

А. В. Ленский¹, С. В. Бойко², А. А. Жешко¹, М. Г. Немкевич²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: alex_lensky@mail.ru

²РУП «Институт защиты растений»

аг. Прилуки, Минский район, Минская обл., Республика Беларусь

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ АГРОДРОНА ПРИ ИНСЕКТИЦИДНЫХ ОБРАБОТКАХ КУКУРУЗЫ

Аннотация. В статье представлены основные результаты экспериментальных исследований по оценке технологических параметров работы агродрона при инсектицидных обработках кукурузы.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, сельское хозяйство, химическая защита растений, насекомые-вредители, параметры эксплуатации агродрона, эксперимент.

A. V. Lenski¹, S. V. Boyko², A. A. Zheshka¹, M. G. Nemkevich²

¹RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: alex_lensky@mail.ru

²RUE "Institute of Plant Protection"

ag. Priluki, Minsk district, Minsk region, Republic of Belarus

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES TO EVALUATE THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE AGRODRON IN THE INSECTICIDAL TREATMENT OF CORN

Abstract. The main results of experimental studies on the evaluation of the technological parameters of the agricultural drone during insecticidal corn treatments are presented.

Keywords: unmanned aerial vehicle, Agricultural, chemical plant protection, insect pests, agricultural drone operation parameters, experiment.

Введение

В современном сельском хозяйстве применение химических средств защиты растений (СЗР) имеет важное значение для обеспечения роста урожайности сельскохозяйственных культур и качественных показателей производства продукции растениеводства. В то же время использование сельскохозяйственной химии может оказывать негативное воздействие на окружающую среду, особенно при значительных объемах обработок либо нарушении технологии выполнения работ.

Новые возможности применения СЗР открылись с появлением и все более активным использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или агродронов, работающих по технологии ультрамалообъемного опрыскивания. 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.

Исследованиями, которые активно проводятся в Республике Беларусь и за рубежом, установлено, что применение агродронов позволяет повысить эффективность работ более чем в 1,5 раза, сократив при этом использование пестицидов на 20–30 % за счет применения систем автономной маршрутизации и точности выполнения работ (параллельные проходы, соблюдение высоты

распыления, оптимизация перекрытий), а также использование воды в 15–20 раз за счет реализации технологии ультра- или малообъемного опрыскивания.

В рамках данного исследования была выполнена оценка параметров полета при различных режимах обработки кукурузы на стадиях роста «8–10 листьев – начало выбрасывания метелки» и «цветение – развитие первых зерен», а также оценка биологической эффективности химических обработок, когда затруднено или невозможно применение наземной техники, включая самоходные высококлиренсные опрыскиватели.

Основная часть

Оценка численности доминантных насекомых-вредителей кукурузы. Перед выполнением экспериментальных исследований был проведен мониторинг в агроценозах кукурузы в разных агроклиматических зонах. Выявлено активное развитие доминантного вредителя кукурузы – стеблевого кукурузного мотылька (Lepidoptera: Crambidae: *Ostrinia nubilalis* Hbn., СКМ) в центральных и южных регионах республики. Отмечено, что популяция представлена имаго, яйцами и личинками (гусеницами) 1-го возраста. При визуальном учете плотность яйцекладок СКМ в посевах, возделываемых на зерно, составила 1,0–5,0 шт./100 растений (ЭПВ 1,0–2,0 шт./100 растений), на зеленую массу – 1,0–3,0 шт. (ЭПВ 3,0–4,0 шт./100 растений). Яйцекладки размещались преимущественно на нижней стороне листа (6–7 лист) на высоте 0,4–1,2 м (высота растений кукурузы 1,4–2,1 м) (рисунок 1).

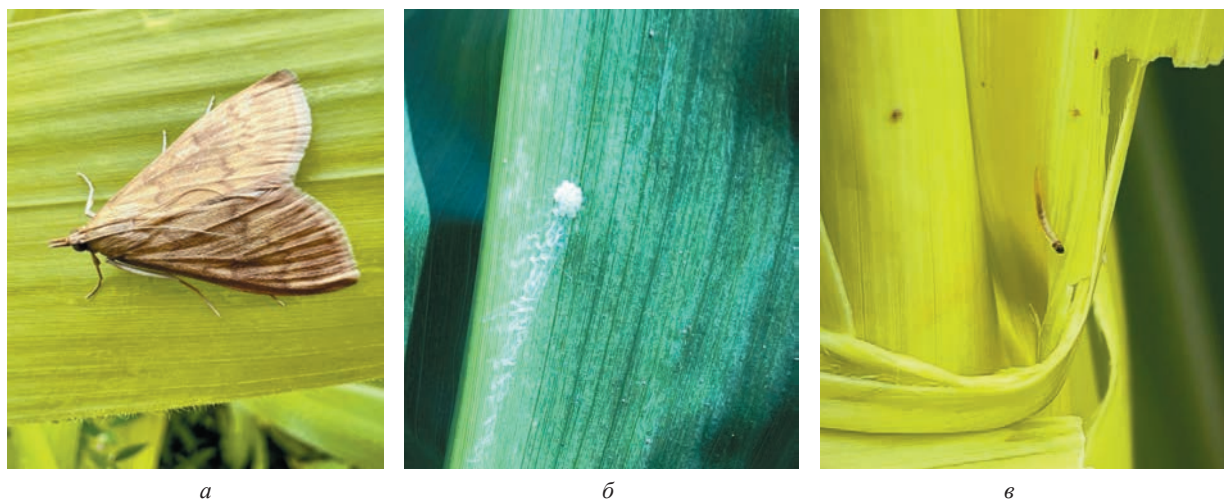
Таким образом установлено, что необходимо контролировать на растениях плотность яйцекладок СКМ независимо от зоны выращивания культуры, гибрида и его ФАО, срока сева, предшественника, стадии развития в каждом конкретном агроценозе.

На основании полученных данных по численности яйцекладок стеблевого мотылька и с учетом погодных условий была проведена закладка производственного опыта по оценке эффективности инсектицидов от СКМ с применением агродрона (Молодечненский район).

Для выявления очагов высокой численности западного кукурузного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte, ЗКЖ) в посевах кукурузы, возделываемой на зерно и на зеленую массу, сотрудниками лаборатории энтомологии РУП «Институт защиты растений» был выполнен феромониторинг карантинного вредителя.

С этой целью были установлены ловушки типа «PAL» (лист прозрачного пластика (36 × 23 см), одна сторона которого покрыта энтомологическим клеем «Унифлекс») с феромоном «Дивабат» (рисунок 2).

Согласно результатам феромонного мониторинга, проведенного в агроценозах кукурузы, в конце июля и I декаде августа высокая численность имаго кукурузного жука (28,5–471,7 ос./ловушку за 7 суток) выявлена в Брестской области.



а

б

в

Рисунок 1 – Популяция стеблевого кукурузного мотылька в посевах кукурузы:

а – имаго, б – яйцекладка, в – гусеница



Рисунок 2 – Расстановка ловушек типа «PAL» в посевах кукурузы: *а* – феромонная ловушка, *б* – мониторинг посевов кукурузы (производственные посевы, Брестская обл.)

Экспериментальные исследования технологических параметров агродрона при обработке кукурузы. Исследование технологических параметров агродрона при химической обработке кукурузы от насекомых-вредителей выполнялось с применением специализированного гражданского БПЛА промышленного производства Z30 компании EFT Electronic Technology (рисунок 3) [1].

В соответствии с разработанной программой и методикой проведения полевых исследований технологических параметров работы БПЛА при защите кукурузы от насекомых-вредителей предполагалось осуществить полный факторный эксперимент 2^3 с добавлением центральной точки [2]. В качестве изменяемых параметров изначально были выбраны скорость полета (4 и 8 м/с), скорость вращения атомайзеров центробежных форсунок (50 и 100 %), норма внесения рабочего раствора (15 и 35 л/га). В процессе предварительных полевых испытаний и визуальной оценки качества осадения план эксперимента был скорректирован.

1. Скорость полета свыше 8 м/с представляется избыточной, поскольку при работе на высоких скоростях наблюдается явление турбулентности и хаотичного распределения рабочего раствора (рисунок 4, *а*).



Рисунок 3 – Общий вид агродрона EFT Z30

2. Максимальная скорость вращения атомайзеров уменьшена до 50 %, минимальная – до 30 % в целях уменьшения сноса и исключения испарения мелкодисперсной капли рабочего раствора при полете агродрона на высотах до 4 м над культурой (рисунок 4, б).

3. Норма внесения рабочего раствора составляла 8–20 л/га.

Таким образом, выполняемый эксперимент был основан на предварительной оценке полетных параметров и включал 5 разных комбинаций обработок, характеризующихся различным сочетанием высоты полета, скорости полета, размера капли и нормы внесения при фиксированной ширине опрыскивания. Этап исследования технологических параметров полета агродрона проводился без использования пестицидов.

Степень осаждения распыляемого рабочего раствора фиксировалась при помощи водочувствительной бумаги (ВЧБ) компании Syngenta.

Для оценки распределения капель на двух ярусах кукурузы была размещена ВЧБ, закрепленная на верхней части листьев [3, 4]. Высота ярусов зафиксирована на отметках 0,6 м (нижний ярус) и 1,7 м (верхний ярус).

Агродрон перемещался над центральным рядком и обрабатывал при фиксированной ширине опрыскивания до 11 рядков кукурузы с междурядьями 70 см (рисунок 5).

Результаты каждого опыта фиксировались два раза в целях обеспечения сопоставимости и оценки стабильности выходного параметра (рисунки 6 и 7).

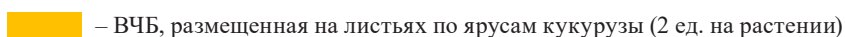
После проведения опыта листы ВЧБ были собраны и упакованы в отдельные пакеты.

В процессе выполнения эксперимента отдельные листы ВЧБ изменили цвет при повышении относительной влажности окружающей среды (вечернее время), что не повлияло на результат оценки осаждения рабочего раствора.

Характеристики параметров полета и внесения рабочего раствора для оценки распределения капель приведены в таблице 1.



Рисунок 4 – Предварительные испытания агродрона с различными параметрами полета при обработке кукурузы в стадии «9–10 листьев»: а – завихрения распыляемого раствора при высокой скорости полета; б – снос рабочего раствора при мелкодисперсной капле



Определение рациональных технологических параметров работы агродрона для проведения биологической эффективности действия инсектицидов была выполнена путем первичной визуальной оценки ВЧБ и выбора соответствующих параметров полета, обеспечивающих хорошее осаждение рабочего раствора по ярусам растений.



6

Таблица 1 – Характеристики параметров полета и внесения рабочего раствора

Параметры полета	Номер эксперимента				
	1	2	3	4	5
Скорость полета, м/с	6,0	8,0	6,0	6,0	7,0
Высота полета над культурой, м	3,0	3,5	3,5	4,0	3,5
Ширина внесения рабочего раствора, м	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Норма внесения рабочего раствора, л/га	10	10	8	10	9
Скорость атомизаторов форсунок, % от максимума	50	40	30	30	40

Основная оценка качества распыления проводится в лабораторных условиях путем сканирования и создания цифровых изображений ВЧБ с дальнейшей их обработкой в специализированном программном приложении, например, DepositScan (оценка плотности капель, степени покрытия и пр.) [5].

Экспериментальные исследования инсектицидных обработок кукурузы при помощи агродрона. Цель полетов – химическая обработка кукурузы от насекомых-вредителей. Полеты осуществляются в автоматизированном режиме 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).

Экспериментальные исследования по защите кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька были проведены в стадии «9–10 листьев» при высоте растений до 1,8 м (III декада июля) в ОАО «Городилово» Молодечненского района (рисунки 8, 9).

Эксперимент был заложен на двух участках с применением инсектицидных препаратов от различных производителей (таблица 2) [6].

Рабочий раствор для проведения исследований по биологической оценке эффективности действия пестицидов готовился непосредственно перед обработкой в объеме, необходимом для опыта.

Примечание. Дополнительно осуществлялся выборочный контроль качества опрыскивания с применением ВЧБ, расположенной по ярусам растений.

Эффективность обработки против стеблевого кукурузного мотылька определяется непосредственно перед уборкой путем подсчета количества гусениц и расчета степени поврежденности растений в сравнении с базовым вариантом (без проведения химической обработки).



Рисунок 8 – Обработка инсектицидом «Кораген»



Рисунок 9 – Обработка инсектицидом «Рино А»

Таблица 2 – Характеристики эксперимента по биологической эффективности действия пестицидов

Параметры полета	Номер эксперимента	
	1	2
Скорость полета, м/с	6,0	6,0
Высота полета над культурой, м	3,5	3,0
Ширина внесения рабочего раствора, м	8,0	8,0
Норма внесения рабочего раствора, л/га	20,0	20,0
Скорость атомизаторов форсунок, % от максимума	50	50

Дополнительные полевые испытания работы агродрона с центробежными распылителями по оценке качества осаждения рабочего раствора были проведены в стадии «цветение – развитие первых зерен» при высоте растений свыше 2,7 м (I декада августа) в ОАО «Остромечье» Брестского района (рисунки 10 и 11).

Также были заложены опыты по защите кукурузы от доминантных насекомых-вредителей (выполнены тестовые обработки) с использованием инсектицидов системного действия «Эффория» и «Органза» (рисунок 12, а). Общая площадь обработок составила 24 га (рисунок 12, б).



Рисунок 10 – Проведение дополнительных испытаний работы агродрона



а



б

Рисунок 11 – Оценка осаднения рабочего раствора: *а* – оценка распыления сотрудниками РУП «Институт защиты растений»; *б* – осаднение раствора на высоте 1,6 м



а



б

Рисунок 12 – Объем тестовых обработок и применяемые СЗР:
а – применяемые инсектициды; *б* – карта опытных полей

Опыты проводились в соответствии с разработанной программой и методикой эксперимента на кукурузе высотой свыше 2,7 м. Режим обработки был установлен на основании полученных ранее результатов оценки технологических параметров БПЛА при опрыскивании высокостебельных культур (высота полета – 3,6 м над культурой, скорость полета – 6,5 м/с, норма внесения рабочего раствора – 10 л/га, размер капли – 260 мкм).

Обработки проводились как в дневное, так и вечернее время (в целях снижения испарения капель рабочего раствора) при отсутствии ветра, нормальной влажности и температуре окружающей среды 18–20 °С (рисунок 13). Контроль параметров окружающей среды осуществлялся при помощи стационарной ультразвуковой метеостанции.

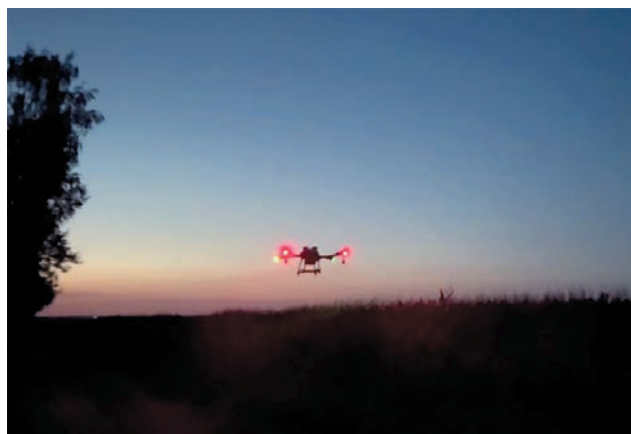


Рисунок 13 – Выполнение тестовых полетов

Заключение

Проведенные исследования по оценке влияния технологических параметров работы агродрона на качество инсектицидных обработок кукурузы от насекомых-вредителей позволили сделать следующие выводы.

Выполнен мониторинг наличия доминантных насекомых-вредителей в агроценозах кукурузы в разных агроклиматических зонах. В условиях вегетационного периода необходимо контролировать на растениях плотность яйцекладок СКМ независимо от зоны выращивания культуры, гибрида, срока сева, предшественника, стадии развития в каждом конкретном агроценозе. Для выявления очагов высокой численности западного кукурузного жука выполнен феромониторинг карантинного вредителя. В конце июля и I декаде августа высокая численность имаго кукурузного жука (28,5–471,7 ос./ловушку за 7 суток) выявлена в Брестской области.

Установлены рациональные параметры обработки кукурузы при помощи агродрона с центробежными форсунками: расход рабочего раствора – до 20 л/га (при обработке больших площадей – 8–10 л/га в целях повышения производительности без снижения качества распыления), высота полета – 3,5–4 м над культурой, скорость полета – 6–8 м/с, скорость атомайзеров – 30–70 %.

Выполнены тестовые обработки экспериментальных полевых участков кукурузы против доминантных насекомых-вредителей в стадиях роста культуры «9–10 листьев» и «цветение – развитие первых зерен» при высоте растений до 1,8 м и свыше 2,7 м соответственно. Обработки проводились в ОАО «Городилово» Молодечненского района и ОАО «Остромечево» Брестского района. Эксперименты были заложены на участках общей площадью 25 га с применением инсектицидных препаратов от разных производителей.

Список использованных источников

1. EFT : офиц. сайт компании. – URL: <http://www.effort-tech.com/en/home> (дата обращения: 16.07.2024).
2. Программа и методика проведения полевых исследований технологических параметров работы БПЛА при защите кукурузы от насекомых-вредителей : отчет о НИР / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. А. В. Ленский ; исполн.: А. А. Жешко [и др.] – Мн., 2024. – 25 с. – № ГР 20240301.
3. Оценка чувствительной бумаги : офиц. сайт компании Sprayers101. – URL: https://sprayers101.com/assessing_wsp_pt1/ (дата обращения: 16.07.2024).
4. Изучение применения дронов-распылителей на соевых бобах : офиц. сайт компании Sprayers101. – URL: <https://sprayers101.com/drone-soybean/> (дата обращения: 16.07.2024).
5. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution / Heping Zhu [et al.] // Computers and Electronics in Agricultural. – 2011. – № 76. – P. 38–43. – URL: https://www.ars.usda.gov/ARSeUserFiles/50820500/Publications/Zhu_2010_DepositScan.pdf (date of access: 16.07.2024).
6. Контролируем стеблевого кукурузного мотылька в посевах кукурузы : эл. ресурс. – Мн., 2018–2025. – URL: <https://pesticity.by/operativnaya-informatsiya/kontroliruem-steblevogo-kukuruznogo-motyлька-v-posevah-kukuruzy/> (дата обращения: 16.07.2024).