздействие на экосферу и нецелевую биоту.

НЕКОТОРЫЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФИЗИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕШАЕМЫМ ЗАДАЧАМ

В настоящее время в мире эксплуатируется множество всевозможных РУ и механизмов. Их классической характеристикой является дисперсность, традиционно определяемая удельной поверхностью частиц с размерностью см^{-1} и «средним», так называемым, медианно-массовым диаметром (ММД) системы. По отношению к каплям сферической формы с размерами $d_k > 5,0$ мкм, получаемым с помощью разнообразных полидисперсных РУ, все классические показатели дисперсности являются математически неопределёнными и практически бесполезными. Следовательно, они не могут быть детерминантом (совокупным определителем) ДЖС. Энергия, как известно, есть мера всех движений на Земле. Поэтому только элементарный микрообъём рабочей жидкости пестицида (q_3 , мкм³), выраженный числом капель (n) и степенью диспергирования этого микрообъёма, несёт элементарную частицу биоцидной энергии в направлении мишеней-рецепторов (сорного растения, фитопатогена или фитофага).

Из сказанного следует несколько важных следствий: 1) ММД как размерный показатель, по определению, не может служить физико-химической, количественной или энергетической мерой ДЖС; 2) научные рекомендации по практическому применению ММД и коэффициентов полидисперсности ДЖС хотя и крайне актуальны, однако до сих пор не разработаны; 3) система единиц измерений (СИ) основных показателей ДЖС пока не стандартизирована;

4) никакими известными методами, в том числе и методами математической статистики, невозможно оценить полидисперсность; поэтому при дисперсионном анализе одной и той же форсунки по используемым, но до сих пор не стандартизированным «среднедисперсным» зависимостям величины K_n всегда получаются разными и, следовательно, несоизмеримыми: от $K_n < 1,0$ до $K_n = 1,0 \dots 20$. Наконец (согласно Максиму Планку), в природе объективно «существует лишь то, что можно измерить»...

Теоретическую основу декларируемого проблемного направления составляют авторские работы [8-10], посвященные количественному анализу ДЖС на основе математически точных объёмных измерений основных физических показателей диспергирования жидкостей. Применительно к обсуждаемой проблеме для решения задач рационального применения *пестицидных аэрозолей* постулированы следующие концептуальные положения.

1. Любая полидисперсная система есть множество монодисперсных систем; при этом аддитивный микрообъём полидисперсной системы равен сумме элементарных микрообъёмов капель её монодисперсных систем.

2. Количество искомых дисперсных капель, получаемое из диспергируемой исходной капли, равно отношению кубического диаметра исходной капли ($d_{исх.}$)³ к кубическому диаметру искомой ($d_{иск.}$)³.

3. Соответственно, абсолютная величина числа капель n (количество дисперсных капель) одновременно является числом, показывающим во сколько раз больше технологического продукта содержится в исходной капле по отношению к искомой.

4. Чем больше равновеликих по размеру капель попадает в обрабатываемую мишень, тем (до известного предела) меньше требуется пестицида для достижения конечного эффекта.

5. Полидисперсность – это квадратичное отклонение объёмов капель от их монодисперсного значения, выраженное коэффициентом полидисперсности – корнем квадратным из дисперсности.

6. Соответственно, КПД полидисперсности (η) – это величина, обратная квадратичному коэффициенту полидисперсности (K_n), то есть $\eta = 1/(K_n)^2$.

На базе вышеизложенных постулатов впервые сформулирована «Закономерность изменения общего объёма ДЖС» в зависимости от степени диспергирования единицы объёма жидкости [8-10]. В случае ее признания международным научным сообществом, она (закономерность) будет иметь для аэрозольной науки и практики непреходящее, приоритетное значение. Практическая суть сформулированной закономерности заключается в следующем.

Предприятие ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» (г. Москва) является патенто- обладателем способа точной оптико-электронной регистрации распределения капель топливного факела по их размерам (патент РФ на изобретение № 2259554). Поскольку процессы диспергирования любых рабочих жидкостей имеют общие физические закономерности, данное изобретение хорошо соотносится с аналитическими работами авторов [8-10]. В

указанных работах постулирован способ математически точного определения микрообъемов капель в факеле распыла жидкости по их физическим размерам (при распределении этих микрообъемов в зависимости от K_n и K_m). Это, в свою очередь, позволило впервые получить *количественные технологические и физические характеристики* распределения микрообъемов диспергируемых капель в зависимости от величин K_n и K_m , а также обосновать новое перспективное научно-техническое направление в физике ДЖС.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСИОННЫХ ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ КАК БАЗА ДЛЯ ИННОВАЦИЙ

Авторы полагают, что в обозримой перспективе внедрение инновационных ДЖС –генераторов монодисперсных аэрозолей, технологий монодисперсного опрыскивания и др. – позволит: а) сократить (пропорционально K_m) расход средств защиты и агрохимикатов без снижения их биоцидного и хозяйственного эффекта; б) получить новые монодисперсные химические продукты (включая энергоёмкие) с заданными физико-химическими характеристиками и агрегатно-дисперсными свойствами; в) снизить материалоемкость и радикально усовершенствовать конструкции специальных машин и механизмов за счет сокращения удельных расходов растворов пестицидов; г) существенно снизить экотоксикантную нагрузку на экосферу за счет повышения КПД применяемых пестицидов и других агрохимикатов.

Для реализации предлагаемых инноваций необходимо разработать и принять Государственную программу научно-исследовательских работ по созданию специальных технических (агротехнических) регламентов на основе Государственной концепции химической и биологической безопасности [3]. Прототипом подобной Государственной программы может послужить опубликованный нами проект: «Изменение способов (машинных агротехнологий) применения пестицидов в национальных системах безопасности пищевых продуктов и кормов» [11,12].

Априорно, технологической основой ресурсосбережения при внесении пестицидов служат следующие характеристики дисперсности: импульс расхода Q (мкм^3), приведенный «полидисперсный» диаметр импульса $D_{\text{прив}}$ (мкм), число диспергированных капель (n) и степень диспергирования импульса, оцениваемая K_n или K_m . В разных странах неоднократно предпринимались попытки достичь желаемую степень монодисперсности жидкостного пестицидного импульса (controlled drop application) [6,7,13]. Однако, как и много лет тому назад, из-за отсутствия научных показателей дисперсности на практике степень диспергирования рабочих растворов пестицидов оценивается не по абсолютной величине K_n , а либо по показателю $d_{\text{ср.ммд}}$ (средний медианномассовый диаметр капли), либо посредством косвенных субъективных характеристик, таких как «тонкий», «грубый», «мелкий», «мелкодисперсный», «грубодисперсный» распыл.

В 1998-1999 гг. в соответствии с Целевой программой РФ «Техника для продовольствия России на 1999-2005 годы» на ПЭМЗ («Подольский электромеханический завод») были созданы и испытаны с положительными результатами опытные образцы современной опрыскивающей техники, превосходящей по степени диспергирования лучшие мировые образцы. С участием авторов здесь конструировались и испытывались опытные образцы принципиально нового, «близкого» к монодисперсному, опрыскивателя (на основе базовой разработки ВНИИ фитопатологии РАСХН) с сепарацией мелких капель – вышеуказанный ОСК-200. Однако (по независящим от авторов причинам) вскоре все работы по созданию монодисперсной техники для защиты растений были свёрнуты.

Не вызывает сомнений, что для рационального применения нового поколения пестицидных препаратов (с граммовыми нормами расхода д.в. на 1 га) нужна принципиально иная – монодисперсная техника, а также инновационная система регистрации параметров капель ДЖС. Опрыскиватели с традиционными полидисперсными форсунками 60-х годов прошлого века для этого неприемлемы. При граммовых нормах расхода пестицидов должно обеспечиваться прецизионное монодисперсное распыливание рабочей жидкости. Повсеместно в мире распыливающие форсунки по конкретным химзащитным агротехнологиям и культурам никоим образом не дифференцированы. Сказанное относится к таким характеристикам опрыскивания, как $d_{\text{ср.об}}$ (средний объемный диаметр капель), $d_{\text{ср.мд}}$, K_p , нормы расхода рабочего раствора и др. Напомним, что до сих пор дисперсионный анализ капель пестицидного раствора (их число и степень покрытия, дисперсность распыла) в соответствии с [14,15] определяют по бумажным карточкам, обработанным 3-5%-ным раствором парафина в толуоле. Как и полвека тому назад, нормы расхода рабочих жидкостей в защите растений никакими базовыми критериями не обоснованы и не стандартизированы. Они варьируют от 25 до 1000 л/га (по полевым культурам) и от 100 до 2000 л/га (по многолетним древесно-кустарниковым насаждениям); подобная ситуация ни экономически, ни экологически не оправдана.

Каковы же реальные перспективы создания и внедрения инновационных технологий внесения пестицидов? Сегодня они зависят от того, когда будут сконструированы полевые монодисперсные опрыскиватели, а также от того, как конкретно с микронной точностью будет оцениваться полидисперсность генерируемых ДЖС.

Промышленные ДЖС получают путем диспергирования жидкостных потоков (рабочих растворов пестицидов и др.) самыми разными способами. Разработано огромное количество форсунок. Как показывает практика, для каждого конкретного случая применительно к требованиям технического задания приходится заново разрабатывать РУ. Перед разработчиком при этом стоит непростая задача – обеспечить надежную работу РУ с заданной производительностью и, по возможности, получить монодисперсный распыл. Это обстоятельство становится особенно важным при разработке

РУ для наземных опрыскивателей, предназначенных для прецизионной обработки пестицидами посевов и многолетних насаждений.

В 60-х годах прошлого века разработчики при исследовании факелов форсунок широко использовали и так называемый экспозиционный способ. Пластинки или улавливатели с жидким наполнителем (например, силиконовым маслом), не реагирующим и не растворяющим вещества ДЖС, короткое время ($\approx 0,5$ сек) экспонировали в факеле распыляемой жидкости. Затем под микроскопом анализировали размер уловленных капель и оценивали их распределение по размерам. Подобная методика, однако, чрезвычайно трудоемка, а получаемые результаты весьма условны. Крупные водные капли при встрече с зеркалом жидкого наполнителя могут разбиваться на несколько более мелких, а очень мелкие (1-5 мкм) часто испаряются, не долетая до улавливающей поверхности. Происходят и слияния капель со своими спутниками, следующими по той же траектории. Все это искажает результаты измерений.

Для оценки дисперсности использовали также метод дифракционного рассеяния света от монохроматорного излучателя в факеле капель после распыла жидкости, скоростную киносъемку ДЖС и др. Однако ни эти – более современные методы, ни, тем более, традиционные методики при операциях с уже сформировавшимся жидкостным факелом не дают никакой информации о том, что происходит с рабочей жидкостью на срезе сопла распылителя. Распыляемая жидкость в виде сплошной струи на подходе к соплу (на его срезе) начинает распадаться на капли, образующие факел. Разделение струи на капли за счет внутренней энергии самой жидкости (давления) или за счет энергии сжатого воздуха (газа) начинается на срезе сопла и заканчивается на некотором расстоянии от него. Это расстояние, разное для разных конструкций распылителей, может достигать нескольких калибров сопла (до пяти). Относительно этой неисследованной области, именуемой зоной нераспавшейся струи, информация отсутствует.

Ситуация существенно изменилась, когда в 90-х годах XX века испытатели (с целью исследования внутренней структуры факела распыла) для оценки полидисперсности капель в потоке распыляемой жидкости начали использовать лазерную технику неразрушающего контроля. Ее применение позволило получать наиболее достоверную информацию. Для оценки размеров капель использовали метод «лазерного ножа»; для измерения скоростей движения капель в свободно истекающем факеле – лазер-доплеровский эффект. Суть «лазерного ножа» заключается в следующем: луч рубинового лазера, работающий в импульсном режиме (10^{-4} сек), с помощью специальной оптической системы растягивается в плоскость, рассекающую факел распыляемой жидкости в любом положении. Капли, попавшие в зону действия импульса, фиксируются фоторегистратором, после чего полученный отпечаток анализируется с оценкой размеров капель по компьютерной программе, либо по традиционной методике.

Использование лазерной техники для исследования промышленных факелов распыла (В.Г.Островский, предприятие ФГУП «ЦНКБ», Москва) впервые позволило комплексно и достоверно: а) увидеть зону целостной струи; б) оценить *фактические размеры* капель и их распределение в разных частях факела; в) оценить скорости движения потоков капель (как оказалось, для одного из типоразмеров пневматической форсунки скорости в различных частях факела менялись в интервале $70 \div 120$ м/сек); г) обнаружить зону обратных токов вблизи жидкостного сопла; д) установить феномен «немонотонности» распределения концентрации капель в поперечном сечении факела, достигающей 5-10-кратной величины (!).

Полученные результаты позволяют приступить к созданию принципиально новых, в том числе и оптико-электронных методов регистрации, измерения и контроля размеров капель ДЖС, а также распределения скоростей движения потоков капель. Разрабатываются и специальные компьютерные программы, которые крайне необходимы для экспресс-оценки результатов измерений, оперативной выдачи традиционных интегральных кривых распределения капель по размерам, расчетов K_n , K_m и т.д. В соответствии с *первым постулатом* (см. выше) возможно построение компьютерных моделей жидкостных факелов для оценки конкретного распылителя, характеризуя полидисперсные ДЖС распределением количества монодисперсных капель по их микрообъемам.

Однако использование лазерной техники для исследования факелов распыла жидкости – это первый, важный теоретический шаг по созданию и изучению монодисперсных жидкостных систем и технологий взамен полидисперсных. Второй, практический шаг, непосредственно относящийся к созданию и внедрению монодисперсных технологий и соответствующих им конструкций РУ для распыления рабочих растворов пестицидов в монодисперсном состоянии – это создание специализированной научно-экспериментальной лаборатории «физики ДЖС» и многофункционального контрольно-измерительного комплекса «Дисперограф». Они необходимы для исследований и совершенствования конструкций различных РУ и управляемых технологических процессов распыливания рабочих жидкостей. Хочется надеяться, что с помощью современных инструментальных, лазерных и оптико-электронных измерительных устройств и предложенной системы единиц измерений дисперсности (СИ) все существующие и вновь создаваемые РУ вначале будут дифференцированы по показателям K_n и КПД (η). После этого испытанные конструкции будут либо дорабатываться, либо заменяться монодисперсными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По разным причинам сложилось так, что в течение многих лет самым слабым звеном в защите растений являются технологии и технические средства для применения пестицидов. В то же время, отечественные исследования убедительно продемонстрировали, что перспективные, жизненно необходимые элементы химзащитных технологий, реализуемые способом опрыскивания и соответствующие современным требованиям экологичности и энергоэффективности, – это опрыскивание с регулируемым спектром размеров капель, то есть генерирование монодисперсных пестицидных аэрозолей. Инновационные распылительные устройства, обеспечивающие близкое к монодисперсному распыливание жидкостей, обладают несомненными *экологическими* и *экономическими* преимуществами. Они перспективны не только для рационального использования в защите растений, но, безусловно, и в других сферах (например, для сжигания жидкого топлива в монодисперсном состоянии).

Создание подобных распылительных устройств должно базироваться на нескольких научно-технических разработках. В их числе: 1) авторская *«Система СИ: система единиц измерений дисперсности»* и её когерентная система уравнений; 2) оптико-электронные и лазерные методы идентификации соответствия регистрируемых показателей измеряемому объекту – потоку капель топливного факела (патент RU 2259554); 3) способ получения монодисперсных жидкостных систем, предложенный в разные годы и порознь Н.В. Никитиным и Г.Е. Церуашвили (патент RU 2256322).

К большому сожалению, развитие *«Физики промышленных аэрозолей»* (как современной науки) продолжает базироваться на традиционных испытательных технологиях 60-х годов XX века. Сказанное относится к способам оценки распределения числа (количества) капель по размерам и «среднедисперсного» значения их размера (d_{cp}). Недостатки подобной системы испытаний осознаются и международными экспертами. Так, согласно действующему стандарту ИСО и международному ГОСТу [16], подобное *«испытание обеспечивает только минимальную точность, поэтому оно будет пересмотрено при совершенствовании технологии определения размера капель»*. Вот почему и в международном плане одна из главных нерешенных задач (от реализации которой зависит успешное решение обсуждаемой проблемы) – это внедрение в промышленное производство принципиально новых, стандартизированных методов идентификации соответствия регистрируемых физических показателей ДЖС измеряемому объекту – дисперсному потоку их капель. В этом отношении инновационный метод «неразрушающего контроля» аэрозольных систем, базирующийся на лазерной и оптико-электронной регистрации распределения (по фактическим размерам) и измерения капель, нам представляется вполне приемлемым, а на сегодняшний день – единственно возможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэрозоли / Первый толковый большой энциклопедический словарь. Санкт-Петербург – Москва. Рипол-Норинт. 2006. С. 141.
2. Грин Г., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Л.: Химия. 1969. 427 с.
3. Концепция ФЦП (федеральной целевой программы) "Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2009-2013 годы) (Утв. Правительством РФ 28.01.08 № 74-р).12 с.
http://www.mcx.ru/documents/document/show_print/235.153.htm
4. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Соколов М.С. и др. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений // Агрехимия. 2008. № 11. С. 51-59.
5. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Пестицидные аэрозоли. М.: Наука. 1982. 288 с.
6. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Монодисперсные аэрозоли. М.: Наука. 1975. 188 с.
7. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: РАСХН. ВНИИФ. 2010. 189 с.
8. Веретенников Ю.М., И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Новое научно-техническое направление в физике ДЖС // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 8. С. 41-44.
9. Веретенников Ю.М., И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина Новое определение показателей дисперсии как следствие из уравнения неразрывности потока // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2010. № 8. С. 31-33.
10. Веретенников Ю.М., В.Г. Островский, П.Н. Антонюк, И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Система СИ: система единиц измерений дисперсности // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2012. № 2. С. 27-29.
11. Павлюшин В.А., Лысов А.К., Веретенников Ю.М., Монастырский О.А. Агротехнологии внесения пестицидов // Информационный Бюллетень МСХ РФ. 2004. №2. С. 44-48.
12. Веретенников Ю.М., Овсянкина А.В. Время распылять и время выбирать. Воронежский государственный университет. 2006. 249 с.
13. Соколов М.С. Микрообъемное монодисперсное опрыскивание пестицидами // Химия в сельском хозяйстве. 1978. № 12. С. 3-10.
14. ОСТ 10.6-2000. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний.
15. ГОСТ Р 53053-2008. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. М.: Стандартинформ. 2009.
16. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 5682-1-2004 (введен в действие в качестве национального стандарта РФ с 01.01.2008 г.). Оборудование для защиты растений. Методы испытаний распылительных насадок. 16 с.

ЧАСТЬ II

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ДИСПЕРСНОСТИ РАСПЫЛА ДИСПЕРСИОННОСПОСОБНЫХ ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ (ДЖС) НА ПРИМЕРЕ СТАНДАРТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЖС ПОЛИДИСПЕРСНЫХ КАПЕЛЬ

Предлагаются неустановленные ранее и доступные проверке показатели дисперсности с системой единиц измерений (СИ) для разработки отраслевых стандартов и создания ресурсоэнергосберегающих монодисперсных машин и технологий для промышленности и сельского хозяйства. Основание: отраслевые руководящие документы [1] и [2].

В природе объективно
«существует лишь то, что можно
инструментально измерить».

Макс Планк, 1858-1947 г., физик

Введение

В настоящее время существуют четыре отраслевых стандарта, ¹⁾ в которых размещена одна и та же таблица дисперсности, характеризующая стандартное распределение среднедисперсных капель (при внесении пестицидов) для оценки полидисперсности ДЖС. Она осуществляется посредством определения их т.н. «среднего» диаметра капель (мкм).

Однако эти стандарты не устанавливают связь расчетного «среднедисперсного» размера капель с практической нормой расхода технологических жидкостей на 1 га. Впервые математическая формула, определённая в виде:

$$Q = 0,523 \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot D_{\text{ср}}^3 \cdot K_1 \cdot K_2$$

была опубликована в журнале «Защита растений» № 2 в 1991 г. [3], где:

Q – расход рабочей жидкости (л/га);

n – плотность покрытия объекта (капель на 1 см²);

D_{ср} – средний диаметр осажденных на объекте капель (мкм);

K₁ – коэффициент облиственности растений;

K₂ – коэффициент полидисперсных потерь капель (от сноса ветром и стекания на почву).

Сегодня эту формулу (с учетом степени диспергирования ДЖС) следует записать в следующем определении:

$$Q_{\text{л/га}} = 0,524 \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot D_{\text{прив}}^3 \cdot K_{\text{п/м}} \quad (1)$$

¹⁾ ОСТ 70.6.1-81; РД 10.6.1-89; ОСТ 10.6.1-2000; ГОСТ Р 53053-2008.

Здесь:

10^{-7} – коэффициент пересчета объемов капель (мкм^3), приходящихся на единицу площади ($n_{\text{штук/см}^2}$), в расход рабочей жидкости (л/га);

$D_{\text{прив}}$ – приведенный диаметр ДЖС (мкм), характеризующий, по определению, распределение масс (объемов, мкм^3) в движущейся системе и зависящий от закона движения ДЖС (взамен $D_{\text{ср}}$, мкм);

$K_{\text{п/м}}$ – расчетный коэффициент поли/или монодисперсности ДЖС, устанавливающий практическую степень ее диспергирования (взамен произведения $K_1 \cdot K_2$): от $K_{\text{м}} = 1,3 \div 2,0$ до $K_{\text{п}} = 2,0 \div 5,0 \dots 20$.

1. Технологические показатели ресурсоэнергосбережения, регламентирующие химическую и биоэкологическую эффективность и безопасность ДЖС

1. Импульс расхода дисперсионноспособных жидкостей Q, q_3 (мкм^3);

2. Приведенный «полидисперсный» диаметр импульса $D_{\text{прив}}$ (мкм);

3. Число (количество) диспергированных капель ($n_{\text{штук}}$);

4. Степень диспергирования импульса, оцениваемая посредством коэффициента поли - или монодисперсности ДЖС ($K_{\text{п}}$ и/или $K_{\text{м}}$).

**Определение
(2)**

Кратные и дольные единицы перевода:

- кратная $Q = 1$ литр = квадриллион, 10^{15} мкм^3 ;
- дольная $q = 1$ мл = 10^{12} мкм^3 .

2. От приближенной оценки дисперсности – к точной

Как и в каких единицах измеряется дисперсность? Системы единиц для ее измерений в мире науки до сих пор нет. Единица измерения диаметра капли (мкм) является внесистемной единицей SI. Отсюда – классическое, но ошибочное толкование дисперсности: характеристика размера частиц в дисперсных системах, выраженная функцией распределения долей объема (или массы) частиц по размерам (как правило, в процентах). По таблице дисперсности распыла (или из графика интегрального распределения) испытатель определяет, так называемый, «средний» - медианный массовый диаметр спектра капель (ММД), выраженный в микронах, - как 50%-ную долю из 100%-го распределения массы жидкости. Но что потом надо делать с этим ММД не знает никто...

По Д.И. Менделееву, «Наука начинается... с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры». Научный абсурд: на вход в распылительное устройство (РУ) испытатель подает объем (например, 1 литр) который дает энергию, а на выходе определяет линейный размер ($d_{\text{ср}}$, мкм), который энергией не обладает. Поскольку измеряемый показатель (размер,

мкм) математически не увязан с элементарным дисперсионным микрообъемом (q_3 , мкм³), то он (средний размер) не может являться основным и совокупным определителем (детерминантом) ДЖС. В авторских работах [5], [6] и [7] показано, что «средние» диаметры для капель жидкости сферической формы с размерами $D \geq 5,0$ мкм, - которые применяются в промышленности, медицине и сельском хозяйстве, - в природе не существуют, что это – абсолютный критерий научно-технической истины.

В результате все существующие в мире «Методы определения размеров частиц приводят лишь к приближенной оценке их среднего диаметра» (Краткая химическая энциклопедия, Москва- 1961, стр. 1147).

На этом квазипоказателе, - «средний» массовый медианный диаметр спектра распыла капель, - остановилась в своем развитии в 60-х годах прошлого века мировая наука «Физика промышленных аэрозолей». А какова наука, такова и практика – с КПД, как у паровоза...

Поэтому вместо «среднего» диаметра (по аналогии с энциклопедическим толкованием термина «приведённая масса») применительно к капельным ДЖС мы ввели термин «приведённый диаметр», - то есть диаметр, приведенный (или приведённый) к n-му числу капель для каждого элементарного типоразмера. Отсюда, по классической формуле объема шара, каждый элементарный монодисперсный микрообъем равен: $q_3 = 0,524nD_{i, \text{прив.}}^3$.

В сущности, $Q_{\text{общ.}} = 0,524 \sum n d_{i, \text{прив.}}^3$ – это характеристика распределения множества элементарных монодисперсных микрообъемов (q_3) по числу капель (n), приведённое к своему кубическому диаметру ($d_{i, \text{прив.}}^3$), алгебраическая сумма которых составляет общий диспергированный полидисперсный микрообъем ($Q_{\text{общ.}}$, мкм³), равный диспергируемому, но выраженный своим общим приведённым кубическим диаметром ДЖС ($D_{i, \text{прив.}}^3$).

**Определение
(3)**

Априори: Теоретической основой для точных измерений дисперсности, как фазово-агрегатных состояний ДЖС, должны служить технологические показатели ресурсоэнергосбережения, регламентирующие химическую и биоэкологическую эффективность и безопасность ДЖС по определению (2) взамен классического полидисперсного $D_{\text{ср}}$.

3. «Средний дисперсный диаметр» - как результат оценки полидисперсности при фундаментальных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах (НИОКР) по сжиганию углеводородных видов топлива и внесению пестицидов в 20-м веке

Как было сказано в начале, существуют четыре отраслевых стандарта, в основу которых положена одна и та же таблица распределений «среднедисперсных» капель. Кроме них, опубликована еще одна таблица распределения спектра полидисперсных размеров капель, диспергированных

опрыскивателем ОМ-300 с расходом рабочей жидкости 200 л/га [4]. Других достоверных, документально подтвержденных распределений ДЖС установить не удалось.

Извлечения из ОСТ 10.6.1-2000
Таблица распределений дисперсий, стр. 33

Классовый промежуток K_{\min}, K_{\max}	Средний размер класса, K_i	Средний объем капли каждого i -го класса, K_i^3	Проверенное количество капель, шт/см ² , n_i	Вес жидкости, заключенной в каплях i -го класса, $n_i K_i^3$	Доля веса жидкости i -го класса P_i , %	Накопленное значение доли веса жидкости, %	Диаметр капле $d_{\min}, - d_{\max}$, мкм
1-3	2	8	303,60	2429	0,32	0,32	14-41
3-5	4	64	239,30	15315	2,13	2,45	41-68
5-7	6	216	121,40	26222	3,50	5,85	68-96
7-9	8	512	60,71	31083	4,13	9,98	96-123
9-11	10	1000	41,67	41670	5,52	15,50	123-150
11-13	12	1728	41,67	72006	9,60	25,10	150-177
13-15	14	2744	23,81	65335	8,70	33,80	177-205
15-17	16	4096	19,44	79626	10,60	44,40	205-232
17-19	18	5832	11,61	67609	9,00	53,40	232-259
19-21	20	8000	6,55	52400	7,00	60,40	259-287
21-23	22	10648	4,17	44370	6,80	66,20	287-314
23-25	24	13824	3,21	44430	5,80	72,00	314-341
25-27	26	17576	2,14	37648	5,03	77,03	341-368
27-29	28	21952	1,67	36572	4,87	81,90	368-396
29-31	30	27000	1,19	32130	4,30	86,20	396-423
31-33	32	32768	0,83	27296	3,62	89,82	423-450
33-35	34	39304	0,65	26744	3,42	93,24	450-478
35-37	36	46656	0,48	22208	2,95	96,19	478-505
37-39	38	54872	0,30	16352	2,20	98,39	505-532
39-41	40	64000	0,12	7616	1,01	99,40	532-559
41-43	42	74088	0,06	4371	0,60	100,00	559-587
Сумма				752532			

Массовый медианный диаметр капель определяют по таблице дисперсности распыла, где он соответствует доле массы жидкости в 50%, или из графика интегрального распределения.

ОСТ 10.6.1-2000, стр. 37

$$\sum P_i, \% = f(D)$$

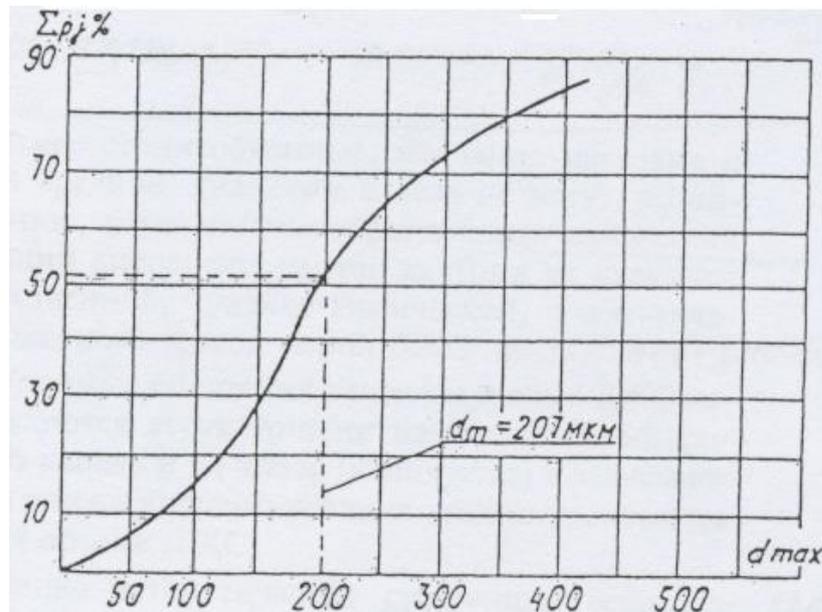


Рисунок 5 – Интегральная кривая распределения капель по объему (К таблице распределения дисперсий)

Как видим, итоговым показателем степени диспергирования (по стандартной таблице распределений «среднедисперсных» капель в полидисперсных ДЖС) является размер $d_m = 207$ мкм.

Аксиома: любая полидисперсная система есть распределенное множество монодисперсных систем – каждое по своему размеру.

Из математики известно, что дисперсия – это мера рассеивания; она определяется средним значением квадрата отклонения случайной величины от ее среднего значения. Если «среднее» значение принять за единицу (за монодисперсное значение), то полидисперсность – это квадратическое отклонение полидисперсных микрообъемов капель от их монодисперсного значения.

И, как математическая величина, это отклонение должно быть выражено коэффициентом полидисперсности – корнем квадратным из дисперсности, см. (5).

Определение
(4)

Полтора столетия прошли с тех пор, когда на Земле появились двигатели внутреннего сгорания и первые опрыскиватели. Но только сегодня оказалось возможным сформулировать научные парадигмы, по которым КПД сжигания

жидких углеводородов, внесения пестицидов и диспергирования множества других жидкообразных технологических химических и биологических веществ до сих пор не превышает 10-15%:

- как размер, среднеобъемные, медианно-массовые и другие «средние» диаметры капель не могут, по определению, быть системообразующими единицами измерений дисперсности, так как все они не являются количественной, физико-химической, энергетической и экономической мерой ДЖС и их невозможно инструментально измерить;

- как фазово-агрегатные состояния вещества, любые ДЖС характеризуются структурными изменениями микрообъемов капель и их числа (количества) в зависимости от степени диспергирования этих микрообъемов в общем объеме ДЖС;

- как физико-математическая субстанция вещества, повторим еще раз, полидисперсность – квадратическое отклонение полидисперсных микрообъемов капель от их монодисперсного значения.

Это отклонение (практический разброс капель по размерам и объемам в зависимости от степени диспергирования объемов) следует называть коэффициентом полидисперсности, математически равным корню квадратному из дисперсности (5).

От абсолютной величины коэффициента поли (или) монодисперсности прямо пропорционально зависят конструктивные, технологические, экономические и экологические показатели энергоемких машин и механизмов, а также энергетический критерий, оцениваемый КПД полидисперсности, η - величиной, обратной квадратичному коэффициенту полидисперсности:

$$\eta = 1/K_{\text{п}}^2.$$

Теоретически, в случае строго монодисперсных ДЖС коэффициенты поли- и монодисперсности тождественно равны, т.е. $K_{\text{п}} = K_{\text{м}} = 1,0$

В известной в научных кругах книге Е.В. Аметисова и А.С. Дмитриева «Монодисперсные системы и технологии» так сформулирована причина, из-за которой в 60-х годах прошлого века остановилась в своем развитии мировая наука «Физика промышленных аэрозолей»: «В настоящее время задача определения предельной степени монодисперсности далека от своего решения как в экспериментальном, так и в теоретическом плане». ²⁾ Этот вывод подкреплен исчерпывающим списком научной литературы по механике аэрозолей, насчитывающим 528 наименований...

Сегодня эту задачу следует считать решенной. Определению «предельной степени монодисперсности» взамен классического «среднего диаметра» и посвящена эта работа. Она должна быть положена в основу практического решения величайшей научно-технической проблемы современности: «Создание и внедрение монодисперсных технологий сжигания жидких углеводородов и внесения пестицидов взамен полидисперсных».

²⁾ Москва, Издательство МЭИ, 2002 г., 158-я стр.

4. Новый способ оценки параметров дисперсионноспособных технологических жидкостей, истекающих из распылительных устройств промышленного и сельскохозяйственного назначения.

Предлагается неустановленная ранее и доступная проверке когерентная система уравнений связи, которая дает конструктору и испытателю инструментальную возможность впервые, - на основе точного количественного теоретического анализа полидисперсности, - получить заданную степень диспергирования жидкостей на выходе из распылительного устройства при расчетах, конструировании, стендовых испытаниях и внедрении практических энергетических характеристик, например, таких как:

- осаждения микрообъемов капель и их числа (количества) на единицу площади (л/га; мл/см²; мкм³/см²);
- скорости истечения потока капель в единицу времени (м/сек);
- распределения микрообъемов капель и их числа (количества) по рабочему объему камеры сгорания (мкм³/объем к.с.);
- теплоты сгорания топлива (Дж/мкм³).

Для оценки этих характеристик создана когерентная система измерений дисперсности [5] и [6], соответствующая закону сохранения массы вещества и канонами SI, которая была заявлена в 2012 г. в работе [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{1,\max} + Q_{2,\min} = Q_{\text{общ}} \cdot 100\% \\ \frac{Q_{\text{общ}}}{0,524 \sum_{D_{\min}}^{D_{\max}} n \cdot D_i^3 \cdot n_{\text{прив}} \cdot K_{\text{П/М}}} = 1,0; \text{ где:} \\ K_{\text{П/М}} = \sqrt{\frac{\sum (n \cdot d_i^3 \cdot n_{\text{прив}}) \approx 90\%}{\sum (n \cdot d_i^3 \cdot n_{\text{прив}}) \approx 10\%}} \end{array} \right.$$

Примечание: $\approx 90\%$ и $\approx 10\%$ – расчетное распределение микрообъемов жидкости, содержащейся в соответствующих каплях (по ОСТ 70.6.1- 81).

По системе [7] произведен расчет распределений дисперсностей из ОСТ 10.6.1-2000 и из упомянутой книги [4]³⁾.

4.1. Пример расчета дисперсионноспособной жидкостной системы (ДЖС) и показателей полидисперсности (Q , q_3 , мкм³; $D_{\text{прив}}$, мкм; коэффициентов $K_{\text{п}}$; $K_{\text{м}}$ и полезного действия, η), созданных по системе СИ [7] взамен «среднего диаметра» ($D_{\text{ср}}$) по ОСТ 10.6.1-2000 (экспериментальная таблица, стр. 33 и 37).

³⁾ Непосредственно сам расчет по книге [4] здесь не приводится.

**Распределение моодисперсных объемов
в полидисперсной системе капель**

	№ строки	n, шт/см ²	D _{ср} , мкм	Элементарный объем: $q_э = 0,524nD_{i,}^3$, мкм ³ .	
n ₁	1	303,6	27,5	$3,3 \cdot 10^6$ мкм ³	10 % объема
	2	239,3	54,5	$20,2 \cdot 10^6$ мкм ³	
	3	121,4	81,5	$34,4 \cdot 10^6$ мкм ³	
	4	60,71	109	$41,0 \cdot 10^6$ мкм ³	
n ₂	5	41,67	136,5	$55,4 \cdot 10^6$ мкм ³	90 % объема
	6	41,67	163,5	$95,2 \cdot 10^6$ мкм ³	
	7	23,81	191	$86,7 \cdot 10^6$ мкм ³	
	8	19,44	218,5	$107 \cdot 10^6$ мкм ³	
	9	11,61	241	$85,0 \cdot 10^6$ мкм ³	
	10	6,55	272,5	$69,2 \cdot 10^6$ мкм ³	
	11	4,17	300	$58,8 \cdot 10^6$ мкм ³	
	12	3,21	327,5	$58,6 \cdot 10^6$ мкм ³	
	13	2,14	354,5	$50,0 \cdot 10^6$ мкм ³	
	14	1,67	380	$48,5 \cdot 10^6$ мкм ³	
	15	1,19	359,5	$29,0 \cdot 10^6$ мкм ³	
	16	0,83	436,5	$36,2 \cdot 10^6$ мкм ³	
	17	0,65	463,5	$33,8 \cdot 10^6$ мкм ³	
	18	0,48	491	$29,6 \cdot 10^6$ мкм ³	
	19	0,3	518,5	$21,8 \cdot 10^6$ мкм ³	
	20	0,12	545,5	$10,2 \cdot 10^6$ мкм ³	
	21	0,06	573	$5,6 \cdot 10^6$ мкм ³	
		$\sum n = 884,6$ штук	$\sum q_э = 979,5 \cdot 10^6$ мкм ³		

Исходные данные для расчета:

а). 10 % объема: $q_э = 98,9 \cdot 10^6$ мкм³; $n_1 = 725,01$ шт/см²

б). 90 % объема: $q_э = 880,6 \cdot 10^6$ мкм³; $n_2 = 159,6$ шт/см²

4.2. Расчетные результаты полидисперсности:

а). Приведенные диаметры

$$D_{\text{ПРИВ}}(10\%) = \sqrt[3]{\frac{98,9 \cdot 10^6}{0,524 \cdot 725,01}} = 63,6 \text{ мкм}$$

$$D_{\text{ПРИВ}}(90\%) = \sqrt[3]{\frac{880,6 \cdot 10^6}{0,524 \cdot 159,6}} = 219 \text{ мкм}$$

б). Определение коэффициентов полидисперсности K_1 ; K_2 и общего K_{Π}

$$K_1 = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} = \frac{219}{63,6} = 3,44$$

$$K_2 = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \cdot K_1^{-1} = \frac{880,6 \cdot 1}{98,9 \cdot 3,44} = 2,59$$

$$K_{\Pi} = \sqrt{3,44 \cdot 2,59} = 2,98 \quad (5)$$

в). КПД системы, η

$$\eta = 1/K_{\Pi}^2 = 0,11$$

г). Приведенный диаметр системы

$$D_{\text{прив.}} = \sqrt[3]{\frac{979,5 \cdot 10^6}{0,524 \cdot 884,6 \cdot 2,98}} = 89,2 \text{ мкм} \quad (6)$$

4.3. Расчет расхода рабочей жидкости на 1 га (при $K_{\Pi} = 2,98$)

а) Исходные данные: $1 \text{ см}^2 = 10^{-8} \text{ га}$; $1 \text{ мкм}^3 = 10^{-15} \text{ л}$

б) Формула расчета расхода диспергированной (осажденной) рабочей жидкости, л/га:

$$Q_{\text{л/га}} = 0,524 \cdot n_{\text{шт/см}^2} \cdot 10^{-15}/10^{-8} \cdot D_{\text{прив}}^3, \text{ мкм}^3 \cdot K_{\Pi}; \text{ отсюда формула (1):}$$

$$Q_{\text{л/га}} = 0,524 \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot D_{\text{прив}}^3 \cdot K_{\Pi/м.}$$

в) Расчет общего расхода $Q_{\text{л/га}}$; практическое применение формулы (1):

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{л/га}} = 0,524 \cdot 10^{-7} \cdot 884,6 \cdot 89,2^3 \cdot 2,98 = 97,9 \text{ л/га}$$

Вывод: следовательно, если опрыскиватель работает с нормой расхода рабочей жидкости, например, 200 л/га, то потери (от сноса капель ветром и их стекания на почву) составляют 102 л/га.

г). Результаты расчета полидисперсности взамен «среднего диаметра»

($D_{\text{ср}} = 207 \text{ мкм}$) на соответствие определению (2) и ОСТ 10.6.1-2000:

$Q_{\text{общ}} = 979,5 \cdot 10^6 \text{ мкм}^3$; $D_{\text{прив}} = 89,2 \text{ мкм}$; число (количество) диспергированных капель $n = 884,6$ штук; коэффициент полидисперсности системы капель $K_{\Pi} = 2,98$; полидисперсный КПД системы $\eta = 0,11$.

Для сравнения. Результаты расчета дисперсности взамен «среднего диаметра» ($D_{\text{ср.}} = 300 \text{ мкм}$), полученной ВНИИФ [4] на экспериментальном опрыскивателе ОМ-300 (ширина рабочего захвата 6 м; расход рабочей жидкости $Q = 200 \text{ л/га}$): $Q_{\text{общ}} = 160,4 \text{ л/га}$; $D_{\text{прив.}} = 63,6 \text{ мкм}$; число (количество) диспергированных капель $n = 4651$ штук; коэффициент полидисперсности системы капель $K_{\Pi} = 2,56$; полидисперсный КПД системы $\eta = 15,2 \%$; технологические потери рабочей жидкости составляют 39,6 л/га.

В сущности, когерентная система измерений дисперсности [7], основанная на дедуктивных определениях (3) и (4), есть не что иное, как уравнение неразрывности (или разрывности?) потока на входе и на выходе из распылительного устройства. На выходе из РУ гомогенная ДЖС мгновенно переходит из монодисперсного диспергируемого в полидисперсное диспергированное состояние...

Отсюда следует седьмое определение:

Как фазово-агрегатное состояние вещества, полидисперсное – это отклонение от предельно монодисперсного диспергируемого, см. (8).	Определение (7)
--	------------------------

Определяем предельный монодисперсный размер диспергируемой гомогенной структуры ДЖС на входе в РУ по фактическому числу (количеству) диспергированных капель на выходе из РУ (см. «Экспериментальная таблица» из ОСТ 10.6.1-2000):

$$D_{\text{ПРИВ(МОНО)}} = \sqrt[3]{\frac{979,5 \cdot 10^6}{0,524 \cdot 884,6}} = 128,3 \text{ мкм} \quad (8)$$

Практически это означает, что все 884,6 штук капель однородны по своей структуре, имеют один и тот же микроразмер (128,3 мкм) и являются системообразующими каплями как для диспергируемого монодисперсного, так и для диспергированного полидисперсного микрообъема с микроразмером $D_{\text{прив}} = 89,2$ мкм (6).

Поэтому определение (7) является способом, с помощью которого можно проверять точность расчетной степени диспергирования ДЖС, получаемую на выходе из распылителя и выраженную практическим коэффициентом полидисперсности (5).

$$K_{\text{п}} = D_{\text{прив(моно)}}^3 / D_{\text{прив(поли)}}^3 = 128,3^3 / 89,2^3 = 2,98 \quad (9)$$

При этом монодисперсное состояние системы в общем полидисперсном объеме данной ДЖС ($\sum q_3 = 979,5 \cdot 10^6 \text{ мкм}^3$) составляет всего 33,5 %...

Анализ формул (6), (8) и (9) показывает, что при общем диспергируемом объеме $Q_{\text{общ}} = 979,5 \cdot 10^6 \text{ мкм}^3$ переменные величины и показатели ДЖС могут изменяться:

- число диспергированных капель - от 884,6 до 2636 штук;
- объемный кубический размер капель - от $89,2^3$ до $128,3^3 \text{ мкм}^3$;
- степень диспергирования ДЖС, $K_{\text{п}}$ - от 2,98 до 1,0.

При таких качественно взаимозависимых и переменных показателях ДЖС практически решить систему ресурсоэнергосбережения (определение 2) возможно только экспериментально-аналитическим путем с применением специально созданных для этих целей инструментальных, лазерных, оптико-электронных способов, методов контроля, а также технических устройств, например, таких как:

- способ структуризации (и реструктуризации) дисперсных потоков и скоростей движения капель в полидисперсном потоке;
- метод сепарации капель с регулированием их числа (количества) по размерам и объемам в полидисперсной структуре ДЖС;
- опытных конструкций РУ, в том числе конструкций с изменяемой геометрией сопла для экспериментальной отработки монодисперсных способов и технологий на специальном многофункциональном контрольно-измерительном комплексе «Дисперограф».

В современных исследованиях ДЖС полностью отсутствует такая важная характеристика дисперсных потоков, как скорость движения капель жидкости в разных частях факела распыла. Так, капли одного размера (тем более, капли жидкого топлива), но истекающие с разными скоростями дают разный энергетический (или токсикологический) эффект...

5. К вопросу о закономерностях изменения дисперсности

Если из экспериментальной таблицы, положенной в основу ОСТ 10.6.1-2000, а также из книги ВНИИФ [4], взять графу «Проверенное количество капель (n , штук/см²)», затем графу «Диаметр капель ($d_{\min} - d_{\max}$, мкм)» и по ним взамен графика интегрального распределения $\sum P_i, \% = f(D)$ построить новый график, то получим графики функции перераспределения числа (количества) капель в спектре распыла в зависимости от степени диспергирования общего объема ДЖС с практическим коэффициентом $K_m \geq 1,3$ – то есть $n = f(D_{i, \text{прив}})$. [В математическом анализе она (функция) отображается классическим графиком степенной функции третьего порядка гиперболического типа с асимптотами – осями координат: $y = a/x^3$].

В общем случае, функция:

$$n = q_i / 0,524 D_i^{-3} \quad (10)$$

характеризует гиперболическую закономерность изменения полидисперсных капель. В зависимости от изменения степени диспергирования потока жидкости меняются линейные и объемные характеристики капель и, следовательно, перераспределяется их число (количество) в структуре ДЖС, обуславливая, тем самым, конструктивное отклонение (разброс) максимального и минимального объемов, - каждый из которых приведён к своему кубическому диаметру, - от строго монодисперсного значения {см. [6], пункт 2,9, формула (5)}.

Закономерность (10) является основой для точных измерений и конструирования монодисперсных гидродинамических и энергетических характеристик факела распыла за счет измерения и регулирования числа (количества) диспергированных капель (n) и скоростей их движения с использованием, например, традиционного лазер-доплеровского эффекта. При этом подлежат измерению не «характерный средний диаметр капель» $D_{\text{ср}}$, мкм или константа распределения Розин-Раммлера капель по размеру, а число (количество) монодисперсных капель (n), каждое из которых приведено к своему размеру (математическому диаметру D_i).

Вместе с тем измерение и регулирование числа (количества) диспергированных капель (n) и фактических скоростей движения этих капель, закономерно распределенных по своему фактическому (математическому) диаметру D и полидисперсному факелу (в зависимости от конструкции РУ), позволяет впервые приступить к измерению, регулированию и конструированию монодисперсных РУ и потоков за счет, например, сепарации полидисперсных капель.

Тогда, быть может, и родится новая наука «Физика промышленных аэрозолей» взамен «приближенной среднедисперсной», становлению и развитию которой посвящены также работы [8] и [9].

P.S. Ученые не ведают в точности, когда на Земле кончатся нефть и газ. Но когда они кончатся, закончится и существование нашей цивилизации. British Petroleum отводит нефти 40 лет, газу – 60...

Существуют два способа спасти современный мир. Сжигать меньше нефти, газа, применять пестицидов при том же энергоэффекте. Или добывать энергию, не сжигая ничего. Первый способ – это реальность, вторая – утопия, «*tertium non datur*» (третьего - не дано, лат.).

Монодисперсный способ сжигания жидких углеводородов и применения пестицидов – новая парадигма энергетического, экономического и экологического существования нашей цивилизации в условиях техногенноинженерного изменения и развития мира.

Документы и литература

1. Постановление Президиума РАСХН от 24 мая 2007г. по проблеме «Пути повышения ресурсосбережения и экологической безопасности в интенсивном растениеводстве» путем (пункт 4) создания и внедрения монодисперсных опрыскивателей взамен полидисперсных.
2. План фундаментальных и приоритетных прикладных исследований Россельхозакадемии по научному обеспечению развития АПК Российской Федерации на 2011-2015 годы (задание 05.04.02).
3. Ю.М. Веретенников, А.И. Чугунов. Некоторые вариации вокруг коэффициента вариации//Защита растений. 1991, № 2, С. 13-15.
4. Ю.Я. Спиридонов, В.Г. Шестаков. Рациональная система поиска и отбора гербицидов на современном этапе//РАСХН, ВНИИФ, 2006, 266 с.
5. Ю.М. Веретенников, И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Новое научно-техническое направление в физике ДЖС//Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2008, № 8, С.41-44.
6. Ю.М. Веретенников, И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Новое определение показателей дисперсии как следствие из уравнения неразрывности потока//Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2010, № 8, С. 31-33.
7. Ю.М. Веретенников, В.Г. Островский, П.Н. Антонюк, И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Система СИ: система единиц измерений дисперсности//Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2012, № 2, С. 27-29.
8. Ю.М. Веретенников, В.И. Долженко, И.В. Горбачев, М.С. Соколов, А.В. Овсянкина, Л.А. Марченко, И.Я. Паремский, В.Г. Островский. Управление размерами капель аэрозолей жидкого топлива и пестицидов – реальный фактор ресурсоэнергосбережения// Экологический вестник России, 2013, № 1, С.52-58.
9. Ю.М. Веретенников, В.И. Долженко, И.В. Горбачев, М.С. Соколов, Ю.Я. Спиридонов, А.В. Овсянкина. Инновационные технологии внесения пестицидов и агрохимикатов в монодисперсном состоянии // Агрохимия, 2013, № 6, С.32-39.

**Показатели, аббревиатуры, термины и определения,
используемые в тексте**

Аббревиатура, термины, показатели	Определение
1. ДЖС	Дисперсионноспособные жидкостные системы
2. Дисперсность	Фазово-агрегатное состояние единицы объема ДЖС, обусловленное числом (количеством) капель (n) и их размерами в зависимости от степени диспергирования гидравлического импульса жидкостного потока
3. Полидисперсность	Разброс (отклонение) числа (количества) капель (n) жидкости по размерам (микрообъёмам) от их монодисперсного состояния, выраженный коэффициентом полидисперсности, математически равным корню квадратному из дисперсности; K_p , см.(5)
4. Приведенный диаметр полидисперсных ДЖС, $D_{i \text{ прив}}$, мкм	<p>Диаметр единицы микрообъема ДЖС, приведенный (или приведенный) к n-му числу капель, составляющих общий диспергированный полидисперсный микрообъем (Q^3_i, мкм³).</p> <p>Определяется на основе классической формулы объема шара с учетом степени диспергирования микрообъема:</p> $D_{i \text{ прив}} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{общ}}}{0,524 \cdot n \cdot K_n}}$ <p align="right">см. пример (6)</p>
5. Распределение полидисперсное нормальное	Распределенное в дисперсном потоке множество монодисперсных ДЖС – каждое по своему математическому размеру (диаметру)
<p>Примечание к пунктам 3 и 5.</p> <p>Способ оценки полидисперсного распределения ДЖС по коэффициенту полидисперсности, K_p или монодисперсности, K_m</p>	<p>Достигается методом идентификации распределения числа (количества) капель (n) по своим размерам посредством инструментального анализа (сравнения) фактического распределения с эталоном – идентификатором по коэффициенту полидисперсности, K_p или монодисперсности, K_m</p>