

А. В. Ленский, А. А. Жешко*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: alex_lensky@mail.ru***К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КУКУРУЗЫ ОТ
НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ АГРОДРОНА**

Аннотация. В статье представлена программа и методика исследований эффективности обработки кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродрона, приведены особенности настройки параметров химической обработки.

Ключевые слова: агродрон, насекомые-вредители, химическая защита, параметры эксплуатации, качество осадения, результаты эксперимента, оценка биологической эффективности.

A. V. Lenski, A. A. Zheshka*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: alex_lensky@mail.ru***ON THE ISSUE OF ASSESSING THE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF PROCESSING
CORN FROM INSECT PESTS USING AN AGRODRON**

Abstract. The program and methodology of research on the effectiveness of processing corn from insect pests using an agrodrone are presented, and the features of setting the parameters of chemical treatment are given.

Keywords: agricultural drone, insect pests, chemical protection, operating parameters, deposition quality, experimental results, biological efficiency assessment.

Введение

Современные технологии растениеводства основаны на широком применении химических средств защиты растений, использование которых оказывает решающую роль в получении сельскохозяйственной продукции требуемых объемов и качества. При этом немаловажное значение имеют показатели экономической и биологической эффективности, производительности и «экологичности» (минимизации негативного воздействия на окружающую среду) химических обработок. Новые возможности для улучшения этих показателей открылись с появлением и все более активным применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или агродронов. В настоящее время на рынке доступно множество моделей специализированных БПЛА, однако ощущается нехватка научного обеспечения и подтверждения целесообразности использования дронов для химической обработки различных культур.

В Беларуси были проведены определенные исследования, доказывающие экономическую и технологическую эффективность использования агродронов. В частности, производственный анализ применения технологии опрыскивания с помощью БПЛА собственной разработки А-60Х был выполнен компанией «Авиационные технологии и комплексы» при внесении средств защиты растений на посевах зерновых культур и подсолнечника [1].

Выполненные исследования подчеркивают возрастающую роль БПЛА в трансформации традиционных методов сельскохозяйственного производства, а также их потенциальные возможности в части повышения эффективности и снижения экологического воздействия на окружающую среду. В то же время существует объективная необходимость выполнения более масштабных исследований и оптимизации эксплуатационных параметров опрыскивания высокостебельных культур с применением БПЛА, в том числе с проведением оценки биологической эффективности действия препаратов.

Основная часть

Исследование технологических аспектов химической обработки кукурузы от насекомых-вредителей осуществляется с применением специализированного агродрона промышленного производства. В качестве базовой модели принят агродрон Z30 компании EFT Electronic Technology (для проведения исследований допускается использовать иную модель БПЛА, имеющую аналогичные технические и эксплуатационные характеристики).

Агродрон Z30 имеет модульную конструкцию и состоит:

- из механических элементов: рама, стойки шасси, лучи с механизмом складывания и фиксации, крышки и корпусные изделия;
- электронных компонентов управления полетом: контроллер, система RTK и GPS, система связи;
- силовой установки: бесколлекторные моторы с регуляторами оборотов (ESC), пропеллеры;
- систем контроля: фронтальный и задний радары, радар высоты, FPV-камера;
- системы внесения пестицидов: бак с насосами и датчиком потока, весовой модуль, центробежные форсунки;
- системы питания: аккумуляторная батарея, платы распределения питания (рисунок 1).

Масса агродрона с установленной системой внесения пестицидов и аккумулятором составляет 40 кг, максимальная взлетная масса – 70 кг. Габаритные размеры БПЛА – 2435 × 2541 × 752 мм (в рабочем положении), 979 × 684 × 752 мм (в транспортном положении). В конструкции агродрона Z30 использованы современные материалы, обладающие высокой прочностью и износостойкостью: материал рамы и шасси – авиационный алюминий, материал несущих элементов – ударопрочный углеродный пластик, материал лучей и пропеллеров – карбон.

Эксплуатационные характеристики агродрона Z30 приведены на основе документации производителя БПЛА:

- максимальная высота полета – до 60 м; минимальная рабочая высота при опрыскивании – 1 м над культурой;
- максимальное время полета – 17,5 мин (пустой бак); 7,5 мин (при полной загрузке) при использовании батареи типа 14S30000 mAh;
- максимальная дальность полета – до 3 км при отсутствии препятствий;
- максимальный угол крена – 15–30°;

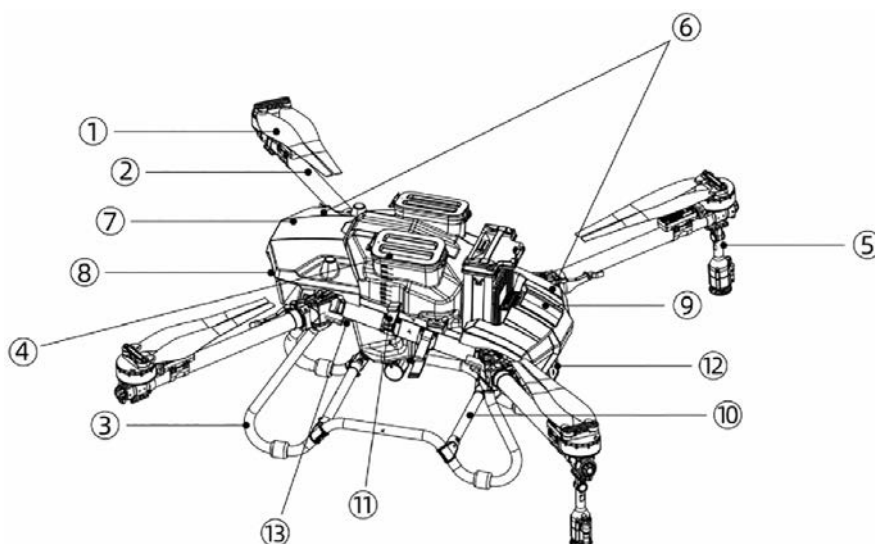


Рисунок 1 – Общий вид агродрона EFT Z30: 1 – бесколлекторный мотор с регулятором оборотов (в комплекте); 2 – луч (диаметр 50 мм); 3 – стойки шасси; 4 – бак для пестицидов (емкость 30 л); 5 – центробежная форсунка; 6 – защитные панели; 7 – передняя крышка; 8 – фронтальная камера; 9 – задняя крышка; 10 – поперечина шасси; 11 – транспортировочная защелка луча; 12 – радар предотвращения столкновений; 13 – антенны радиосвязи

— максимальная скорость полета – 20 м/с; минимальная рабочая скорость при опрыскивании – 0,5 м/с;

— максимальная допустимая скорость ветра – 5 м/с; температура воздуха при эксплуатации – от 0 °С до +40 °С.

Агродрон Z30 несет на себе следующие элементы полезной нагрузки: система внесения пестицидов (включает бак с установленными насосами, датчиком потока и уровня, трубопроводы, центробежные форсунки), радар высоты, радары предотвращения столкновений, фронтальная камера и контрольные светодиодные фонари. Система внесения удобрений изначально является составной частью агродрона и показатели центровки Z30 установлены изготовителем с учетом ее обязательной установки. Максимальная производительность водяных насосов составляет 16 л/мин (2 × 8 л/мин). Центробежные форсунки с принудительным охлаждением обеспечивают распыление рабочего раствора в пределах 50–500 мкм в зависимости от установленной ширины внесения.

Радар высоты (производство JIYI Robot) установлен в нижней части агродрона и предназначен для отслеживания изменения рельефа в направлении полета и корректировки высоты полета для обеспечения равномерного опрыскивания. Диапазон рабочей высоты радара – 0,3–15 м, точность определения высоты – 0,05 м. Радары предотвращения столкновений (JIYI Robot) установлены в передней и задней части агродрона и предназначены для измерения относительного расстояния между БПЛА и препятствием в процессе полета. Рабочий диапазон радаров предотвращения столкновений – 1,0–25 м, точность определения расстояния – 0,1 м, разрешение – 0,6 м. Наиболее эффективно радары работают при скорости полета не более 6 м/с, когда угол крена – до 20°, а высота полета – не менее 2 м.

Фронтальная камера с LED-подсветкой предназначена для передачи видеоизображения на пульт оператора БПЛА для дополнительного контроля окружающей обстановки. Контрольные светодиодные фонари интегрированы в лучи БПЛА и предназначены для упрощения визуального контроля за работой агродрона, особенно в темное время суток.

Радар высоты, радары предотвращения столкновений, фронтальная камера и контрольные светодиодные фонари – существенно не изменяют вес, центровку, нагрузку на электросеть и динамику полета.

Целевая нагрузка включает рабочий раствор для внесения. Добавление целевой нагрузки увеличивает массу, но существенно не изменяет центровку БПЛА. Учет динамического изменения массы агродрона Z30 в процессе работы осуществляется полетным контроллером, который соответствующим образом корректирует работу моторов для стабильного выполнения полета.

Силовая установка и система питания. На агродроне Z30 используется целостная силовая установка производства компании HobbyWing, которая включает регулятор оборотов (ESC), бесколлекторный электродвигатель и воздушный винт:

— модель двигателя: 11115 (95kV);

— максимальная тяга: 34 кг;

— максимальный пиковый ток регулятора оборотов: 150 А (в течение 10 с);

— количество воздушных винтов: 4.

Вид и объем используемого топлива: Smart-аккумулятор компании Shenzhen Zhian New Energy Technology Co., Ltd., модель – ZAB1430-02, емкость аккумулятора – 30000 mAh, масса – 10,2 кг. Батареи для БПЛА емкостью 30 Ah (ZAB1430-02) рекомендованы производителем БПЛА и имеют соответствующие сертификаты и протоколы испытаний.

Контроль за работой силовой установки, уровнем заряда и состоянием ячеек аккумулятора осуществляется с пульта управления оператора БПЛА в приложении «Агро Помощник». Дополнительно уровень заряда аккумулятора отображается светодиодной индикацией на его корпусе (5 светодиодов обеспечивают шаг контроля – 20 %). При достижении низкого уровня заряда аккумулятора производится оповещение в приложении «Агро Помощник», при достижении критического уровня заряда аккумулятора – автоматический возврат на точку взлета или принудительная посадка БПЛА (низкий и критический уровни устанавливаются в приложении «Агро Помощник»).

Производителем Shenzhen Zhian New Energy Technology Co., Ltd установлен гарантийный срок эксплуатации аккумуляторов – 650 циклов заряд/разряд. Количество циклов отображается на дисплее зарядного устройства в процессе зарядки аккумулятора либо может быть проконтролировано при помощи Android-приложения, рекомендуемого производителем аккумуляторов.

Система управления и навигации. Расположение авионики основано на групповом модульном принципе – в передней части агродрона Z30 на специальной площадке смонтированы полетный контроллер, приемник радиосигнала, модуль точного позиционирования (RTK) и приемник GPS. Антенны RTK размещены по краям площадки с соблюдением минимального расстояния между ними (не менее 40 см). Антенны радиосвязи с пультом оператора расположены под несущей рамой БПЛА. Подключение силовой установки и полезной нагрузки к полетному контроллеру осуществляется через платы управления и питания, смонтированные в передней и задней частях агродрона (рисунок 2).

Агродрон Z30 оснащен полетным контроллером серии K++V2 (JIYI Robot). При необходимости импорт ключевых параметров можно осуществить с пульта управления в приложении «Агро Помощник».

Принцип определения БПЛА своего местоположения – спутниковая система позиционирования GPS и точное позиционирование RTK на основе собственной базовой станции или дифференциальных поправок NTRIP.

Точность позиционирования GPS: горизонтальная – $\pm 1,5$ м; вертикальная – $\pm 0,5$ м; точность позиционирования RTK: горизонтальная – $\pm 0,05$ м; вертикальная – $\pm 0,1$ м.

Процедура проверки навигационной системы – автоматическая с отображением типа сигнала, количества спутников и мощности сигнала RTK на пульте оператора в приложении «Агро Помощник». Резервная система навигации – визуальное позиционирование (с учетом радара высоты, радаров предотвращения столкновений, фронтальной камеры).

При эксплуатации агродрона Z30 предусмотрено 3 режима полета: ручной с искусственной стабилизацией и удержанием высоты, автоматический на основе запланированного и рассчитанного маршрута, А-В (параллельно заданной линии).

Для управления агродроном используется пульт дистанционного управления МК15 (рисунок 3). Канал управления использует спектр радиочастот, соответствующий законодательству Республики Беларусь. Соединение пульта с БПЛА осуществляется по протоколу UART. Для обеспечения стабильности сигнала и безопасности полета рекомендуется, чтобы расстояние между пультом дистанционного управления и дроном не превышало 1 000 м.

На пульте отображаются маршрут полета, технологические параметры внесения пестицидов, параметры полета, видео с камеры агродрона. При помощи стиков, встроенных кнопок и переключателей осуществляется управление агродроном Z30, полезной нагрузкой, обеспечивается переключение режимов работы. Пульт управления работает с приложением «Агро Помощник»

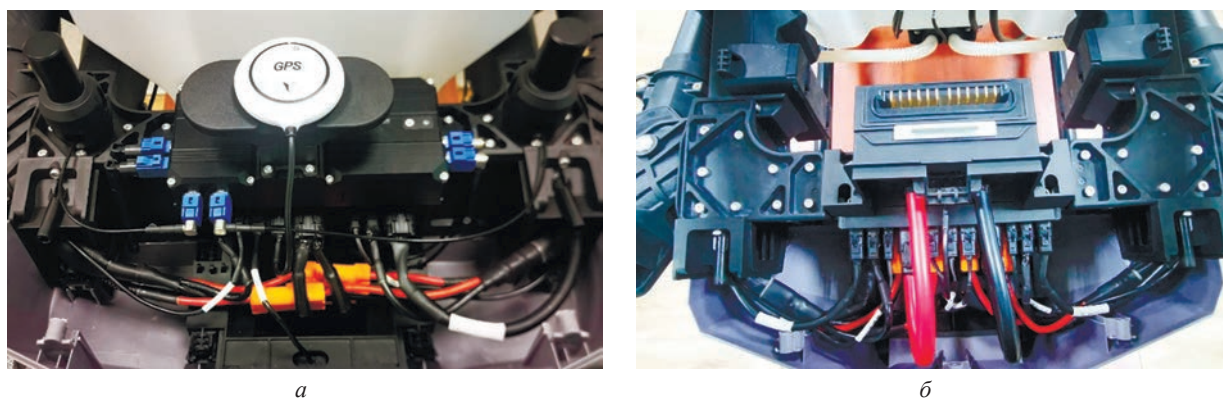


Рисунок 2 – Расположение элементов авионики агродрона Z30:
а – плата контроллера с GPS и RTK; б – плата распределения питания



Рисунок 3 – Пульт дистанционного управления агродрона Z30

на операционной системе Android. При эксплуатации агродрона Z30 предусмотрен комплекс предупреждающих сигналов, поступающих оператору с экрана пульта управления:

- необходимость калибровки пульта или систем контроллера (акселерометра, магнитного компаса, GPS);
- предупреждение об уровне сигнала RTK;
- предупреждение о фиксации лучей;
- информирование о записи маршрута;
- предупреждение о низком и критическом уровне заряда батареи;
- предупреждение о срабатывании радаров предотвращения столкновений (с прекращением полета и зависанием дрона на месте);
- предупреждение об изменении режима полета;
- предупреждение об остатке рабочего раствора / минеральных удобрений в баке (при выработке бака – зависание или возврат на точку взлета);
- предупреждение о возврате на точку взлета или посадке.

Кроме того, на пульте имеется 5 светодиодов, которые могут отображать предупреждающие сигналы о состоянии пульта и агродрона.

Системы наземного вспомогательного оборудования. Транспортировка агродрона Z30 осуществляется в сложенном состоянии на грузовом микроавтобусе. При транспортировке БПЛА должен быть зафиксирован ремнем, продетым через монтажные кронштейны рамы, лопасти пропеллеров должны быть сложены и зафиксированы специальными креплениями.

Запрещается транспортировка БПЛА с заполненной емкостью для пестицидов (в целях безопасности и исключения повреждения других устройств).

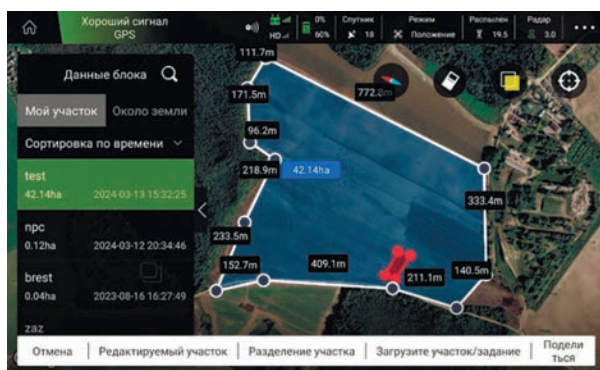
Запрещается транспортировка БПЛА с установленным в нем аккумулятором.

Для зарядки аккумуляторов БПЛА используется двухканальное зарядное устройство ZAC60A0-01 компании Shenzhen Zhian New Energy Technology Co., Ltd., рекомендованное изготовителем БПЛА. Устройство обеспечивает возможность быстрой зарядки аккумулятора в течение 10–12 мин, имеет защиту от перенапряжения, перегрузки по току, короткого замыкания, имеет поддержку связи с батареей интеллектуального режима зарядки и обновления по USB.

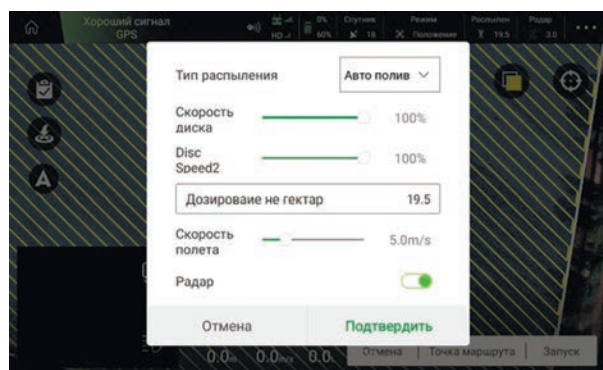
В качестве источника энергии используется бензиновый генератор с розеткой 32 А мощностью не менее 7 кВт.

Для контроля метеоусловий, в частности, для измерения скорости ветра, используется портативный ультразвуковой анемометр, установленный на штативе на высоте порядка 3 м.

Настройка параметров химической обработки. Проведение химических обработок с применением агродронов предполагает выполнение комплекса подготовительных процедур для обес-



а



б

Рисунок 4 – Определение параметров полета: а – определение границ участка и препятствий; б – определение параметров внесения рабочего раствора

печения безопасности полетов. Их последовательность определена в эксплуатационной документации БПЛА, включая «Оценку эксплуатационных рисков при выполнении полетов гражданского беспилотного летательного аппарата EFT Z30».

После выполнения всех процедур предполетной подготовки осуществляется непосредственное планирование маршрута полета в соответствии со схемой экспериментальных исследований. Для агродрона Z30 определение плана полета и параметров химических обработок выполняется в приложении «Агро Помощник» (непосредственно с пульта управления). В данном приложении устанавливаются границы участка, ширина захвата, высота и скорость полета, норма внесения рабочего раствора (рисунок 4).

Помимо проверки работоспособности элементов авионики и навигации БПЛА особое внимание необходимо уделить корректности функционирования системы внесения пестицидов [2]. Для этого непосредственно в поле осуществляется проверка и при необходимости калибровка датчика потока и весового модуля в соответствии с рекомендациями изготовителя БПЛА [3, 4].

При этом важно, чтобы равномерность распыления различными форсунками и общий расход рабочего раствора экспериментально были проверены в ходе контрольных полетов непосредственно перед проведением основного эксперимента.

После настройки и проверки всех систем агродрона осуществляется подготовка рабочего раствора пестицида требуемой концентрации в соответствии с планом эксперимента. Для выполнения исследований по защите кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька применяется инсектицид Кораген, КС (хлорантранилипрол, 200 г/л) с нормой расхода 0,2 л/га. Обработка растений от западного кукурузного жука проводится инсектицидом Органза, КС (ацетамиприд, 100 г/л + лямбда-цигалотрин, 100 г/л) с нормой расхода 0,2 л/га.

При подготовке рабочего раствора обязательно соблюдается рекомендуемая норма внесения препарата, т. е. для различных схем внесения могут использоваться растворы различной концентрации. Так, при установке в приложении «Агро Помощник» нормы 15 л/га для обработки 1 гектара используется рабочий раствор, содержащий 14,8 л воды и 0,2 л препарата (концентрация раствора 1,3 %).

Программа экспериментальных исследований. Для определения технологических параметров процесса химической защиты посевов кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродрона с центробежными распределяющими рабочими органами программой экспериментальных исследований предусматривается решить следующие задачи.

1. Исследовать влияние скорости полета, нормы внесения рабочего раствора и скорости вращения атомизаторов форсунок на распределение капель (для двух ярусов растений) при фиксированной ширине опрыскивания и рекомендуемой высоте полета. Исследовать осаждение капель на поверхность почвы (при возможности).

Цель – установить зависимость эффективности осаждения рабочего раствора от технологических параметров БПЛА (для нижнего и верхнего ярусов кукурузы).

2. Выполнить оценку биологической эффективности действия инсектицидов против стеблевого мотылька и западного кукурузного жука при наиболее рациональных технологических параметрах работы агродрона, обеспечивающих наилучшее осаждение рабочего раствора по ярусам растений.

Цель – установить показатели снижения численности насекомых-вредителей (западного кукурузного жука) и уменьшения повреждаемости культурных растений стеблевым мотыльком при обработке кукурузы при помощи БПЛА.

Методика проведения экспериментальных исследований. Цель полетов – химическая обработка кукурузы от насекомых-вредителей. Полеты осуществляются в ручном и/или автоматизированном режиме с целью проведения химической обработки в условиях VLOS в сегрегированном воздушном пространстве над землями сельскохозяйственного назначения (полевые участки).

Полеты гражданского БПЛА выполняются на основании поданной в Центр единой системы организации воздушного движения (ЦЕС ОрВД) и одобренной заявки на использование воздушного пространства Республики Беларусь (ИВП).

Условия проведения экспериментальных исследований. Химическая обработка сельскохозяйственных угодий агродроном проводится при следующих режимах полета и метеоусловиях:

- максимальная рабочая высота полета – до 6 м, максимальная высота возврата на точку взлета – до 20 м;
- максимальная рабочая скорость полета при опрыскивании – до 10 м/с;
- максимальная дальность полета – зона радиусом в 500 м от точки взлета;
- максимальная допустимая скорость ветра – 5 м/с, рабочая температура – от +15 °С до +40 °С, погодные ограничения: туман, дождь, шквалистый ветер, мокрый снег, снег с дождем;
- время полета: день, ночь (при работающих светодиодах красного и зеленого цвета).

На качество опрыскивания при помощи агродрона оказывает достаточное влияние возможность сноса препарата, поэтому для контроля этого риска следует руководствоваться практическими рекомендациями: выполнять обработку на высотах не более 3 м над культурой и скорости ниже 8 м/с (в настоящем исследовании оценка сноса не проводится) [5].

Экспериментальные исследования должны проводиться при минимальной вариации температуры воздуха и скорости ветра, чтобы исключить или снизить потенциальные риски, связанные с воздействием указанных факторов на процесс распыления и осаждения капель рабочего раствора.

Измерения метеорологических параметров проводятся при помощи портативной метеостанции Ecowitt WS3901 (рисунок 5).

Для корректного отображения параметров окружающей среды измерительное оборудование должно быть установлено стационарно на расстоянии не менее 20 м от экспериментального участка и на высоте 3 м над землей.



Скорость ветра	от 0 м/с до 40 м/с (точность: <10 м/с, ±0,5 м/с; ≥10 м/с, ±5 %)
Направление ветра	от 0° до 359° (точность: <2 м/с, ±10°; ≥2 м/с, ±7°)
Температура	от -40° до +60° (точность: ±0,3°)
Влажность	от 1 % до 99 % (точность: ±3,5 %)
Освещенность	от 0 до 200 лк (точность: ±15 %)
Уровень УФ	от 1 до 15 (точность: ±2)
Осадки	от 0 мм до 9 999 мм
Давление	от 300 гПа до 1 100 гПа (точность: ±1,5 гПа)

Рисунок 5 – Метеостанция Ecowitt WS3901

Методика исследования технологических параметров агродрона при обработке кукурузы.

Оценка влияния технологических параметров агродрона на эффективность распыления осуществляется на отдельных участках длиной не менее 50 м при фиксированной ширине участка 8,4 м (13 рядков кукурузы), высоте полета 2,5 м над культурой и различных комбинациях исследуемых факторов: скорость полета (X_1 – 4 и 8 м/с), скорость атомайзеров (X_2 – 50 и 90 %, соответствует размеру капли 250 и 80 мкм), норма внесения (X_3 – 15 и 35 л/га). В качестве выходного параметра Y принят показатель степени (равномерности) осаждения рабочего раствора на поверхность листьев кукурузы.

Для проведения исследований выбран план полного факторного эксперимента 2^3 с добавлением центральной точки (таблица). Последующая обработка результатов будет проводиться с применением специализированного пакета Statistica для построения и оценки качества регрессионных моделей.

План эксперимента для исследования технологических параметров работы агродрона

Номер опыта	Независимые параметры			Функция отклика
	X_1	X_2	X_3	Y
1	4 м/с	50 %	15 л/га	Y_1
2	4 м/с	50 %	35 л/га	Y_2
3	8 м/с	50 %	15 л/га	Y_3
4	8 м/с	50 %	35 л/га	Y_4
5	4 м/с	90 %	15 л/га	Y_5
6	4 м/с	90 %	35 л/га	Y_6
7	8 м/с	90 %	15 л/га	Y_7
8	8 м/с	90 %	35 л/га	Y_8
9	6 м/с	70 %	25 л/га	Y_9

Такой подход позволит изучить взаимосвязь технологических параметров работы агродрона при опрыскивании высокостебельных культур и их взаимное влияние на эффективность осаждения капель.

Эксперимент будет включать 9 различных комбинаций обработок, характеризующихся различным сочетанием скорости полета, размера капли и нормы внесения при установленной ширине опрыскивания и рекомендуемой высоте полета над культурой. Поскольку задачей данного этапа исследований является оценка эффективности осаждения рабочего раствора, обработка проводится без использования пестицидов.

Характеристики условий проведения исследований записываются на отдельном листе с указанием даты и места проведения исследований, характеристики культуры (сортовые особенности, стадия роста, высота), характеристики участка и метеоусловий (размер участка, рельеф, температура и относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра по отношению к полету БПЛА).

Степень осаждения распыляемого рабочего раствора фиксируется при помощи водочувствительной бумаги (ВЧБ) компании Syngenta размером 76 × 26 мм (рисунок 6). Допускается использование аналога ВЧБ другого производителя при условии ее способности эффективно фиксировать капли размером 50–500 мкм и мгновенно менять цвет при контакте с жидкостью.

Для оценки распределения капель на двух ярусах кукурузы размещается ВЧБ, закрепленная на верхней части листьев при помощи зажимов или степлера. Высота ярусов фиксируется на отметках 0,6–1,0 м (нижний ярус) и 1,3–1,7 м (верхний ярус) (рисунок 7).

При возможности ВЧБ размещается на поверхности почвы в междурядьях (на деревянных или металлических подставках). Это позволит оценить полноту осаждения рабочего раствора на растения, а также экологическую нагрузку на почву (количество инсектицида, не вступившего в контакт с целевым объектом).

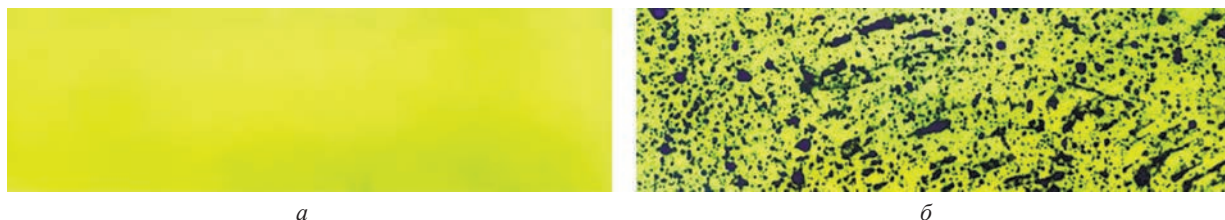


Рисунок 6 – Пример ВЧБ до и после воздействия рабочего раствора: *а* – ВЧБ до использования; *б* – ВЧБ после использования

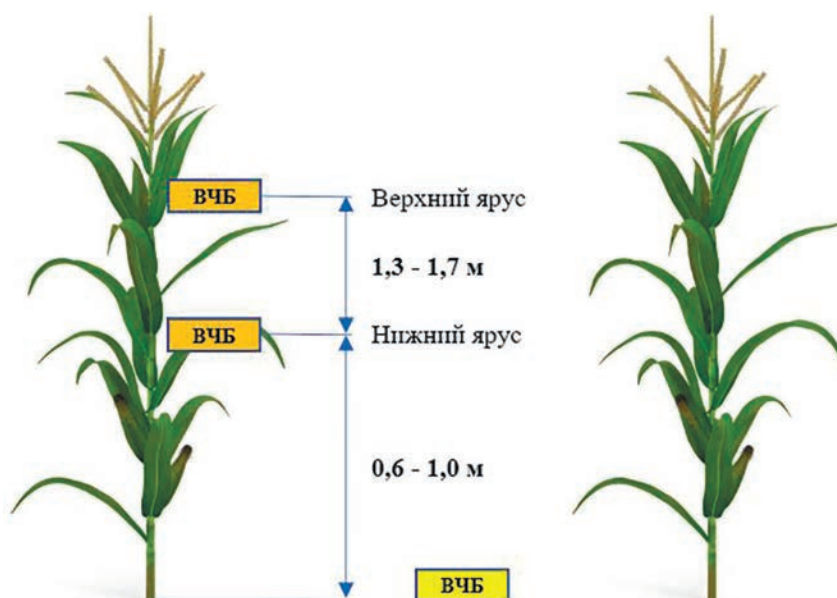


Рисунок 7 – Схема расположения ВЧБ на кукурузе

Визуализация схемы экспериментальных исследований представлена на рисунке 8. Агродрон перемещается над центральным рядком и обрабатывает при фиксированной ширине опрыскивания до 13 рядков кукурузы с междурядьями 70 см. Результаты каждого опыта фиксируются не менее двух раз в целях обеспечения сопоставимости и оценки стабильности выходного параметра.

После проведения опыта листья ВЧБ должны быть аккуратно собраны и упакованы в подписанные индивидуальные пакеты с zip-замком (чтобы исключить контакт между отдельными образцами ВЧБ, предотвратить возможное изменение цвета под воздействием влаги и обеспечить качество полученных данных).

Определение рациональных технологических параметров работы агродрона для проведения биологической эффективности действия инсектицидов выполняется путем первичной визуальной оценки ВЧБ и выбора значений X_1 – X_3 (номера опыта), обеспечивающих лучшее осаждение рабочего раствора по ярусам растений.

Основная оценка качества распыления проводится в лабораторных условиях путем сканирования и создания цифровых изображений ВЧБ с дальнейшей их обработкой в программном приложении DepositScan (оценка плотности капель, степени покрытия и пр.). Для выполнения основной программы исследований потребуется обработать 252 образца ВЧБ (при дополнительном исследовании осаждения рабочего раствора на поверхность почвы – 360 образцов ВЧБ).

Полученные результаты используются для построения регрессионных моделей эффективности осаждения рабочего раствора в зависимости от технологических параметров БПЛА (по ярусам кукурузы).

Методика оценки биологической эффективности обработки кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродрона. Экспериментальные исследования должны проводиться при

гусениц и рассчитывается степень поврежденности растений в сравнении с базовым вариантом (без проведения химической обработки).

Эффективность обработки против западного кукурузного жука определяется на основании подсчета отловленных имаго вредителя феромонными ловушками. Ловушки располагают в посевах кукурузы за 3–5 суток до обработки на разные рядки по диагонали на высоте 1 м с последующей заменой на новые непосредственно перед обработкой и далее в разные дни учетов (через 1–3 суток, 6–8 суток, 12–16 суток после обработки). Определяется среднесуточная численность на ловушку и рассчитывается снижение численности имаго вредителя в сравнении с исходной численностью.

Список использованных источников

1. Оценка эффективности применения комплекса защиты растений на базе агродрона А60-Х / Ю. Леоновец, А. Кувшинов, А. Жуковский [и др.] // Наука и инновации. – 2023. – № 11. – С. 32–36.
2. Z30/Z50 Routine Maintenance Guide : интернет-видеоплатформа. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=3Fp_xE6zI-4 (date of access: 05.02.2024).
3. How to Calibrate the Flow Meter of Z series. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=4FaV88WB6Y8&t=3s> (date of access: 05.02.2024).
4. If the weighing module is not working. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=ld_-DCSS4qI (date of access: 05.02.2024).
5. Equipment for crop protection – Methods for field measurement of spray drift. International standard ISO 22866:2005. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:22866:ed-1:v1:en> (date of access: 05.02.2024).