УДК 631.171

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ НА ДИСПЕРСНОСТЬ РАСПЫЛА ДИСКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БПЛА

С.А. Успенский, канд. техн. наук, доцент,
А.М. Мутовкина, студент
ФГБОУ ВО «Смоленская государственная сельскохозяйственная академия», г. Смоленск, Российская Федерация
annamutovkina4003@gmail.com

Аннотация. В статье проведен анализ влияния толщины пленки жидкости на дисперсность распыла дисковых распылителей сельскохозяйственных БПЛА.

Abstract. The article analyzes the effect of liquid film thickness on the spray atomization quality of disc atomizers used on agricultural UAVs.

Ключевые слова: дисковый распылитель, толщина пленки, расход, обороты диска.
Keywords: disk atomizer, film thickness, flow rate, disk speed.

Актуальность темы

Одной из основополагающих этапов получения высокой урожайности культур является способ внесение средств защиты растений и удобрений из распылительных устройств. Так, средства защиты растений (СЗР) могут принести около 15-20% прироста урожая, а удобрения порядка 40-45%. Способ внесения химикатов и удобрений тоже играют немалую роль в урожайности посевов. Поэтому необходимо изучить распылительные устройства и на основании экспериментально-теоретическом исследовании подобрать распылитель на агродрон.

Результат работы

Агродроны работают с нормами расхода рабочей жидкости от 5 до 20 л/га, что относит их к классу ультрамалообьемного опрыскивания (УМО). Для обеспечения биологической эффективности пестицидов при таких объемах критически важным становится контроль дисперсности распыла.

В статье рассматривается установление функциональной связи между толщиной пленки жидкости на периферии диска и результирующим размером капель, а также анализ практических способов управления этой зависимостью.

При подаче жидкости в центр вращающегося диска под действием центробежной силы она растекается к периферии, образуя тонкую пленку. Течение описывается уравнением Навье-Стокса в цилиндрических координатах с учетом допущения об осевой симметрии. Для

случая ньютоновской жидкости и ламинарного течения толщина пленки на расстоянии r от центра определяется соотношением:

$$h = \left(\frac{3\nu Q}{2\pi R^2 \omega^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где Q – расход, м^3/с;

ν – кинематическая вязкость, м^2/с;

ω – угловая скорость, рад/с;

R – текущий радиус, м.

Данная формула показывает, что толщина пленки пропорциональна корню кубическому из расхода ($h \sim Q^{1/3}$) и обратно пропорциональна корню кубическому из квадрата оборотов ($h \sim \omega^{2/3}$). Это означает, что при удвоении расхода пленка утолщается всего на 26%, тогда как при снижении оборотов в 2 раза – уже на 59%.

Затем происходит отрыв капель от кромки, который может характеризоваться тремя режимами – капельный, нитевой (лигаментный), пленочный (струйный). Для агродронов преимуществен нитевой режим, так как он обеспечивает компромисс между производительностью и качеством покрытия [2].

Средний диаметр капель при нитсвом режиме описывается зависимостью, полученной из анализа неустойчивости лигаментов:

$$d_{drop} = C \left(\frac{Q\mu}{\rho \omega^2 R^2} \right)^{0,2} \left(\frac{\sigma}{\rho R^2} \right)^{-0,6} R, \quad (2)$$

где μ – динамическая вязкость, Па· с;

p – плотность, кг/м^3;

σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;

C – эмпирическая константа [1,2].

Для воды при стандартных условиях (ρ = 1000 кг/м^3, (σ = 0.072 Н/м, μ = 0.001 Па·с)

Подставляя значения, получаем прямую связь между толщиной пленки и размером капель:

$$d_{drop} \sim h_R^{0,6}$$

Из данной зависимости можно сказать, что увеличение толщины пленки на кромке диска приводит к увеличению среднего диаметра капель пропорционально $h^{0,6}$. Это суб-линейная зависимость: утолщение пленки вдвое дает рост капли примерно в 1.5 раза (а не и 2 раза).

Для наглядности проведем расчет для параметров, характерных для распылителей на агродрон.

R – 0.05 м, N –10000 об/мин, ω – 1047 рад/с, ν – $10 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, p –1000 кг/м^3

Результаты представлены на рисунке 1.

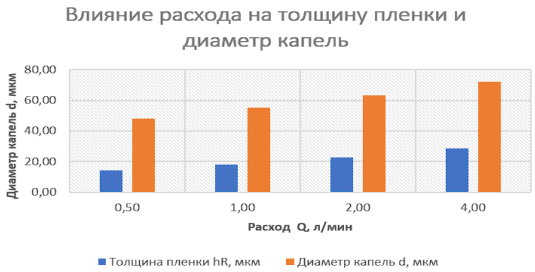

Рисунок 1 – Влияние расхода на толщину пленки и диаметр капель

Из рисунка следует, что при четырехкратном увеличении расхода пленка утолщается на 59%, однако размер капель увеличивается лишь на 31%. Это подтверждает «буферный» характер толстой пленки: жидкость накапливается на кромке, переходя в нитевой режим распада, что частично компенсирует ее утолщение. Результаты представлены на рисунке 2.

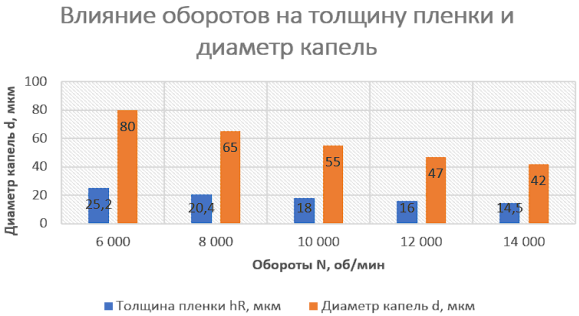

Рисунок 2 – Влияние оборотов на толщину пленки и диаметр капель

Из рисунка следует, что снижение оборотов с 10 000 до 6 000 (в 1.67 раза) приводит к утолщению пленки на 40% и огрублению капель на 45%. Это существенно ухудшает качество покрытия и повышает риск стекания препарата с листовой поверхности.

Заключение

Проведенный анализ показал, что толщина пленки жидкости на дисковом распылителе агродрона является ключевым параметром, связывающим гидравлический режим (расход) с качеством распыла. Зависимость размера капель от толщины пленки носит доли-

нейный степенной характер ($d \sim h^{0.4...0.6}$), что обеспечивает высокую устойчивость системы к колебаниям расхода. Основным рычагом управления дисперсностью при изменении толщины пленки является угловая скорость вращения диска, влияние которой доминирует над влиянием расхода. Для практики агродронов это означает: при увеличении нормы внесения оператор должен в первую очередь увеличивать обороты распылителя, а не полагаться на снижение скорости полета.

Список использованной литературы

1. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984.

2. Домбровский Н.Н., Свиридов В.А. Центробежные распылители жидкости. – М.: Машиностроение, 1985.

3. Успенский С.А., Довыденков А.К., Вейсал Р.И. Применение искусственного интеллекта и машинного обучения в сельском хозяйстве // Интеграция аірарной науки, практики и образования как условие продовольственной безопасности: сборник материалов международной научной конференции. – Смоленск, 2023. – С. 230-236.

4. Успенский С.А., Скобеев И.И., Жеуров Н.А. Исследование применения БПЛА в АПК // Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы: сборник материалов международной научной конференции. - Смоленск, 2024. – С. 281–284.

5. Аіродроны в 2025 году: полное руководство по бизнес-моделям /А.Тафратов //Р8В МесЗіа ЇЖЬ: Ьир8://Г8Ьтесііа.ги/2025/10/20/а2госІгопу-v-2025-ё;о(іи-роІпоегикovогізIvo-ро-Ъігпей-тосIeIуат/ (дата обращения: 10.12.2025).

УДК 631.8; 631.171

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОШНИКА ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

С.О. Нукешев[1], д-р техн. наук, профессор,
Н.Н. Романюк[2], канд. техн. наук, доцент,
К.М. Тлеумбетов[1], PhD, старший преподаватель,
А.Д. Татымбетов[1], В.Ю. Сенько[2], студенты

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан,
s.nukeshev@kazatu.edu.kz

[2] Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе предложена конструкция распределителя сошника. Теоретические исследования позволили получить дифференциальное уравнение