

**В. К. Клыбик, И. С. Пылило**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: Labts@mail.ru*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СНОСА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ УЛЬТРОМАЛООБЪЕМНОМ ОПРЫСКИВАНИИ**

*Аннотация.* Проведены испытания системы и определены рациональные режимы работы сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для внесения жидких растворов из условия минимального сноса рабочей жидкости при заданных частоте вращения распылителя и размере капель.

*Ключевые слова:* распылитель, агротребования, вращающиеся тарелки, диск, жидкие растворы, ультра-малообъемное, доза.

**V. K. Klybik, I. S. Pylilo**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: Labts@mail.ru*

## **EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEMOLITION OF THE WORKING FLUID DURING ULTRA-LOW VOLUME SPRAYING**

*Abstract.* The system was tested and the rational modes of operation of an agricultural unmanned aerial vehicle for the introduction of liquid solutions from the condition of minimal demolition of the working fluid at a given rotational speed of the rotating sprayer and the size of droplets were determined

*Keywords:* sprayer, agricultural requirements, rotating plates, disk, liquid solutions, ultra-low volume, dose.

### **Введение**

Контролируемое капельное опрыскивание является одним из наиболее эффективных методов уменьшения расхода рабочей жидкости без снижения биологической эффективности применения пестицидов. Реализация данного метода возможна за счет использования вращающихся распылителей специальной конструкции, а также перфорированных барабанов для авиационных и полевых опрыскивателей [1].

Успех эффективного применения пестицидов заключается в равномерном и точном распределении рабочей жидкости на целевом объекте. Немаловажную роль также играет размер капель при внесении препарата. У большинства серийных распылителей, применяемых на полевых тракторных опрыскивателях, факел распыла состоит из полидисперсных капель. При таком способе внесения препарата большие капли не достигают целевого объекта и попадают на землю, а мелкие сносятся ветром. Таким образом неэффективно используется значительная часть вносимых пестицидов, которые вместо использования по целевому назначению загрязняют окружающую среду.

В зависимости от задачи, которая решается с использованием тех или иных средств защиты растений, существует определенный размер капель, которому соответствует наибольший биологический эффект. Основной целью контролируемого капельного опрыскивания является создание факела, состоящего из монодисперсных капель, размер которых в максимальной степени способствует повышению биологического эффекта от применения средств защиты растений.

### **Основная часть**

Беспилотный летательный аппарат для защиты растений оснащен центробежной распылительной форсункой. Испытание на размер частиц и анализ ширины распыления центробежной распылительной форсунки проводятся на основе закона движения группы капель.

Для проверки показателей сноса рабочей жидкости для защиты растений макетный образец оснащен центробежной распылительной форсункой. Учитывая, что порывы ветра на открытом воздухе являются серьезным ограничением при измерении осаждения капель, испытание проводилось в закрытом помещении.

Общий вид макетного образца для проверки показателей сноса рабочей жидкости представлен на рис. 1. Номинальное напряжение мембранного насоса системы подачи жидкости составляет 50 В, расход насоса составляет 700 мл/мин, а система измерения размера частиц состоит из миллиметровой бумаги и лабораторного микроскопа МПБ-2. Рабочие параметры и принцип работы этой системы следующие: частота инвертора регулируется таким образом, чтобы частота вращения катушки составляла от 8,33 до 16,67 об/с, производительность насоса регулируется до 700 мл/мин, температура внутри помещения составляет  $(30 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $35 \pm 10 \%$ , выходное отверстие распылителя находится на расстоянии 0,3 м от земли, в помещении нет ветра. Начало координат находится непосредственно под центром форсунки.



Рис. 1. Общий вид макетного образца

Был проведен полный факторный эксперимент. Параметр оптимизации обозначен символом  $u$ , и в качестве его был принят показатель сноса рабочей жидкости, измеряемый в метрах [2].

За факторы процесса, влияющие на показатель параметра оптимизации, были приняты скорость ветра (м/с), размер капель (мкм) и частота вращения распылителя (об/мин) (табл. 1).

Таблица 1. Перечень регулировочных факторов, характеризующих процесс внесения жидких растворов

Тип машин	Факторы		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Макет системы внесения жидких растворов	$V_w$	$Dk$	$n$

Скорость ветра определяли анемометром. Размер капель определяли с помощью микроскопа после нанесения подкрашенного раствора на бумагу. Изменение частоты вращения вращающегося распылителя осуществляли частотным регулятором, а фактическое значение измеряли тахометром.

Выбор уровней значений для каждого из факторов, включенных в эксперимент, составил: для  $V_w = 0,5-3,00$  м/с,  $Dk = 0,16-0,34$  мм,  $n = 8,33-16,67$  об/мин. Для каждого фактора определяли основной уровень и интервал варьирования.

Для проведения полнофакторного эксперимента построили план-матрицу проведения опытов с реализацией всех возможных сочетаний упорядоченных комбинаций факторов (табл. 2).

Таблица 2. План-матрица проведения опытов

№ опыта	$x_1 \rightarrow V_w$	$x_2 \rightarrow Dk$	$x_3 \rightarrow n$
1	0,5	0,34	8,33
2	3,0	0,34	8,33
3	0,5	0,16	8,33
4	3,0	0,16	8,33
5	0,5	0,34	16,67
6	3,0	0,34	16,67
7	0,5	0,16	16,67
8	3,0	0,16	16,67

Для записи априорных сведений о факторах процесса, записи верхних, нижних и основных уровней варьирования факторов, интервалов варьирования, плана матрицы планирования, результатов эксперимента, промежуточных и конечных результатов расчета, для проверки воспроизводимости эксперимента, значимости коэффициентов, проверки адекватного описания процесса подготовили к заполнению журнал планирования эксперимента.

Порядок проведения опытов рандомизирован. По каждой точке плана матрицы планирования устанавливали действительные значения факторов, верхний или нижний уровень, в порядке реализации опытов первой серии эксперимента. Требуемые фактические значения факторов поддерживали постоянными в течение опыта.

После реализации опыта получили действительные значения ожидаемого показателя параметра оптимизации по всем точкам плана матрицы планирования.

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов декодировали уравнение регрессии [3, 4, 5]. Для этого нашли значения факторов  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  в натуральных их значениях по формуле

$$x_j = \frac{2z_j - z_{jn} - z_{je}}{z_{je} - z_{jn}},$$

где  $z_j$  – натуральное значение факторов;  $z_{jn}$  – нижний предел натурального значения фактора;  $z_{je}$  – верхний предел натурального значения фактора.

Фактор скорости ветра в натуральных значениях:

$$x_1 = \frac{2V_w - 0,5 - 3,0}{3,0 - 0,5} = 0,8V_w - 1,4.$$

Фактор размера капель:

$$x_2 = \frac{2Dk - 0,34 - 0,16}{0,16 - 0,34} = -11,1Dk + 2,78.$$

Фактор частоты вращения диска:

$$x_3 = \frac{2n - 8,33 - 16,67}{16,67 - 8,33} = 0,24n - 3.$$

Подставив натуральные значения факторов  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  в уравнение регрессии, получили функцию отклика в зависимости от натуральных значений

$$y = -0,24 + 1,62 \cdot V_w - 0,86 \cdot Dk - 0,005 \cdot n + 0,02 \cdot Dk \cdot n - 0,085 \cdot V_w \cdot Dk \cdot n + 1,06 \cdot V_w \cdot Dk + 0,02V_w \cdot n.$$

При анализе функции отклика по влиянию факторов получены следующие значения: при максимальной скорости ветра  $V_w = 3,0$  м/с с минимальными размером капель  $Dk = 0,34$  мм и минимальной частотой вращения вращающегося распылителя  $n = 8,33$  об./с снос рабочей жидкости

составил 5,2 м; при минимальной скорости ветра  $V_w = 0,5$  м/с с максимальным размером капель  $Dk = 0,16$  мм и минимальной частотой вращения вращающегося распылителя  $n = 8,33$  об./с снос рабочей жидкости снижается до 0,53 м; а при минимальной скорости ветра  $V_w = 0,5$  м/с с минимальными размером капель  $Dk = 0,34$  мм и максимальной частотой вращения вращающегося распылителя  $n = 16,67$  об./с снос рабочей жидкости составил 0,41 м. Следовательно, на снос рабочей жидкости наибольшее влияние оказывает скорость бокового ветра. Влияние других факторов сказывается в меньшей степени, однако учитывать их стоит.

Рациональные режимы работы сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для внесения жидких растворов выбираем из условия минимального сноса рабочей жидкости при заданных частоте вращения вращающегося распылителя и размере капель. Для обоснования конструктивных решений по полученному уравнению регрессии была построена диаграмма зависимости смещения рабочего раствора от скорости ветра и размера капель (рис. 2).

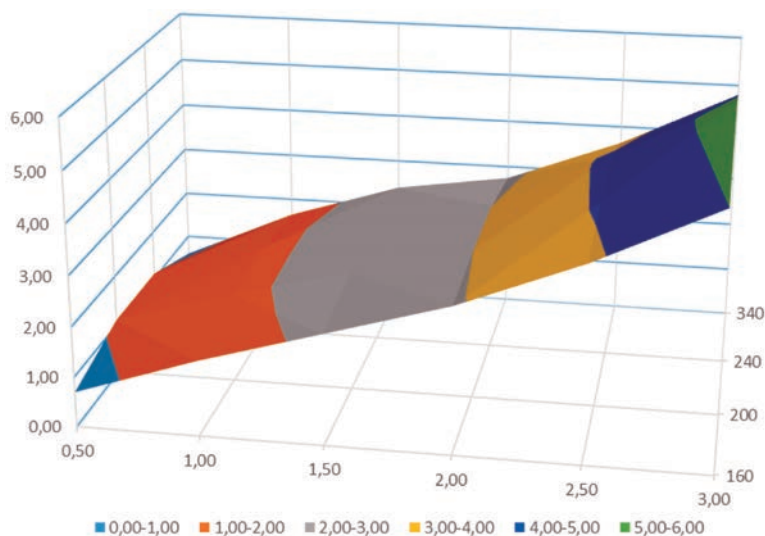


Рис. 2. Диаграмма зависимости смещения рабочего раствора от скорости ветра и размера капель

На рис. 3 показано соответствие между расстоянием дрейфа капли и скоростью ветра при различных размерах капель.

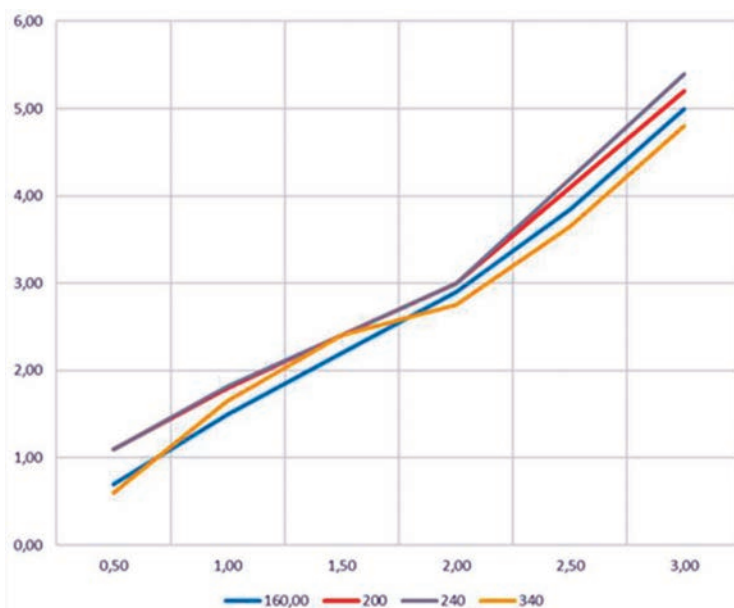


Рис. 3. Графики зависимости сноса рабочей жидкости от скорости ветра при различных размерах капель

Под воздействием ветра процесс дрейфующего движения капли включает в себя взаимодействие капли и поля воздушного потока, обмен импульсом и энергией между непрерывной фазой и дискретной фазой, а также турбулентную пульсацию поля потока. В то же время эти факторы также связаны друг с другом. Такая зависимость факторов приводит к тому, что модель дрейфа распыления мультироторного беспилотного летательного аппарата для защиты растений демонстрирует сильную нелинейность. Для выяснения взаимосвязи между дрейфом капель и этими факторами необходимо проведение дополнительных исследований.

### **Заключение**

Анализ полученных зависимостей и закономерностей показал, что в случае, когда размер капли составляет 240 мкм, расстояние дрейфа капли становится все больше по мере постепенного увеличения скорости ветра. При скорости наветренной стороны менее 1,75 м/с скорость нисходящего потока воздуха роторов БПЛА влияет на боковое перемещение капли и таким образом боковое расстояние капли медленно увеличивается, а увеличение расстояния дрейфа постепенно уменьшается. Когда скорость ветра увеличивается до 1,75 м/с или более, влияние наветренного потока воздуха на движение капель постепенно становится выше, чем влияние нисходящего потока воздуха от ротора. Следовательно, поперечное расстояние капли увеличивается быстрее, а расстояние дрейфа увеличивается постепенно.

Следовательно, в целом, когда скорость ветра находится в пределах 3 м/с, чем больше размер частиц, тем дальше уносится капля; но, когда размер частиц достигает определенного уровня, наветренный поток воздуха становится доминирующим фактором, влияющим на расстояние дрейфа капли, и чем больше размер частиц, тем ближе дрейф капель. Когда скорость ветра составляет 2 м/с, а размер частиц колеблется от 150 до 350 мкм, расстояние дрейфа капли превышает площадь нисходящего потока. По мере увеличения размера частиц расстояние дрейфа капли сначала увеличивается, а затем уменьшается.

### **Список использованных источников**

1. Беспилотники в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] // Российские беспилотники. Russian Drones. – Режим доступа: <https://russiandrone.ru/publications/bespilotniki-v-selskomkhozyaystve>. – Дата доступа: 24.09.2020.
2. Вейников, В. А. Теория подобию и моделирования / В. А. Вейников. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
3. Вольф, В. Г. Статистическая обработка опытных данных / В. Г. Вольф. – М.: Колос, 1966. – 255 с.
4. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1972. – 358 с.
5. Губин, В. И. Статистические методы обработки экспериментальных данных / В. И. Губин, В. Н. Осташков: учеб. пособие для студентов технических вузов. – Тюмень: Изд-во «ТюмГНГУ», 2007. – 202 с.