

УДК 631.348.45

СИСТЕМА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ШТАНГИ ПОЛЕВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.С. Крук,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Мучинский,

доцент каф. экономики и организации производства БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье обоснована необходимость автоматизированного контроля за положением штанги при внесении рабочих растворов пестицидов полевыми опрыскивателями, а также его своевременной корректировки при изменении рельефа поля. Обоснована структурная схема и предложена конструкция системы микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя SMAR-1.

Ключевые слова: система, высота, угол наклона, опрыскиватель, штанга, параметры, равномерность.

The article presents an argument for the necessity of automated control over the boom position when applying working solutions of pesticides by field sprayers, as well as its timely correction when the field topography changes. The structural scheme is justified and the design of the microprocessor-based automated control system of spraying boom SMAR-1 is proposed.

Key words: system, height, tilt angle, sprayer, boom, parameters, uniformity.

Введение

Для эффективности применения химических средств защиты растений, включающей как технические, экономические, организационные, так и экологические аспекты, решающее значение имеет ее техническое обеспечение. Возрастающие требования к качеству внесения средств химизации в растениеводстве предъявляют жесткие требования к конструкциям средств механизации. Агрегаты должны обеспечивать качественное внесение пестицидов при наименьшем их расходе и потерях рабочего раствора. Работа опрыскивателей предусматривает последовательное выполнение следующих технологических операций: приготовление рабочего раствора пестицидов; его дозирование; подачу, распыление и транспортирование капель к обрабатываемой поверхности.

Одним из показателей качества является равномерность распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности в продольном и поперечном направлениях, которая во многом определяется правильной работой распылителей, постоянством расстояния между ними и обрабатываемой поверхностью в процессе работы агрегата.

Наиболее широкое распространение на полях сельскохозяйственных культур нашли штанговые опрыскиватели. В данном типе опрыскивателей рабочая жидкость распределяется по ширине захвата машины при помощи штанги и распыляется непосред-

ственно над обрабатываемым объектом. Следует учитывать, что увеличение ширины захвата приводит не только к повышению производительности агрегата, но и влечет увеличение массы несущей конструкции штанги, снижение ее надежности и качества проведения опрыскивания. Правильная установка штанги над обрабатываемой поверхностью имеет решающее значение для равномерного распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности. Высокий технический уровень опрыскивателей определяется системой подвески несущей конструкции распределительной штанги, имеющей системы стабилизации, регулировки высоты и угла ее наклона. Именно в совершенствовании данных систем и их конструкций заложен резерв снижения удельной материалоемкости, увеличения надежности опрыскивателей и повышения качества выполняемого ими технологического процесса.

Вопросам повышения качества внесения рабочих растворов пестицидов усовершенствованием конструкций средств механизации посвящены научные работы Бумажкина В.А., Вартукаптейниса К.Э., Виковича И.А., Гордеенко О.В., Дмитрачкова В.П., Клочкова А.В., Кот Т.П., Краховецкого Н.Н., Кузнецова В.В., Ладутько С.Н., Ловкиса З.В., Маркевича А.Е., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Новицкого П.М., Озолса Я.Г., Петровца В.Р., Прокопенко С.Ф., Ревякина Е.Л., Спиридонова Ю.Я. Степука Л.Я., Ченцова В.В., Шестакова В.Г. и других.

Цель работы – выполнить анализ существующих способов контроля и регулирования параметров установки штанги относительно обрабатываемой поверхности в процессе внесения рабочих растворов пестицидов и обосновать структурную схему и конструкцию системы микропроцессорного автоматизированного управления штангой.

Основная часть

Установка штанги относительно обрабатываемого объекта характеризуется двумя основными параметрами: высота установки и угол наклона. Оптимальной считается высота, при которой пересечение факелов распыления рабочей жидкости происходит на середине расстояния между штангой и обрабатываемой поверхностью. Для полевых опрыскивателей, в конструкции которых используются щелевые распылители, высота установки штанги может находиться в пределах 0,30...0,70 м от выходного сопла до обрабатываемой поверхности, а с учетом высоты посева, может быть более 2,0 м над поверхностью земли. Высота штанги определяется углом при вершине факела распыла распылителя: чем он больше, тем меньше ее высота над обрабатываемой поверхностью. В большинстве случаев настройка высоты выполняется исходя из отношения расстояния между распылителями к высоте, равного 1:1. Например, плоскоструйные распылители с углом распыления 110...120° и расстоянием 0,5 м друг от друга устанавливаются на высоте 0,5 м над обрабатываемой поверхностью. Допускается установка штанги на высоту до 0,75 м, но при этом надо либо увеличить шаг расстановки распылителей до 0,75 м, либо использовать распылители с углом распыления 80...90°, учитывая отношение расстояния между распылителями к высоте 1:1,5 [1, 2]. Критическим фактором является достижение двойного перекрытия рисунка распыления. При изменении высоты штанги всего на 10 см расход рабочей жидкости в зоне перекрытия увеличивается на 40 %, а в остальной зоне – снижается на 30 % [3].

В конструкциях полевых штанговых опрыскивателей изменение высоты установки штанги над обрабатываемой поверхностью осуществляется с использованием гидравлической или электрической систем энергетического средства. При этом данный процесс может осуществляться следующими способами: штанга навешивается на шток гидроцилиндра изменения высоты, штанга навешивается на параллелограммный механизм изменения высоты, звенья которого изменяют угол наклона при помощи одного или двух гидроцилиндров, высота установки штанги изменяется при помощи элементов гибкой связи (тросо-блочная система).

Для точного расположения штанги над обрабатываемой поверхностью и корректировки его в процессе работы в конструкциях современных опрыскивателей используются автоматизированные системы контроля и управления, основанные на использовании различных датчиков.

Вторым немаловажным параметром, влияющим на равномерность распределения рабочего раствора

по обрабатываемой поверхности, является угол установки штанги относительно обрабатываемой поверхности (рис. 1 а, б).

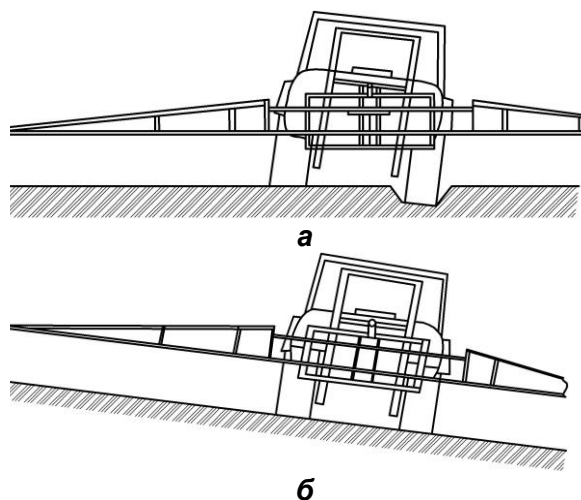


Рисунок 1. Схема расположения штанги над обрабатываемой поверхностью:
а – при движении колеса в неровности;
б – при движении по склону

Важным условием качественной работы опрыскивателя является постоянство расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по всей длине штанги. Изменение угла наклона штанги приводит к нарушению геометрии факелов распыла (рис. 2а), что влечет перераспределение рабочей жидкости по ширине захвата. При этом неравномерность тем

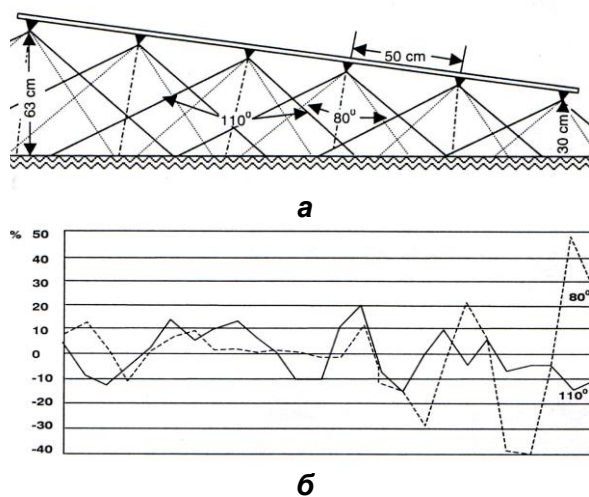


Рисунок 2. Графики влияния наклона штанги на равномерность распределения жидкости [4-6]:
а – изменение эпюр факелов распыла; б – диаграмма неравномерности распределения жидкости

выше, чем больше угол уклона. При наклоне крайней секции штанги ухудшается качество распределения жидкости более чем в 2 раза, причем в большей степени это сказывается при установке узкофакельных рас-

пылителей (2б). Поэтому при движении по склону должна соблюдаться параллельность установки штанги обрабатываемой поверхности.

Для регулировки угла установки штанги в вертикальной плоскости относительно горизонта в конструкциях опрыскивателей имеются соответствующие механизмы, которые в зависимости от способа выполнения процесса подразделяются на механического, электрического, гидравлического и комбинированного действия [5-8]. Принцип действия данных механизмов основан на возможности смещения центра тяжести штанги относительно опоры (подвеса). При этом в конструкциях опрыскивателей используются механизмы изменения угла наклона всей штанги, или отдельно каждого ее крыла, или каждой секции [7-10].

Механизмы механического действия широко используются в конструкциях отечественных опрыскивателей. Они содержат винтовой (пара винтовых) механизм, при помощи которого регулируется угол наклона штанги. Недостатками механизмов данной группы являются присутствие ручного труда механизатора и необходимость совершения остановок для регулировки угла положения штанги, что в условиях постоянного изменения рельефа почвы приводит к большим потерям времени на настройку агрегата, и соответственно, к снижению его производительности. Кроме того, для изменения угла наклона штанги данным способом механизатору необходимо приложить большое усилие (масса штанги может быть более 600 кг). Также имеет место большая погрешность параллельности установки штанги. Растворы пестицидов, обладая активным коррозионным действием и взаимодействуя с пылью, воздействуют на рабочие поверхности элементов резьбового механизма, что требует постоянного ежесменного ухода. Применение механизмов механического действия не исключает установку системы автоматизированного контроля за положением штанги, но не позволяет производить регулировку угла наклона штанги в автоматическом режиме.

Для точного копирования рельефа поля на крайних секциях штанги опрыскивателей могут устанавливаться дополнительные опорные колеса (рис. 3). Однако они эффективны при довсходовых обработках, так как при движении по технологической колее возможны повреждения всходов даже при отклонении движения агрегата на 0,10 м.

В конструкциях современных опрыскивателей широко используются механизмы гидравлического и электрического действия, управление которыми осуществляется из кабины трактора [5, 8, 9, 10]. Использование механизмов изменения углов наклона электрического и механического действия позволяет применять в конструкциях опрыскивателей датчики и системы автоматизированного управления положениями штанги для более точной установки при работе на склонах (рис. 3б). Датчики измеряют расстояние от штанги до земли и позволяют контролировать параллельность расположения штанги. Однако существен-

ное усложнение конструкции влечет повышение стоимости самого опрыскивателя [8-12].

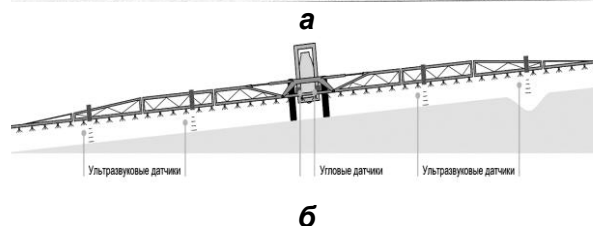


Рисунок 3. Работа систем обеспечения постоянства расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью: а – с использованием опорных колес [11]; б – с использованием ультразвуковых датчиков [9]

Анализируя конструкции механизмов и систем обеспечения регулировки положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности, следует отметить, что в настоящее время предпочтение отдается системам автоматизированного контроля, основанным на использовании гидравлических, электрических и гидромеханических механизмов изменения угла наклона штанг.

При проектировании механизмов изменения угла наклона штанги необходимо учитывать усилие, необходимое для смещения штанги, воздействие на рабочие элементы кратковременной ударной нагрузки (до 100 кг), условие обеспечения быстроты изменения угла наклона и увеличение цены опрыскивателя вследствие модернизации.

В результате проведенных исследований условий работы и конструкций опрыскивателей были определены требования, которым должна отвечать система микропроцессорного автоматизированного регулирования и ее узлы, а также обоснованы требования, которые заложены в алгоритме ее работы:

1) погрешность измерения расстояния между штангой и обрабатываемым объектом 0,04 м введена в связи с вероятной гребнистостью поверхности поля и возможными колебаниями штанги. В пределах перепадов измерений между двумя датчиками до 0,04 м система изменять положение штанги не будет;

2) диапазон измерения 0,2...2,0 м введен в соответствии с требованиями изменения высоты установки штанги над обрабатываемой поверхностью. В этих пределах сила сигнала, подаваемого датчиком, должна оставаться постоянной;

3) продолжительность постоянного измерительного сигнала, после которого вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный привод, 3 с введено для исключения случайных сигналов, подаваемых датчиками. Так, например, если на пути сигнала попадает камень или временная неровность, то система на них не отреагирует, так как повторный сигнал через 3 с их не обнаружит.

С учетом вышеизложенного в Белорусском государственном аграрном техническом университете совместно с ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси» разработана и изготовлена конструкция системы микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности СМАР-1, состоящая из датчиков положения штанги, микропроцессорной электроники обработки измерительной информации и выработки управляющего сигнала, силовой установки (рис. 4).

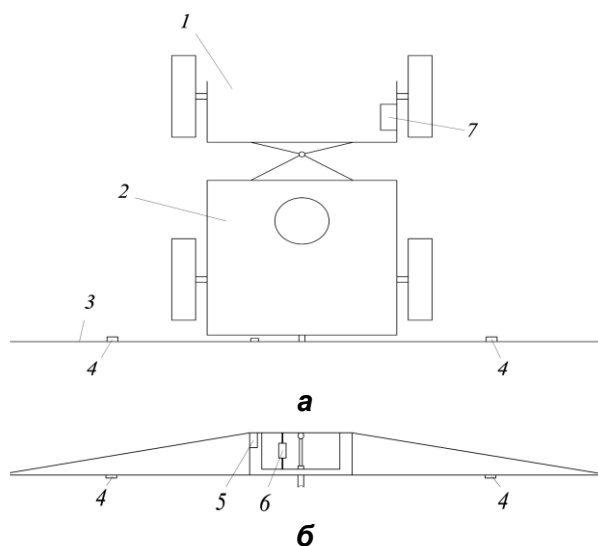


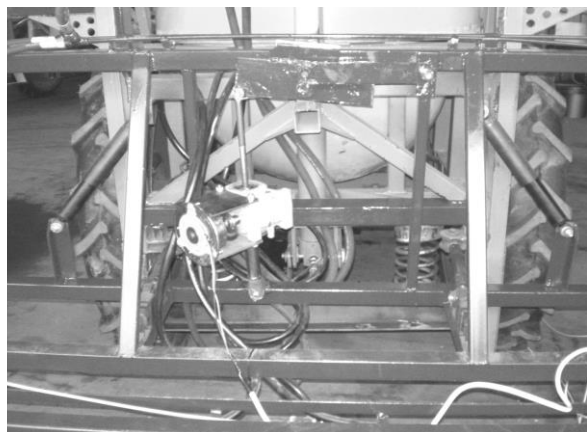
Рисунок 4. Схема установки элементов системы на энергетическом средстве и машине:

а – вид агрегата сверху; б – вид сзади;

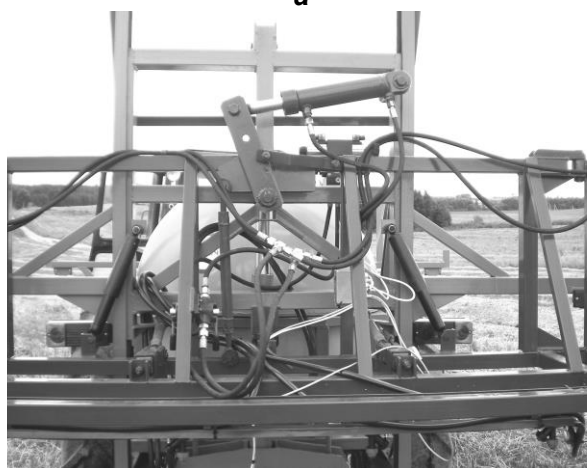
1 – энергетическое средство (трактор); 2 – опрыскиватель; 3 – штанга; 4 – ультразвуковые датчики положения; 5 – блок управления; 6 – механизм управления штангой; 7 – пульт управления

Исполнительными элементами управления штангой могут выступать механизмы как с электрическим (рис. 5а), так и гидравлическим (рис. 5б) принципами действия.

В системе использованы ультразвуковые датчики положения, выбор которых обусловлен слабым искажением сигнала при прохождении через облако распыленной жидкости, образующееся при работе опрыскивателя. Также этот выбор оправдан необходимостью привязки к поверхности поля, а не к растительному покрову. Сигнал, образованный ультразвуковым датчиком, проходит через посевы и, достигнув поверхности поля, отражается. В то время как сигнал, посылаемый оптическим датчиком, искажается обла-



а



б

Рисунок 5. Механизм управления штангой опрыскивателя ОШ-2300-18 электрического (а) и гидравлического (б) действия

ком рабочего раствора пестицида, достигает растительного покрова и сразу отражается. Кроме того, сила сигнала оптического датчика зависит от удаленности от объекта.

СМАР-1 управляется при помощи пульта из кабины трактора и имеет два режима работы: ручное и автоматическое управление. Ручное управление штангой осуществляется механизатором при помощи регулятора с пульта управления. Эта функция введена для сокращения времени на установку штанги в рабочее положение на разворотных полосах. В дальнейшем используется функция автоматической регулировки.

Ультразвуковой датчик расстояния работает по принципу измерения времени пролета, рабочая частота сенсора 40 кГц. Управляющий микроконтроллер в непрерывном цикле проводит измерение расстояния: формирует пачку из 16 импульсов с периодом 25 мкс, импульсы через согласующий повышающий трансформатор возбуждают колебания передающего излучателя. Отраженные от препятствий ультразвуковые волны принимаются приемным сенсором и усиливаются усилителем с фиксированным коэффициентом усиления, выполненным на операционном усилителе,

после чего эхо усиливается каскадом с переменным усилением, выполненным на операционном усилителе и цифровом потенциометре. Усиление каскада увеличивается со временем, что необходимо для поддержания амплитуды отраженного сигнала, который ослабевает с увеличением расстояния. Далее полученный сигнал детектируется амплитудным детектором на диоде, фильтруется и поступает на вход управляющего микроконтроллера. Микроконтроллер через 2 мс после посылки зондирующей пачки импульсов начинает выборки отраженного сигнала с периодом дискретизации 25 мкс. После обработки полученного массива данных выбирается наиболее вероятное расстояние до препятствия. Данные заносятся в выходной буфер и передаются блоку управления по запросу.

Блок управления является главным управляющим устройством в системе, в его функции включается опрос всех подчиненных устройств, по результатам опроса принимается решение о дальнейших действиях устройства. Он содержит управляющий микроконтроллер, связанный с ультразвуковыми сенсорами и пультом управления по интерфейсу.

Система была установлена на опрыскивателе ОШ-2300-18 с различными исполнительными механизмами. Ее использование позволило повысить производительность на 1 га/ч сменного времени, снизить расход топлива на 0,04 кг/га, годовые затраты труда на 7,2%, прямые эксплуатационные затраты на 8,8 % и получить годовой приведенный экономический эффект – 2425,800 тыс. руб. (в ценах 2009 года) [13].

Заключение

Одним из условий качественного внесения рабочих растворов пестицидов является поддержание требуемых параметров установки штанги (высота, постоянство расстояния между линией распылителей и обрабатываемой поверхностью) в процессе выполнения технологической операции. Важную роль в соблюдении данного требования играют механизмы изменения угла наклона штанги и элементы автоматизации, позволяющие контролировать и регулировать положение штанги при работе опрыскивателя. Данные функции выполняет разработанная система микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности СМАР-1, которая состоит из пульта и блока управления, ультразвуковых датчиков положения, исполнительных механизмов управления штангой.

Система успешно прошла все стадии производственных (ДП «Дятловская сельскохозяйственная техника», СПК «Гранит-Агро» Дятловского района), приемочных (ГУ «Белорусская МИС») испытаний и рекомендована к использованию в конструкциях штанговых опрыскивателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болвонович, В. Берем потери пестицидов под контроль / В. Болвонович, Э. Могилевский // Белорусское сельское хозяйство. – 2013. – № 5 (133). – С. 12-14.
2. Теория и практика опрыскивания 2010 : метод. пособие / И.А. Редкозубов [и др.]. – Москва: ООО «Дюпон: наука и технологии», 2010. – 19 с.
3. Ротенберг, Ю.Ю. Высота штанги полевого опрыскивателя / Ю.Ю. Ротенберг, Т.В. Раскатова, И.А. Редкозубов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 5. – С. 42-43.
4. Защита растений в устойчивых системах земледелия: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск: Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.
5. Крук, И.С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И.С. Крук. – Минск: БГАТУ, 2018. – 272 с.
6. Клочков, А.В. Механизация химической защиты растений: монография / А.В. Клочков, А.Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2008. – 228 с.
7. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / С.К. Карпович, Л.А. Маринич, И.С. Крук [и др.]; под общ. ред. И.С. Крука. – Минск: БГАТУ, 2016. – 140 с.
8. Проектирование несущих конструкций, схем подвесок и систем стабилизации штанг полевых опрыскивателей. Рекомендации / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2018. – 172 с.
9. Штанга DistanceControl / Amazone. Продукция и цифровые решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.amazone.ru>. – Дата доступа: 16.02.2018.
10. Вікович, І.А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія / І.А. Вікович. – Львів: Видавн. Нац. універс. «Львівська політехніка», 2003. – 460 с.
11. Ground Following system / AG SHIELD [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.agshield.com>. – Date of access: 16.02.2018.
12. Ченцов, В.В. Сельскохозяйственные машины (основные тенденции развития тракторных опрыскивателей) / В.В. Ченцов. – М.: ЦНИИТЭИ Тракторное и с.-х. машиностроение, 1984. – Вып. 12. – 58 с.
13. Протокол № 218Б1/2-2009 (от 23 декабря 2009 г.) приемочных испытаний опытного образца системы микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя СМАР-1 / Бел. МИС. – Пос. Привольный, 2009. – 35 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.08.2022