

УДК 632.982.1

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

РАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАПЕЛЬ ПРИ ОПРЫСКИВАНИИ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ ПЕСТИЦИДОВ

Иванов Артем Борисович
к.т.н., ведущий научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код 9117-1181
ScopusID 57224755955
ORCID ID 0000-0001-6462-6393
artem_b_ivanov@mail.ru
*Новокубанский филиал ФГБНУ
«Росинформагротех» (КубНИИТиМ),
Новокубанск, Краснодарский край, Россия
352243, Краснодарский край, Новокубанский
район, г. Новокубанск, ул. Красная, 15*

Подольская Елена Евгеньевна
научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код 7053-2997
ScopusID 57223107520
ORCID ID 0000-0002-4307-3299
gost304@yandex.ru
*Новокубанский филиал ФГБНУ
«Росинформагротех» (КубНИИТиМ),
Новокубанск, Краснодарский край, Россия
352243, Краснодарский край, Новокубанский
район, г. Новокубанск, ул. Красная, 15*

В статье рассмотрены размерные параметры и статистические характеристики капель, формируемых при опрыскивании водными растворами пестицидных средств защиты растений. Показано, что спектр размеров капель является одним из ключевых факторов, определяющих биологическую эффективность обработки, равномерность покрытия целевой поверхности, риск сноса, испарения и стока рабочей жидкости. Обобщены подходы к классификации качества распыла по медианному объемному диаметру, раскрыто назначение показателей $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$, $D_{v0.9}$, NMD, SMD и относительного коэффициента разброса RSF. Отдельное внимание уделено связи между конструкцией распылителя, рабочим давлением, расходом жидкости, вязкостью раствора и изменением дисперсного состава распыла. Рассмотрены аналитические и эмпирические функции распределения размеров капель, включая нормальное, логнормальное, гамма-распределение, функцию Нукиямы-Танасавы и распределение Розина-Раммлера. Сделан вывод о необходимости комплексного использования размерных и статистических параметров при

UDC 632.982.1

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

DIMENSIONAL PARAMETERS AND STATISTICAL CHARACTERISTICS OF DROPLETS WHEN SPRAYED WITH AQUEOUS SOLUTIONS OF PESTICIDES

Ivanov Artem Borisovitch
Cand.Tech.Sci., leading researcher
RSCI SPIN code 9117-1181
ScopusID 57224755955
ORCID ID 0000-0001-6462-6393
artem_b_ivanov@mail.ru
*Novokubansk branch
of F'SBSI "Rosinformagrotekh" (KubNIITiM),
Novokubansk, Krasnodar region, Russia*

Podolskaya Elena Evgenievna
Researcher
RSCI SPIN code 7053-2997
ScopusID 57223107520
ORCID ID 0000-0002-4307-3299
gost304@yandex.ru
*Novokubansk branch
of F'SBSI "Rosinformagrotekh" (KubNIITiM),
Novokubansk, Krasnodar region, Russia*

This article examines the size parameters and statistical characteristics of droplets produced when aqueous pesticide solutions are sprayed for crop protection. It shows that the droplet size spectrum is one of the key factors affecting biological efficacy, uniformity of target surface coverage, and the risks of spray drift, evaporation, and runoff. The paper summarizes approaches to classifying spray quality using the volume median diameter and explains the practical meaning of such indicators as $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$, $D_{v0.9}$, NMD, SMD, and the relative span factor (RSF). Particular attention is given to how nozzle design, operating pressure, liquid flow rate, and solution viscosity influence the dispersed composition of the spray. The article also discusses analytical and empirical droplet size distribution functions, including the normal, lognormal, and gamma distributions, as well as the Nukiyama-Tanasawa function and the Rosin-Rammler distribution. The study concludes that droplet size metrics and statistical parameters should be used together when selecting nozzles, adjusting sprayers, and interpreting instrumental measurement results. This integrated approach helps align agronomic requirements for plant coverage with environmental

выборе форсунок, настройке опрыскивателей и интерпретации результатов инструментальных измерений. Такой подход позволяет согласовать агротехнические требования к покрытию растений с экологическими ограничениями и требованиями безопасности оператора, а также повысить воспроизводимость оценки качества распыления в лабораторных и полевых условиях

and operator safety constraints, while improving the reproducibility of spray quality assessment under both laboratory and field conditions

Ключевые слова: ОПРЫСКИВАНИЕ, СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ, ПЕСТИЦИДЫ, ДИАМЕТР КАПЕЛЬ, СПЕКТР РАСПЫЛА, МЕДИАННЫЙ ОБЪЕМНЫЙ ДИАМЕТР, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТ РАЗБРОСА, СНОС, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Keywords: SPRAYING, PLANT PROTECTION PRODUCTS, PESTICIDES, DROPLET DIAMETER, SPRAY SPECTRUM, MEDIAN VOLUME DIAMETER, DROPLET SIZE DISTRIBUTION, DISPERSION COEFFICIENT, DRIFT, TREATMENT EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-014>

Введение. Несмотря на развитие биологических, агротехнических и иных нехимических методов защиты растений, обработка посевов и насаждений водными растворами пестицидов остается одним из наиболее распространенных способов снижения потерь урожая от вредителей, болезней и сорной растительности [1]. Массовое применение средств защиты растений требует не только соблюдения регламентов, но и точной настройки технических средств внесения. Ошибки в выборе распылителей, рабочего давления, нормы расхода или режима движения агрегата приводят к неравномерному распределению препарата, локальному недовнесению, перерасходу рабочей жидкости и повышенной пестицидной нагрузке на агроэкосистему [2, 3].

Качество опрыскивания определяется комплексом факторов: свойствами действующего вещества и препаративной формы, вязкостью и поверхностным натяжением раствора, типом форсунки, техническим состоянием опрыскивателя, давлением, скоростью движения, высотой штанги, структурой целевой поверхности, температурой, влажностью и скоростью ветра. В этом ряду спектр размеров капель занимает центральное место, поскольку через него одновременно проявляются технологическая эффективность, экологическая безопасность и условия

труда оператора. Слишком мелкие капли повышают плотность покрытия и лучше проникают во внутренние ярусы растительного покрова, но легче уносятся ветром и быстрее испаряются. Чрезмерно крупные капли устойчивее к сносу, однако хуже удерживаются на листьях, формируют неравномерное покрытие и повышают риск стекания препарата на почву.

Размер капель при пестицидной обработке растений в основном зависит от принципа распыления и рабочих параметров устройства. В гидравлических форсунках измельчение жидкости происходит при прохождении под давлением через малое отверстие или щель; увеличение диаметра выходного сечения обычно укрупняет капли, а повышение давления уменьшает их средний размер [4]. В пневматических распылителях жидкость дробится высокоскоростным воздушным потоком, поэтому дисперсность зависит от соотношения расходов воздуха и жидкости. В центробежных распылителях рабочая жидкость перемещается по вращающемуся диску и разрушается под действием центробежных сил; при постоянном расходе увеличение частоты вращения уменьшает диаметр капель, а рост подачи жидкости способствует их укрупнению [5, 6].

Практическая сложность состоит в том, что не существует универсального «лучшего» размера капель. Оптимальный спектр зависит от культуры, фазы развития растений, типа вредного объекта, механизма действия препарата и погодных условий. Системные пестициды могут сохранять эффективность при менее плотном покрытии, так как действующее вещество перемещается в тканях растения. Контактные препараты, напротив, требуют равномерного нанесения на наружную поверхность листа или стебля, поэтому для них особенно важны плотность осадения, площадь покрытия и доля мелких капель на цели [7]. В результате задача выбора распыла является компромиссом между

покрытием, удержанием, проникновением в растительный покров и снижением потерь за пределами обрабатываемой зоны.

Цель исследований - обобщить основные размерные параметры и статистические характеристики распределения капель при обработке водными растворами пестицидов, а также показать их значение для оценки эффективности, экологичности и безопасности сельскохозяйственного опрыскивания.

Материалы и методы. В качестве материалов исследования использовались национальная, межгосударственная и международная нормативно-техническая и методическая документация, технические регламенты, документы в области стандартизации, регулирующие применение пестицидных препаратов для защиты растений, отчеты о научно-исследовательских работах, материалы конференций и научные публикации. Анализ проводился путем сопоставления терминологии, классификационных признаков, расчетных параметров и статистических моделей, применяемых для описания спектра размеров капель.

Методологически работа основана на систематизации показателей, используемых при лабораторных и полевых испытаниях распылительных устройств. Рассматривались параметры, характеризующие центральную тенденцию распределения, его ширину, объемную и количественную структуру, а также пригодность отдельных функций распределения для аппроксимации экспериментальных данных. При объединении сведений учитывалось, что результаты измерений зависят от метода регистрации капель, диапазона измерительного прибора, пространственной зоны отбора проб и способа обработки данных.

Результаты исследований и обсуждение.

Для классификации форсунок по качеству распыла и потенциалу сноса в международной практике используется группировка по размеру капель. Каждая форсунка при заданном давлении и свойствах жидкости

формирует полидисперсный поток, то есть совокупность капель различного диаметра. Поэтому распыл не может быть корректно описан одним геометрическим размером отверстия форсунки или только нормой расхода. Требуется набор параметров, отражающих как средний размер капель, так и форму распределения.

Согласно международной классификации [11, 12], категории качества распыла располагаются в порядке возрастания размера капель: чрезвычайно мелкие (XF), очень мелкие (VF), мелкие (F), средние (M), крупные (C), очень крупные (VC), чрезвычайно крупные (XC) и ультракрупные (UC). Эта классификация основана на объемных диаметрах $D_{v\alpha}$, которые представляют собой диаметр, при котором α -доля от общего объема переносится каплями с диаметром меньше указанного. Наиболее распространенным параметром является медианный объемный диаметр $D_{v0.5}$, или VMD. Он показывает такой диаметр, при котором 50 % общего объема распыляемой жидкости приходится на капли меньшего размера, а оставшиеся 50 % - на капли большего размера. В практическом смысле VMD характеризует «объемный центр» распыла и используется для оценки качества распыления, сравнения форсунок и выбора режима внесения препарата. Значения медианных объемных диаметров (мкм) для указанной выше классификации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения медианных объемных диаметров (VMD) для категорий качества распыла

Категория	XF	VF	F	M	C	VC	XC	UC
VMD, мкм	<60	60-105	106-235	236-340	341-403	404-502	503-665	665<

Такая классификация удобна для практического выбора форсунок, поскольку связывает технические режимы работы распылителя с ожидаемым поведением капель в воздухе и на целевой поверхности. Однако VMD не раскрывает ширину спектра: два распыла с одинаковым

медианным диаметром могут существенно различаться по доле мелких и крупных капель.

Для оценки краевых зон распределения применяют объемные диаметры $D_{v0.1}$ и $D_{v0.9}$. Показатель $D_{v0.1}$ означает, что 10 % объема жидкости находится в каплях с диаметром меньше или равным указанному значению; он связан с долей мелкодисперсной фракции и потенциалом сноса. Показатель $D_{v0.9}$ отражает верхнюю часть распределения: 90 % объема содержится в каплях не крупнее данного диаметра. Высокое значение $D_{v0.9}$ указывает на значительную долю крупных капель, которые могут снижать равномерность покрытия и увеличивать сток с листовой поверхности.

Совместное использование $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$ и $D_{v0.9}$ позволяет рассчитать относительный коэффициент разброса RSF:

$$RSF = \frac{D_{v0.9} - D_{v0.1}}{D_{v0.5}}, \quad (1)$$

Чем выше RSF, тем шире распределение размеров капель и тем сложнее обеспечить предсказуемое осаждение препарата. Низкие значения RSF свидетельствуют о более узком спектре, лучшей повторяемости процесса и меньшем количестве крайних фракций, однако чрезмерно узкий спектр не всегда является преимуществом, если выбранный средний размер не соответствует цели обработки.

Показатели на основе количества капель дополняют объемные характеристики. Медианный диаметр количества капель NMD показывает диаметр, меньше которого находится 50 % общего числа капель. Обычно NMD меньше VMD, поскольку при распылении образуется много мелких капель, на которые приходится значительная доля количества, но относительно небольшая доля объема. Соотношение VMD/NMD позволяет

косвенно судить о неоднородности распыла: чем оно ближе к единице, тем более однородны капли по размеру.

Для задач массопереноса и взаимодействия капель с поверхностью важен средний диаметр Саутера SMD, или D_{32} . Он определяется как диаметр капли с тем же отношением объема к площади поверхности, что и совокупность всех капель распыла:

$$SMD = \frac{\sum_{i=1}^N D_i^3}{\sum_{i=1}^N D_i^2}, \quad (2)$$

где: D_i – диаметр капли, мкм;

N – общее количество капель.

SMD особенно информативен при анализе испарения, абсорбции, удержания и химических процессов на поверхности листьев, поскольку площадь поверхности капель является критическим параметром этих явлений. Основные размерные параметры капель и область их применения представлены в таблице:

Таблица 2 – Основные размерные параметры капель и область их применения

Параметр	Формула или смысл	Назначение
$D_{v0.1}$	10 % объема в каплях меньшего диаметра	Оценка мелкой фракции и риска сноса
$D_{v0.5}$ (VMD)	50 % объема в каплях меньшего диаметра	Классификация качества распыла и выбор форсунки
$D_{v0.9}$	90 % объема в каплях меньшего диаметра	Оценка крупной фракции и риска стока
RSF	$\frac{D_{v0.9} - D_{v0.1}}{D_{v0.5}}$	Характеристика ширины распределения размеров
NMD	50 % общего числа капель меньше данного диаметра	Оценка количественной структуры распыла
SMD (D_{32})	$\frac{\sum_{i=1}^N D_i^3}{\sum_{i=1}^N D_i^2}$	Анализ площади поверхности, испарения и массопереноса

Практическая интерпретация размерных параметров зависит от назначения обработки. Очень мелкие и мелкие капли повышают плотность

осаждения и могут быть полезны при обработке контактными фунгицидами и инсектицидами, когда требуется покрытие большой площади поверхности. Средние капли часто рассматриваются как компромисс между покрытием и устойчивостью к сносу. Крупные и очень крупные капли целесообразны при внесении системных препаратов, почвенных гербицидов и при работе в условиях повышенного риска дрейфа, но они требуют контроля стока и равномерности распределения по листовой поверхности.

Для описания распыла как статистической совокупности используется функция распределения размеров капель DSD (droplet size distribution). Зная DSD, можно рассчитывать объемные, количественные и поверхностные параметры, прогнозировать осаждение, оценивать долю капель, потенциально подверженных сносу, и сравнивать режимы работы распылителей. Функции распределения условно делят на аналитические и эмпирические [13]. Аналитические функции удобны для теоретического анализа, а эмпирические чаще применяются при аппроксимации экспериментальных данных.

Нормальное распределение описывает случайное появление капель вокруг среднего диаметра и задается функцией:

$$f_0(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(D-\bar{D})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где: σ – стандартное отклонение;

$\bar{D}$ – математическое ожидание.

Его применение оправдано при узком и приблизительно симметричном диапазоне размеров. Для реального сельскохозяйственного распыла это условие выполняется не всегда: распределения часто асимметричны, имеют длинный правый хвост и содержат одновременно мелкие и крупные фракции. Значительно лучшую корреляцию с экспериментальными данными (хоть является и менее популярной, чем

нормальное распределение) может обеспечить функция логарифмически нормального (логонормального) распределения. В этом случае, в качестве переменной используется логарифм диаметра капли:

$$f_0(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D \sigma_g}} e^{-\frac{(\ln D - \ln \bar{D}_g)^2}{2\sigma_g^2}}, \quad (4)$$

где: σ_g – геометрическое стандартное отклонение;

$\bar{D}_g$ – геометрическое среднее.

Логнормальная модель лучше отражает асимметрию спектра и поэтому может давать более устойчивую аппроксимацию при анализе экспериментальных данных по распылению.

Гамма-распределение также применяется для описания полидисперсных потоков. Его плотность вероятности определяется параметрами формы и масштаба, что позволяет гибко изменять асимметрию и ширину распределения:

$$f_0(D) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} D^{\alpha-1} e^{-\frac{D}{\beta}}, \quad (5)$$

где: α – параметр формы;

β – параметр масштаба;

$\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция.

Исследования процессов образования капель показывают, что такая функция может хорошо согласовываться с экспериментальными данными при распаде жидких связок и пленок [14].

Функция Нукиямы-Танасавы относится к базовым моделям распределения капель и в общем виде может быть записана как:

$$f_0(D) = a D^p e^{-(bD)^q}, \quad (6)$$

где: a, b, p, q – коэффициенты.

Достоинство этой формы состоит в гибкости, однако одновременная оптимизация нескольких независимых параметров усложняет

идентификацию модели и может приводить к неоднозначной интерпретации результатов. Многие более простые зависимости можно рассматривать как частные случаи или модификации этой функции.

Одной из наиболее известных эмпирических функций является распределение Розина-Раммлера, или распределение Вейбулла:

$$F_3(D) = 1 - e^{-\left(\frac{D}{D_m}\right)^n} \quad (7)$$

где: $F_3(D)$ – доля общего объема, содержащаяся в каплях с диаметром менее D ;

D_m – репрезентативный диаметр, при котором 63,2% общего объема жидкости находится в каплях меньшего размера;

n – коэффициент, характеризующий ширину распределения.

Преимущество этой модели заключается в простоте и возможности экстраполяции в область мелких капель, где экспериментальные измерения обычно наиболее трудны. Особенности применения перечисленных статистических функций представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные параметры и особенности применения статистических функций распределения

Функция	Основные параметры	Особенности применения
Нормальная	$\sigma, \bar{D}$	Подходит для узких и симметричных распределений
Логнормальная	$\sigma_g, \bar{D}_g$	Обеспечивает более тесную корреляцию при асимметрии спектра
Гамма-распределение	α, β	Гибко описывает асимметричные распределения
Нукиямы-Танасавы	a, b, p, q	Гибкая эмпирическая модель, сложная идентификация параметров
Розина-Раммлера (Вейбулла)	D_m, n	Простая модель для объемного распределения и экстраполяции мелкой фракции

Выбор статистической модели должен определяться не только качеством математической аппроксимации, но и физическим смыслом параметров. Если модель хорошо описывает центральную часть распределения, но занижает долю мелких капель, она может быть непригодна для оценки риска сноса. Если модель корректно передает крупную фракцию, но не отражает количество мелких капель, она будет ограниченно полезна для расчета плотности покрытия. Поэтому при анализе распыла необходимо сопоставлять расчетные параметры с задачей обработки и особенностями измерительного метода.

Важным источником расхождений являются методы измерения. Лазерная дифракция, фазово-доплеровские методы, анализ водочувствительной бумаги, цифровая обработка изображений и улавливание капель на коллекторах могут давать различные результаты для одного и того же распыла. Различия связаны с пространственным отбором проб, ограничениями диапазона размеров, скоростью капель, наложением следов, испарением и алгоритмами пересчета пятен в исходный диаметр капель. Поэтому численные значения VMD, NMD или RSF следует интерпретировать в привязке к конкретной методике измерения.

Комплексная оценка распыла особенно важна при переходе к малообъемным технологиям, применению беспилотных авиационных систем и работе в неоднородных растительных покровах. В этих условиях движение воздуха, высота внесения, скорость полета или движения агрегата и турбулентность могут существенно изменить траекторию капель и фактическое распределение препарата на цели [8]. Следовательно, лабораторная классификация форсунки должна дополняться полевой проверкой осаждения и покрытия.

Для контактных препаратов целесообразно контролировать плотность покрытия и долю капель, достигающих труднодоступных участков

растения. Для системных препаратов более значимыми становятся удержание рабочей жидкости и доставка заданной дозы на целевую поверхность без избыточного стока. При гербицидных обработках особое значение имеет предотвращение переноса препарата на соседние культуры и необрабатываемые территории, поэтому допустимый диапазон $D_{v0.1}$ и RSF может быть более жестким, чем при обработке внутри замкнутого растительного покрова.

Отдельная практическая задача состоит в сопоставлении паспортных характеристик форсунок с фактическими режимами работы. Данные каталогов обычно приводятся для стандартной жидкости, фиксированного давления и лабораторных условий. В поле состав рабочего раствора, износ распылителей, пульсации давления, загрязнение фильтров и изменение высоты штанги могут смещать спектр капель. Поэтому контроль распыла должен быть частью технического обслуживания опрыскивателя наряду с проверкой расхода, равномерности распределения по ширине захвата и исправности отдельных форсунок.

Интерпретация результатов также должна учитывать масштаб принятия решений. Для исследовательских задач важны подробные функции распределения, позволяющие сравнивать модели распада жидкости и строить прогнозные зависимости. Для производственной практики более удобны укрупненные показатели: класс распыла, VMD, доля мелких капель и коэффициент разброса. Сочетание этих уровней описания позволяет использовать сложные измерения для разработки простых рекомендаций по выбору форсунок и режимов внесения.

Выводы.

Эффективное и безопасное сельскохозяйственное опрыскивание требует комплексного контроля размерных и статистических характеристик капель. Один только средний диаметр не позволяет оценить

качество обработки, поскольку биологическая эффективность, снос, испарение и сток зависят от всей формы распределения размеров.

Наиболее значимыми практическими показателями являются $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$, $D_{v0.9}$, RSF, NMD и SMD. $D_{v0.5}$ используется для классификации качества распыла, $D_{v0.1}$ характеризует мелкую фракцию и риск дрейфа, $D_{v0.9}$ отражает крупную фракцию и вероятность стока, RSF показывает ширину распределения, NMD описывает количественную структуру, а SMD связывает объем распыла с площадью поверхности капель.

Функции распределения размеров капель позволяют перейти от отдельных измеренных значений к прогнозированию поведения распыла. Нормальное, логнормальное, гамма-распределение, функция Нукиямы-Танасавы и распределение Розина-Раммлера решают общую задачу описания спектра, но отличаются областью применимости, числом параметров и устойчивостью аппроксимации. Выбор функции должен учитывать физику распыления, цель анализа и качество экспериментальных данных.

Представленные параметры и модели являются базой для выбора распылительных форсунок, настройки рабочих режимов опрыскивателей, оценки риска сноса и интерпретации результатов инструментального контроля. Их совместное применение позволяет согласовать требования к покрытию растений с необходимостью минимизировать потери препарата, загрязнение окружающей среды и воздействие на оператора.

Список литературы

1. Абаев В. В. Методы и средства применения пестицидов при производстве растениеводческой продукции // АгроФорум. 2019. № 2. С. 24-26.
2. Михайликова В. В., Стребкова Н.С., Пустовалова Е.А. Динамика пестицидной нагрузки и анализ применения средств защиты растений в Российской Федерации // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. - Анапа: ООО «Плодородие». 2018. С. 139-140.

3. Ельшаева И. В. Методы экологически безопасного ведения сельского хозяйства Ленинградской области и Республики Карелия / И. В. Ельшаева, В. Б. Минин, С. П. Мельников [и др.]. - Санкт-Петербург: Ингерманландская земледельческая школа, 2011. - 102 с.
4. Андрижиевский А. А. Механика жидкости и газа: учебное пособие / А. А. Андрижиевский. - Минск: Вышэйшая школа, 2014. - 208 с.
5. Котоусов Л. С. Исследование скорости водяных струй на выходе из сопел с различной геометрией // ЖТФ. - 2005. - Т. 75, вып. 9. - С. 8-14.
6. Васильев А. Ю., Майорова А. И. Физические особенности дробления жидкостей различными способами распыливания // ТВТ. - 2014. - Т. 52, вып. 2. - С. 261-270.
7. Prokop M., Veverka K. Influence of droplet spectra on the efficiency of contact fungicides and mixtures of contact and systemic fungicides // Plant Protection Science. - 2006. - Vol. 42. - P. 26-33.
8. Ivanov A. B., Podolskaya E. E. Experimental study of droplet settling parameters during low-volume spraying using UAS // E3S Web of Conferences. - 2026. - Vol. 703. - 03013.
9. Schick R. J. Spray Technology Reference Guide: Understanding Drop Size. - Wheaton, IL: Spray Systems Co., 2008.
10. Marangoni Junior A., Costa Ferreira M. Influence of working pressure and spray nozzle on the distribution of spray liquid in manual backpack sprayers // Arquivos do Instituto Biológico. - 2019. - Vol. 86. - P. 1-9.
11. ASABE S572:2020. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. - St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020.
12. ISO 25358:2018. Crop Protection Equipment - Droplet-Size Spectra from Atomizers - Measurement and Classification. - Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
13. Dechelette A., Babinsky E., Sojka P. Drop size distributions // Handbook of Atomization and Sprays / ed. N. Ashgriz. - Boston, MA: Springer, 2011. - P. 479-495.
14. Villermaux E., Marmottant P., Duplat J. Ligament-mediated spray formation // Physical Review Letters. - 2004. - Vol. 92. - 074501.
15. Cerruto E., Manetto G., Papa R., Longo D. Modelling spray pressure effects on droplet size distribution from agricultural nozzles // Applied Sciences. - 2021. - Vol. 11. - 9283.

References

1. Asadbekov, A. K. Vlijanie predposevnoj obrabotki semjan i vegetirujushhijh rastenij na formirovanie urozhajnosti novyh sortov goroha posevnogo / A. K. Asadbekov, S. V. Rezyjakova, E. V. Mitina // Vestnik agrarnoj nauki. - 2023. - № 5(104). - S. 17-24. - DOI 10.17238/issn2587-666X.2023.5.17. - EDN VPJEFW.
2. Alemsetova, G. K. Vlijanie razlichnyh agroprijomova na jelementy struktury urozhaja goroha posevnogo / G. K. Alemsetova, F. P. Cahueva // Problemy razvitija APK regiona. - 2021. - № 3(47). - S. 30-33. - DOI 10.52671/20790996_2021_3_30. - EDN NFCMPC.
3. Vil'dflush, I. R. Vlijanie makro-, mikroudobrenij, reguljatorov rosta i rizobial'nogo inokuljanta na urozhajnost' i kachestvo semjan posevnogo goroha / I. R. Vil'dflush, O. V. Malashevskaja // Pochvovedenie i agrohimiya. - 2018. - № 1(60). - S. 228-237. - EDN ZANBRZ.
4. Vlijanie reguljatorov rosta i pozdnej nekornevoj podkormki udobrenijami na urozhajnost' i belkovuju produktivnost' / N. E. Novikova, A. O. Kosikov, S. V. Bobkov, A. A. Zelenov // Agrohimiya. - 2017. - № 1. - S. 32-40. - EDN XQOANX.

5. Golopjatov, M. T. Kachestvo zerna sortov goroha, razlichajushhihsja po arhitektonike listovogo apparata, v zavisimosti ot urovnja primenenija mineral'nyh udobrenij / M. T. Golopjatov, B. S. Kondrashin // Zernobobovye i krupjanye kul'tury. – 2020. – № 1(33). – S. 24-29. – DOI 10.24411/2309-348X-2020-11150. – EDN YPKDJZ.

6. Davletov, F. A. Vlijanie norm vyseva semjan na urozhajnost' zerna goroha v uslovijah Predural'skoj stepi Respubliki Bashkortostan / F. A. Davletov, K. P. Gajnullina // Agrarnaja nauka. – 2023. – № 5. – S. 72-77. – DOI 10.32634/0869-8155-2023-370-5-72-77. – EDN XXVWSI.

7. Dospheov B. A. Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij. 5-e izd., pererab. i dop. M. : Al'jans. 2023. 349 s.

8. Zharkova, S. V. Jeffektivnost' proizvodstva sortov goroha posevnogo v stepnoj zone Altajskogo kraja / S. V. Zharkova, O. V. Manylova // Jekonomika i biznes: teorija i praktika. – 2020. – № 7(65). – S. 77-79. – DOI 10.24411/2411-0450-2020-10595. – EDN XMEVFG.

9. Ismailova, M. M. Vlijanie reguljatorov rosta na urozhajnost' goroha posevnogo na svetlo-kashtanovyh pochvah Primorsko-Kaspijskoj podprovincii RD / M. M. Ismailova, I. R. Astarhanov // Izvestija Dagestanskogo GAU. – 2020. – № 2(6). – S. 48-53. – EDN FGJTNC.

10. Koz'mina, N. A. Izuchenie vlijanija reguljatorov rosta i razvitija rastenij na semena goroha / N. A. Koz'mina // Vestnik magistratury. – 2018. – № 5-3(80). – S. 9-12. – EDN GLPQTI.

11. Musaev, M. S. Vlijanie rezhimov oroshenija i reguljatorov rosta na produktivnost' goroha posevnogo v Tersko-Sulakskoj podprovincii Dagestana / M. S. Musaev, A. A. Magomedova, Z. M. Musaeva // Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. – 2021. – № 3(101). – S. 74-81. – DOI 10.35330/1991-6639-2021-3-101-74-81. – EDN GKNSOJ.

12. Perspektivnye sorta goroha dlja ispol'zovanija v krupjanoj promyshlennosti v uslovijah juga Zapadnoj Sibiri / I. V. Pahotina, L. V. Omel'janjuk, E. Ju. Ignat'eva [i dr.] // Zernovoe hozjajstvo Rossii. – 2023. – T. 15, № 4. – S. 28-34. – DOI 10.31367/2079-8725-2023-87-4-28-34. – EDN JSVKXG.

13. Sitalo, G. M. Rost, razvitie i formirovanie urozhajnosti goroha pod vlijaniem biopreparatov i stimuljatorov rosta / G. M. Sitalo, L. P. Bel'tjukov, Ju. V. Gordeeva // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – № 165. – S. 186-195. – DOI 10.21515/1990-4665-165-019. – EDN ZGCWGT.

14. Fadeeva, A. N. Adaptivnye svojstva sortov goroha selekcii Tatarskogo NIISH / A. N. Fadeeva, K. D. Shurhaeva // Zernobobovye i krupjanye kul'tury. – 2021. – № 4(40). – S. 5-14. – DOI 10.24412/2309-348X-2021-4-5-14. – EDN AOYRNQ.

15. Filatova, I. A. Reakcija perspektivnyh sortoobrazcov goroha selekcii Voronezhskogo FANC im. V.V. Dokuchaeva na normu vyseva / I. A. Filatova, N. A. Nuzhnaja // Zernobobovye i krupjanye kul'tury. – 2024. – № 4(52). – S. 20-28. – DOI 10.24412/2309-348X-2024-4-20-28. – EDN QDNOLK.