

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

УДК 632.08
МРНТИ 68.37.13

DOI: <https://doi.org/10.37788/2023-1/134-143>

Н.Ф. Дёмина^{1*}, А.А. Немцов¹

¹Физико-математический лицей отдела образования города Костаная, Казахстан

*(e-mail: dozentdemina@mail.ru)

Автоматизированный опрыскиватель для обработки сельскохозяйственных культур**Аннотация**

Основная проблема: для успешного ведения аграрных работ и получения конкурентоспособного урожая обязательно проведение опрыскивания сельскохозяйственных культур. Это требует высококвалифицированного персонала, дорогостоящей техники и благоприятных погодных условий. Использование тракторов для опрыскивания полей является сегодня самым распространённым решением. Несмотря на свою доступность, данный способ имеет ряд серьёзных недостатков. Использование разработанного устройства, предназначенного специально для распыляющего оборудования, позволит повысить качество проведения подобных работ.

Цель: разработка действующей модели автоматизированного опрыскивателя для обработки сельскохозяйственных культур.

Методы: техническое обоснование управляемого устройства для обработки сельскохозяйственных культур. Расчёт функциональных возможностей, алгоритмов работы предлагаемого автоматизированного устройства: подбор типа распылителя, двигателя, шасси, контроллера, аккумулятора, а также обоснование возможностей использования альтернативных источников энергии (энергия ветра, энергия солнца). Разработка 3D модели устройства автоматизации противосорняковой обработки сельскохозяйственных культур, распечатка деталей, сборка механической и электронной части. Изготовление прототипа с использованием 3D-печати. Разработка схемы подключения электроники, программного обеспечения (прошивка микроконтроллера; приложение, управляющее настройками), тестирование прототипа, сборка действующей модели. Обоснование оптимального использования в данном устройстве платы Arduino и Raspberry Pi в паре.

Результаты и их значимость: изготовленная действующая модель показала соответствие целям, высокую степень управляемости, экологичность, сокращение затрачиваемой энергии, трудовых ресурсов. Она может быть использована для масштабирования данного устройства, в качестве механизма исследования параметров почвы: влажности, минералогического состава и содержания химикатов в земле, а также как автоматизированная передвижная платформа для любых целей, требующих точной навигации по территории.

Ключевые слова: опрыскиватель, экономичность, автоматизация, 3D-печать, мониторинг поля, многофункциональность, программное обеспечение.

Введение

Эффективное ведение аграрных работ предусматривает сегодня обязательного опрыскивания сельскохозяйственных культур. Это достаточно затратное мероприятие, требующее высококвалифицированного персонала и дорогостоящей техники. Кроме того, необходимы благоприятные погодные условия. Самым распространённым решением на данный момент является использование тракторов, что не рентабельно и сопряжено с рисками повреждения культур «наездом» или «зацепом», нанесения вреда экологии. В связи с этим разработанное автоматизированное устройство для распыляющего оборудования позволит эффективно устранить указанные риски.

Материалы и методы

После изучения и анализа существующих методов обработки сельскохозяйственных культур и способов автоматизации были продуманы функциональные возможности, алгоритмы

работы и разработана модель устройства автоматической противосорняковой обработки культур. За основу нами был выбран наземный полевой способ распространения обрабатываемого вещества [1-3].

Учитывая требования, предоставляемые к нашему устройству, было принято решение создать самостоятельно передвигающуюся, автоматизированную платформу, на которую будет установлен опрыскиватель [4].

За основу был взят польский опрыскиватель Demarol на 200 литров с шириной захвата 8 м и рабочей скоростью до 15 км/ч. Он представляет собой навесную конструкцию, которая предназначена для крепления на трактор, но также может быть прикреплена к любой технике, имеющей совместимую систему крепления. Основываясь на характеристиках выбранного опрыскивателя и общих требованиях к устройству, получилось выделить минимальные требования к платформе:

- наличие совместимой системы крепления;
- грузоподъемность более 455 кг;
- развиваемая скорость 21 км/ч;
- наличие дополнительного двигателя для помпы опрыскивателя [5].

Полевой и вентиляторный садовый способы опрыскивания являются наземными, из чего следует, что предполагаемое устройство для обработки должно иметь возможность передвигаться непосредственно по полю. Был взят уже готовый задний мост для платформы. Учитывая требования к грузоподъемности и скорости платформы, был выбран задний мост M780, с дифференциалом и бесщёточным 3-х фазным электродвигателем BLDC на постоянных неодимовых магнитах, который способен развивать скорость до 25 км/ч и имеет грузоподъемность до 500 кг, чего с запасом хватает для построения платформы [6].

Для питания электродвигателя моста требуется аккумулятор. В нашем устройстве будет использоваться литий-ионная аккумуляторная сборка на 48 В. Ёмкость батареи, по расчётам, должна быть не менее 31,4 А·ч, для обеспечения двухчасовой работы мотора. С таким аккумулятором при непрерывной работе готовое устройство способно обработать 24 га до разрядки.

Так как для получения одного киловатта энергии требуется более 8 квадратных метров солнечных панелей, а на устройство получится поместить максимум 4 квадратных метра, энергии только солнечных батарей будет недостаточно для зарядки батареи. Возникает потребность в использовании тарифицированной сети.

Ёмкость аккумулятора в Вт·ч составляет $31,4 \cdot 48 = 1507,2$ Вт·ч, что позволяет обработать 24 га за 2 часа при двукратной подзарядке. Если взять более объёмные распылители, то данный показатель пропорционально снизится, так как ускорится обработка. После подбора компонентов устройства была разработана 3D модель устройства для того, чтобы иметь представление о том, как будет выглядеть полноразмерная модель (см. рисунок 1).

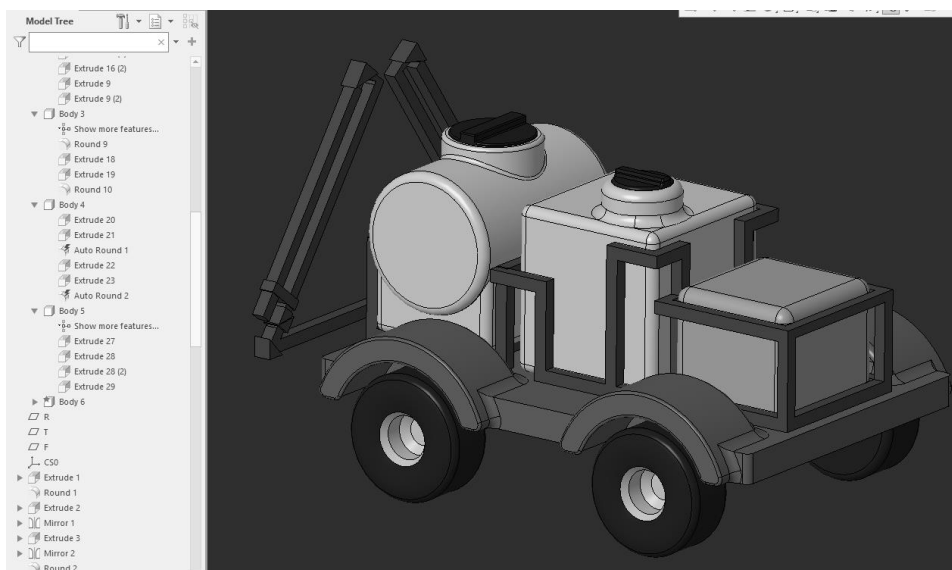


Рисунок 1 – 3D визуализация устройства

Также разработан вариант с установленной солнечной панелью (см. рисунки 2, 3):

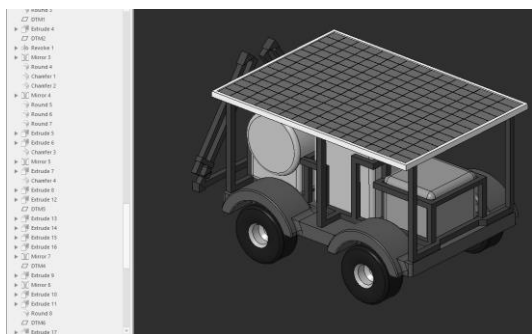


Рисунок 2 – 3D визуализация устройства с установленной солнечной панелью

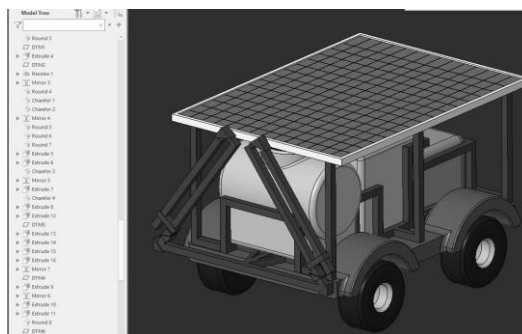


Рисунок 3 – 3D визуализация устройства с установленной солнечной панелью, передняя часть

Во время работы использовалось следующее программное обеспечение:

- 3D моделирование – PTC Creo Parametric.
- Слайсер – Ultimaker Cura.
- Работа над таблицами – Microsoft Excel.
- Создание диаграмм и графиков – Microsoft Excel.
- Разработка блок-схем – Microsoft Visio.
- Создание электронных схем – Fritzing.
- Написание кода – Visual Studio Code.
- Языки программирования – Python, JavaScript, C++.
- Обработка фотографий – Photoshop.
- Отладка микроконтроллера – Arduino IDE [7, 8].

Результаты

После разработки модели устройства был создан прототип, который позволяет при минимальных затратах протестировать идею, общий функционал будущего устройства и быстро провести работу над ошибками, что сложно сделать с готовым устройством.

Для уменьшения стоимости и ускорения создания прототипа было решено реализовать его в небольшом масштабе. Поскольку не существует задних мостов достаточно маленьких размеров, будут использованы двигатели постоянного тока с редукторами. По тем же соображениям, что и с моторами, опрыскиватель будет заменён на систему из бака с насосом и опрыскивающими штангами. Система опрыскивания упрощена, так как функционала непосредственной обработки от прототипа не требуется. Больше внимания сконцентрировано на автоматизации, а конкретно на позиционировании устройства и его передвижении по маршруту.

Работа над прототипом началась с разработки 3D моделей его деталей. Первой из них является корпус, к которому будут прикреплены двигатели, сервоприводы, бак с раствором и остальные компоненты (см. рисунок 4). Для надежного закрепления двигателей конструкция подразумевает изменяющиеся в диаметре кольца, которые можно регулировать натяжением болта. Помимо этого, было продумано место крепления сервоприводов и конструкция раздвигающихся штанг (см. рисунок 5).

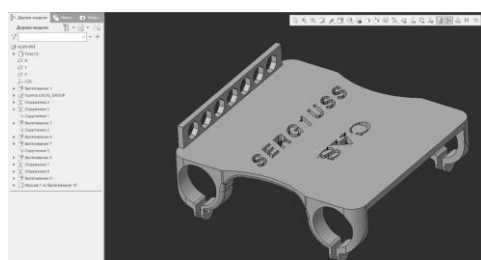


Рисунок 4 – 3D модель корпуса прототипа

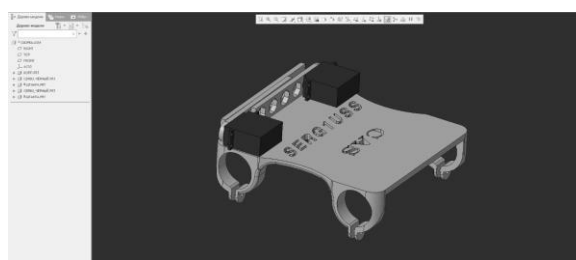


Рисунок 5 – 3D модель сборки прототипа

Устройство способно производить обработку не только полевым способом, но и вентиляторно-садовым. Разница между ними заключается в направлении опрыскивания: если в первом способе раствор распыляется вниз, то во втором – по бокам. Работа в двух режимах достигается изменением угла штанг относительно устройства. Это возможно благодаря установленным сервоприводам.

Для уменьшения веса был частично удалён материал в штангах. Оптимизация веса модели корпуса не проводилась, так как это может привести к потере жёсткости конструкции (см. рисунок 6). Кроме того, были разработаны колёса для прототипа. При разработке были выбраны максимально возможный диаметр для улучшения двигательных характеристик. Колесо было облегчено для того, чтобы не создавать большой нагрузки на мотор. Разработанная конструкция позволяет установить его напрямую на вал мотора (см. рисунок 7).

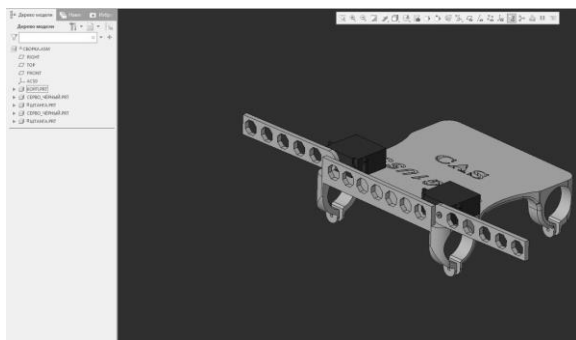


Рисунок 6 – Сборка прототипа с раскрытыми штангами



Рисунок 7 – 3D модель колеса

После разработки 3D модели прототипа были распечатаны все детали. Печать производилась на нескольких принтерах: InterPrint i3 и Wanhao Duplicator i3 plus. В первую очередь была распечатана модель корпуса прототипа (см. рисунок 8). После того, как были проверены размеры и надёжность полученной детали, были напечатаны раздвижные штанги (см. рисунок 9).

Вслед за штангами, началась печать колёс. Для проверки размеров было распечатано одно колесо, которое было протестировано на плотность фиксации на валу мотора. После чего были напечатаны остальные 3 колеса (см. рисунок 10). Была осуществлена сборка прототипа согласно 3D модели (см. рисунок 11).



Рисунок 8 – Распечатанный корпус прототипа

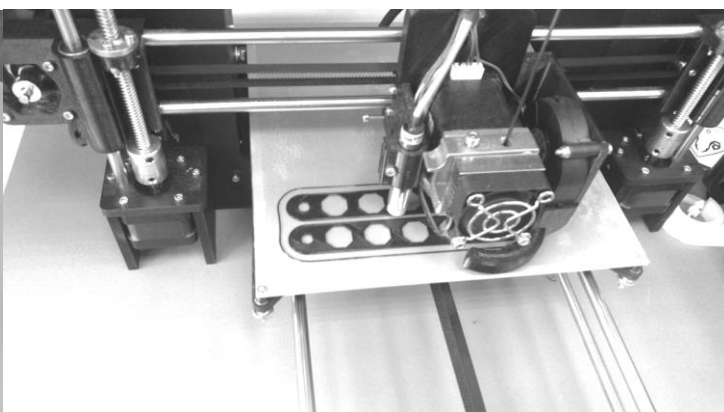


Рисунок 9 – Процесс печати штанг



Рисунок 10 – Распечатанные колёса прототипа

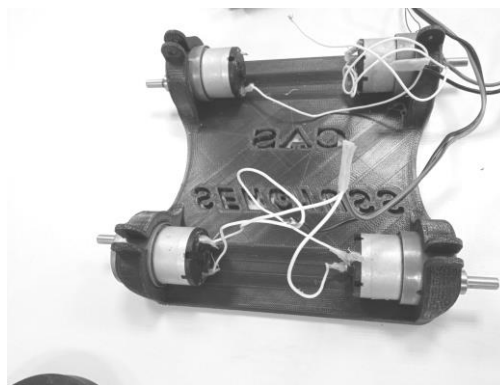


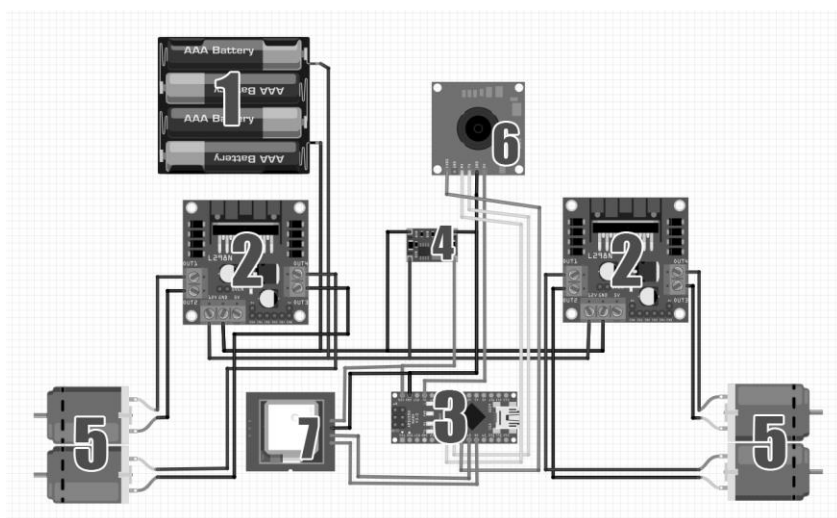
Рисунок 11 – Процесс сборки прототипа

Затем были установлены моторы и сервоприводы.



Рисунок 12 – Собранный прототип

После сборки механической части прототипа началась работа над электронной частью. На основании базовой схемы подключения электроники было произведено соединение компонентов (см. рисунок 13).



Состав электронной части:
 1. Блок аккумуляторов;
 2. Драйверы двигателей – 2 шт;
 3. Микроконтроллер Arduino;
 4. Преобразователь напряжения;
 5. Двигатели – 4 шт;
 6. Модуль камеры;
 7. Модуль GPS

Рисунок 13 – Схема подключения электроники

В прототипе используется микроконтроллер Arduino без Raspberry PI, так как для тестирования общего функционала и демонстрации работы достаточно одной платы. Как видно, было использовано 2 драйвера двигателя, поскольку опыт показывает, что один драйвер не справляется с нагрузкой от 4 мощных двигателей и перегорает.

Необходимо учитывать, что данная схема является первоначальной и служит для общего понимания структуры электронной части прототипа. Собранная электронная часть представлена на рисунке 14. Последующие модификации электроники могут отличаться от неё.

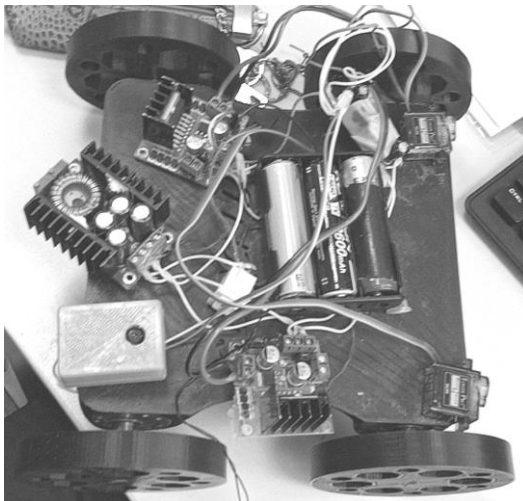


Рисунок 14 – Собранная электронная часть

После сборки физической модели прототипа и установки электроники было разработано программное обеспечение. Оно делится на 2 части: 1) прошивка микроконтроллера; 2) приложение, управляющее настройками. Прошивка микроконтроллера представляет собой программу, которая управляет самим прототипом, связывается с управляющим устройством, включает и выключает двигатели, передаёт изображение с камеры (см. рисунок 15). Приложение, управляющее настройками, позволяет получить настройки прототипа, а именно координаты границ обрабатываемого поля. Имеется возможность скорректировать границы либо добавить новое поле на карте, а после загрузить новые настройки в устройство (см. рисунок 16).

```

gps-test | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help

gps-test
#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>

TinyGPSPlus gps;

#define S_RX 4
#define S_TX 3

SoftwareSerial SoftSerial( S_RX, S_TX );

void setup() {
  Serial.begin( 9600 );
  SoftSerial.begin( 9600 );
}

void loop() {
  while( SoftSerial.available() > 0 ) {

```

Рисунок 15 – Программа, тестирующая работу GPS модуля

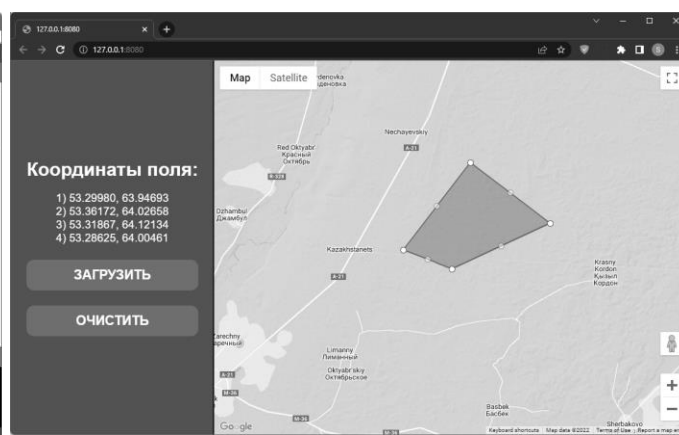


Рисунок 16 – Интерфейс приложения управления настройками

Заключительным этапом является тестирование прототипа. Были проведены тесты некоторых частей прототипа, в частности, программной части или системы видеонаблюдения (см. рисунок 17, 18).



Рисунок 17 – Тестирование прошивки микроконтроллера

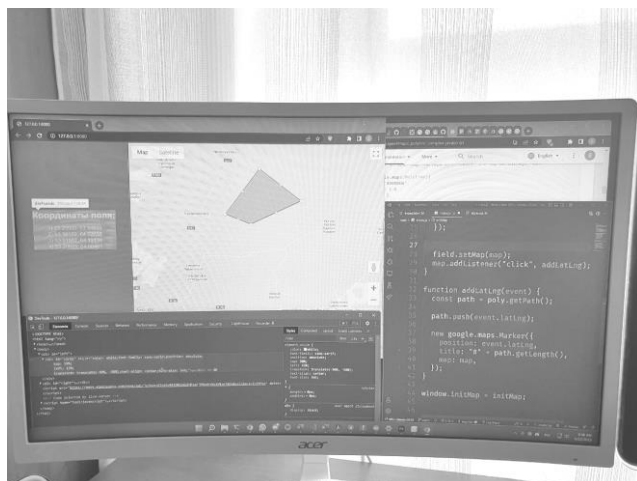


Рисунок 18 – Процесс тестирования приложения

Тестовые испытания прошли успешно, что позволило перейти к разработке настоящей модели. Разработанная модель устройства автоматизации противосорняковой обработки сельскохозяйственных культур может быть использована не только в аграрном опылении. Благодаря электронным датчикам она может функционировать как пункт исследования параметров почвы: влажности, минералогического состава и содержания химикатов в земле (см. рисунок 19) [9].



Рисунок 19 – Действующая разработанная модель

Обсуждение

Следует отметить ряд особенностей данного устройства: 1) высокая экологичность, которая достигается использованием электродвигателей и автономных возобновляемых источников энергии для питания системы; 2) надёжность качественной обработки посевов, благодаря использованию систем мониторинга и точного позиционирования по территории; 3) высокая мобильность из-за особенной конструкции рамы и использования электродвигателей с высоким крутящим моментом.

Заключение

В ходе тестирования было установлено, что разработанная модель может использоваться не только как устройство противосорняковой обработки сельскохозяйственных культур, но и как автоматизированная передвижная платформа для любых целей, требующих

точной навигации по территории. Преимущества разработанного устройства заключаются в отсутствии вреда экологии; сниженных затратах на рабочий персонал. Она полностью автоматизирована и может управляться через интернет приложения, способна осуществлять мониторинг состояния поля и процесса обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Сигида М.С. Почвенная и растительная диагностика / М.С. Сигида, О.Ю. Лобанкова, А.Н. Есаулко. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2017. – 128 с.
- 2 Белогорский В.П. Совершенствование технологий и технических средств опрыскивания растений (обзор, анализ, теория) /В.П. Белогорский, В.И. Доровских, А.Г. Рамазанов, Ю.А. Тырнов, А.Н. Агапов, А.В. Балашов и др. – Воронеж: Истоки, 2005. – Часть I. – 86 с.
- 3 Сайт «HELPIKS.ORG» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/7-78963/html>.
- 4 Сайт «AgroTechAvia» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrotechavia.ru/>.
- 5 Сайт «AVAGRO» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avagro.kz/>.
- 6 Google Maps Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/maps?hl=ru>.
- 7 Python 3.11.1 documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/>.
- 8 Arduino Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/>.
- 9 Сайт «Официальный информационный ресурс Премьер-Министра Республики Казахстан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/itogi-razvitiya-sfery-selskogo-hozyaystva-za-2021-god-i-plany-na-predstoyashchiy-period-22422>.

REFERENCES

- 1 Sigida, M.S., Lobankova, O.Yu., & Esaulko, A.N. (2017). Pochvennaya i rastitelnaya diagnostika [Soil and plant diagnostics]. Stavropol: AGRUS Stavropol'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [in Russian].
- 2 Belogorskiy, V.P., Dorovskikh, V.I., Ramazanov, A.G., Tyrnov, Yu.A., Agapov, A.N., Balashov, A.V. et al. Sovershenstvovaniye tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv opryskivaniya rasteniy (obzor, analiz, teoriya) [Improvement of technologies and technical means of spraying plants (review, analysis, theory)]. Voronezh: Istoki [in Russian].
- 3 Sait «HELPIKS.ORG» [Sait «HELPIKS.ORG»]. *helpiks.org*. Retrieved from <https://helpiks.org/7-78963/html> [in Russian].
- 4 Sait «AgroTechAvia» [Site «AgroTechAvia»]. *agrotechavia.ru*. Retrieved from <https://agrotechavia.ru/> [in Russian].
- 5 Sait «AVAGRO» [Sait «AVAGRO»]. *avagro.kz*. Retrieved from <http://avagro.kz/> [in Russian].
- 6 Google Maps Platform [Google Maps Platform]. *google.com*. Retrieved from <https://developers.google.com/maps?hl=ru> [in Russian].
- 7 Python 3.11.1 documentation [Python 3.11.1 documentation]. *python.org*. Retrieved from <https://docs.python.org/3/> [in Russian].
- 8 Arduino Documentation [Arduino Documentation]. *arduino.cc*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/> [in Russian].
- 9 Sait «Ofitsial'nyy informatsionnyy resurs Prem'yer-Ministra Respubliki Kazakhstan» [Site «Official information resource of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan»]. *primeminister.kz*. Retrieved from <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/itogi-razvitiya-sfery-selskogo-hozyaystva-za-2021-god-i-plany-na-predstoyashchiy-period-22422> [in Russian].

Н.Ф.сДёмина^{1*}, А.А.сНемцов¹

¹Қостанай қаласы білім бөлімінің физика-математика лицейі, Қазақстан

Дақылдарды өңдеуге арналған автоматтандырылған бүріккіш

Ауыл шаруашылығы жұмыстарын ойдағыдай жүргізіп, бәсекеге қабілетті өнім алу үшін жоғары білікті мамандарды, қымбат техниканы және қолайлы ауа-райын қажет ететін ауылшаруашылық дақылдарына бүрку жұмыстарын жүргізу қажет. Тракторларды егістіктерді

бүрку үшін пайдалану қазіргі уақытта қол жетімді ең кең таралған шешім болып табылады, бірақ, оның бірнеше кемшіліктері бар: жоғары құны; егіннің «соққымен», «ілімекпен» немесе басқа жолмен зақымдану қаупі; қоршаған ортаға зиян келтіру; пайдаланылған газдарға байланысты, жылдамдықтың жоғарылауымен ерітіндінің дрейфі артады. Бүріккіш жабдық үшін арнайы жасалған құрылғыны пайдалану – тамаша шешім. Мақаланың мақсаты - ауыл шаруашылығы дақылдарын өңдеуге арналған автоматтандырылған бүріккіштің жұмыс үлгісін жасау.

Басқарылатын дақылдарды өңдеу құрылғысының техникалық-экономикалық негіздемесі. Ұсынылған автоматтандырылған құрылғының функционалдығын, алгоритмдерін есептеу: бүріккіштің, қозғалтқыштың, шассидің, контроллердің, аккумулятордың түрін таңдау, сонымен қатар баламалы энергия көздерін (жел энергиясы, күн энергиясы) пайдаланудың мүмкіндіктерін негіздеу. Ауылшаруашылық дақылдарын арамшөптерге қарсы өңдеуге, бөлшектерді басып шығаруға, механикалық және электронды бөлшектерді құрастыруға арналған автоматтандыру құрылғысының 3D үлгісін жасау. 3D басып шығару арқылы прототип жасау. Электрониканы, бағдарламалық қамтамасыз етуді қосу схемасын әзірлеу (микронтроллердің микробағдарламасы; баптауларды басқаратын қолданба), прототипті сынау, жұмыс моделін құрастыру. Arduino тақтасын және Raspberry Pi-ді осы құрылғыдағы жұпта оңтайлы пайдаланудың негіздемесі: Raspberry Pi Arduino-дағы процестерді басқаруға және интернетпен оңай әрекеттесуге мүмкіндік береді, бұл кезде Arduino өзі әрекеттесу сияқты қарапайым операцияларды орындайды, электроникамен өзара әрекеттесу және сенсорлардың көрсеткіштерін оқу сияқты.

Шығарылған жұмыс үлгісі мақсаттарға сәйкестігін, бақылаудың жоғары дәрежесін, қоршаған ортаға зиянсыздығын, энергия мен еңбек шығындарының төмендеуін көрсетті және оны осы құрылғыны масштабтау үшін пайдалануға болады. Дақылдарды арамшөптерге қарсы өңдеуге арналған автоматтандыру құрылғысының әзірленген үлгісін тек ауыл шаруашылығында тозаңдандыруда ғана емес, сонымен қатар топырақ параметрлерін: ылғалдылықты, минералогиялық құрамын және жердегі химиялық құрамын, электронды датчиктерді пайдалана отырып, зерттеу механизмі ретінде, сондай-ақ аумақты дәл шарлауды қажет ететін кез келген мақсаттар үшін автоматтандырылған жылжымалы платформа ретінде де қолдануға болады.

Түйін сөздер: бүріккіш, тиімділік, автоматтандыру, 3D басып шығару, егіс алқабының мониторингі, көп функционалдылық, бағдарламалық қамтамасыз ету.

N.F. Demina^{1*}, A.A. Nemtsov¹

¹Physical and Mathematical Lyceum of the Education Department of the city of Kostanay, Kazakhstan

Automated sprayer for processing agricultural crops

In order to successfully conduct agricultural work and obtain a competitive harvest, it is mandatory to carry out spraying operations of crops that require highly qualified personnel, expensive equipment and suitable weather conditions. The use of tractors for spraying fields is the most common solution available at the moment, has disadvantages: high cost, risk of damage to the crop by "hitting", "hooking" or otherwise; environmental damage; due to exhaust gases, the demolition of the solution increases with increasing speed. Using a device designed specifically for spraying equipment is an ideal solution. The purpose of the article is to develop a working model of an automated sprayer for processing agricultural crops.

The methods used are: technical justification of a controlled device for processing agricultural crops. Calculation of functional capabilities, algorithms of operation of the proposed automated device: selection of the type of sprayer, engine, chassis, controller, battery, as well as justification of the possibilities of using alternative energy sources (wind energy, solar energy); development of a 3D model of an automation device for anti-weed processing of agricultural crops, printing of parts, assembly of mechanical and electronic parts. Making a prototype using 3D printing; development of the wiring diagram of electronics, software (firmware of the microcontroller; application that controls the settings), testing of the prototype, assembly of the current model; rationale for the optimal use of Arduino and Raspberry Pi boards in this device in a pair: Raspberry Pi will allow you to control processes on the Arduino and easily interact with the Internet when the Arduino itself will perform simple operations such as interacting with electronics and reading sensor readings.

The manufactured operating model showed compliance with the goals, a high degree of controllability, environmental friendliness, reduction of energy consumed, labor resources and can be used to scale this device. The developed model of the automation device for anti-weed treatment of agricultural crops can be used not only in agricultural pollination, but also as a mechanism for studying soil parameters: humidity, mineralogical composition and chemical content in the ground, using electronic sensors, as well as an automated mobile platform for any purpose requiring accurate navigation through the territory.

Key words: sprayer, efficiency, automation, 3D printing, field monitoring, multifunctionality, software.

Дата поступления рукописи в редакцию: 29.12.2023 г.