



УДК 631.343:004-047.37
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-222-4-99-106

Н.И. Раззамазов, С.Ф. Сороченко
N.I. Razzamazov, S.F. Sorochenko

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МАШИНЫ ДЛЯ ПРИСТВОЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

RESULTS OF LABORATORY RESEARCH OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR WORKING BODIES OF UNDERTREE TILLAGE EQUIPMENT

Ключевые слова: автоматизация, автоматизированная система управления, движение рабочих органов, лабораторные исследования, плодopитомники, молодые сады, приствольная обработка почвы, рабочий орган, саженцы, точность позиционирования.

Важнейшая операция при возделывании плодово-ягодных культур – приствольная обработка почвы, в ходе которой требуется удалить сорняки и разрыхлить верхний слой почвы. Цель исследования – разработка машины с автоматизированной системой управления рабочими органами (АСУ) для приствольной обработки почвы в плодopитомниках и молодых садах. Предложена машина, содержащая модули, каждый из которых имеет два рабочих органа, установленных на рамках, шарнирно соединённых с корпусом модуля с возможностью поворота в вертикальной плоскости. Рабочие органы состоят из вала, в нижней части которого установлен диск с пальцами. Привод рабочих органов – от гидромотора. Модуль может перемещаться в поперечном направлении посредством винтовой передачи с приводом от шагового двигателя. Рамки посредством тяг соединены с гидроцилиндром, установленным на корпусе. Машина также снабжена электрогидрораспределителем, контроллером, пультом управления, датчиком скорости, видеосистемой и дисплеем. Определены факторы (точность позиционирования; рабочая скорость агрегата; расстояние между соседними саженцами по ряду; расстояние между соседними саженцами поперек ряда) и отклик (ошибка управления) эксперимента. Определен достаточный интервал варьирования точности позиционирования: от 0 до 20 мм. Выведены эмпирические зависимости средней ошибки управления от указанных выше факторов, на основе

анализа которых определены допустимые значения параметров при точности позиционирования 10 мм. Движение при рабочей скорости агрегата, превышающей 4,0 км/ч, не рекомендуется. Полученные результаты предлагается использовать при проектировании машин с АСУ для приствольной обработки почвы.

Keywords: automation, automated control system, working body movement, laboratory research, fruit nurseries, young orchards, undertree tillage, working body, saplings, positioning accuracy.

The most important operation in the cultivation of fruit and berry crops is undertree tillage when it is required to remove weeds and loosen the topsoil. The research goal is the design of the machine with an automated control system for working bodies (ACS) for undertree tillage in fruit nurseries and young orchards. A machine is proposed that contains modules each of which has two working bodies mounted on frames, pivotally connected to the module body with the possibility of rotation in a vertical plane. The working bodies consist of a shaft; in its lower part, a disk with fingers is installed. The drive of working bodies is from a hydraulic motor. The module may be moved in the transverse direction by means of a screw gear driven by a stepper motor. The frames are connected by means of rods to a hydraulic cylinder mounted on the body. The machine is also equipped with an electric hydraulic distributor, a controller, a control panel, a speed sensor, a video system and a display. The factors (positioning accuracy; unit operating speed; distance between adjacent saplings in a row; distance between adjacent saplings across a row) and the response (control error) of the experiment were determined. A sufficient interval of positioning accuracy variation

is determined: from 0 to 20 mm. Empirical dependences of the average control error on the above factors are derived; based on their analysis, the allowable values of the parameters are determined with a positioning accuracy of 10 mm.

It is not recommended to drive with a unit operating speed exceeding 4.0 km/h. The results obtained are proposed to be used in the design of machines with ACS for undertree tillage.

Раззамазов Никита Иванович, студент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Nyk0810@mail.ru.

Сороченко Сергей Федорович, д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sorochenkosf@list.ru.

Razzamazov Nikita Ivanovich, student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Nyk0810@mail.ru.

Sorochenko Sergey Fedorovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sorochenkosf@list.ru.

Введение

В Российской Федерации широко распространено садоводство [1], для которого необходимы саженцы плодово-ягодных культур, выращиваемые в плодпитомниках и молодых садах. Важнейшие операции в них – механическое удаление сорных растений и рыхление почвы в приствольных зонах. На сегодняшний день эти процессы тяжёлый физический труд с большими затратами времени. Механизация прополки, реализованная в садовых культиваторах и машинах [2-6], управление положением рабочих органов относительно рядка саженцев (далее – рядок) которых производится вручную операторами, позволила значительно снизить время проведения операции и облегчить труд рабочих. Однако ручное управление сопровождается повышенными требованиями безопасности операторов; наблюдается повышенный уровень запылённости рабочего места; имеется вероятность нанесения повреждений культурным растениям [7]. Кроме этого у операторов отмечается повышенная утомляемость, приводящая к снижению производительности машины. Достичь устранения указанных недостатков можно автоматизацией рабочего процесса.

Цель исследования – разработка машины с автоматизированной системой управления рабочими органами (далее – АСУ) для приствольной обработки почвы.

Задачи исследования:

- разработать схему машины;
- разработать схему АСУ;
- разработать стенд для проведения экспериментальных исследований движения рабочих органов машины в лабораторных условиях;
- проверить работоспособность и определить параметры и режимы работы указанной системы в лабораторных условиях.

Работа выполнена в рамках реализации гранта по программе «УМНИК-2020».

Объекты и методы

Схема предлагаемой машины представлена на рисунке 1. Оператор машины посредством пульта управления и контроллера может подавать сигнал на электрогидрораспределитель, передающий воздействие на гидроцилиндр, и на шаговый двигатель. Управление положением рабочих органов относительно оси рядка возможно в автоматическом режиме, при котором контроллер получает данные с видеосистемы и датчика скорости. Вращаясь, рабочие органы пальцами рыхлят почву и вычёсывают сорняки из приствольных зон культурных растений. Более подробное описание машины приведено в патенте [8].

Введем термины:

– рабочий зазор S – зазор между рабочими органами модуля. Рабочий зазор может изменяться от минимального значения S_{min} при движении рабочих органов между соседними саженцами одного рядка до максимального значения S_{max} , когда рабочие органы полностью разведены (рис. 2);

– ось модуля – продольная ось симметрии модуля;

– точность позиционирования рабочих органов (далее – точность позиционирования) S_0 – длина диапазона значений отклонения Δ оси модуля от оси рядка, т.е.

$$S_0 = |[-\Delta; +\Delta]| = 2\Delta. \quad (1)$$

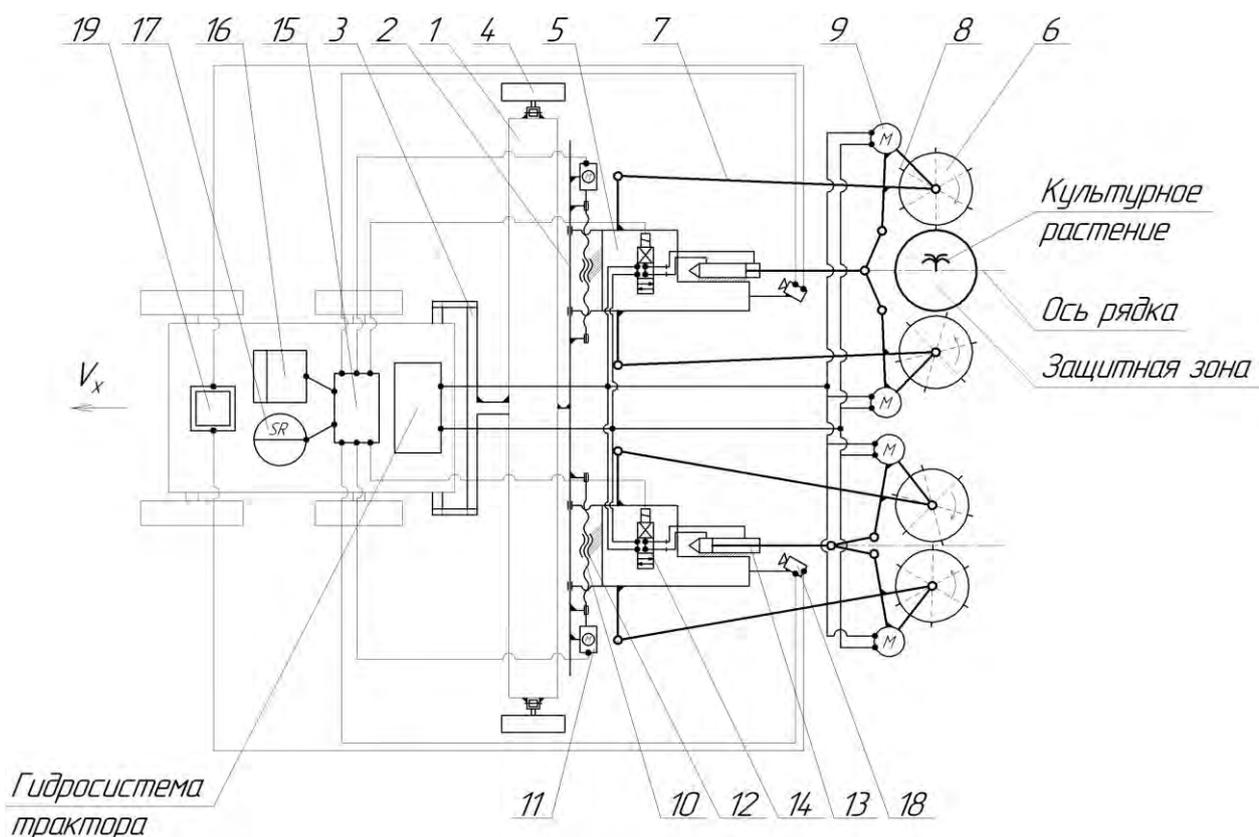


Рис. 1. Схема предлагаемой машины:

- 1 – рама; 2 – поперечная балка; 3 – навесное устройство; 4 – опорное колесо; 5 – корпус; 6 – ротационный рабочий орган; 7 – поворотная рамка; 8 – палец; 9 – гидромотор; 10 – винт ШВП; 11 – приводное устройство; 12 – гайка ШВП; 13 – гидроцилиндр; 14 – электрогидрораспределитель; 15 – контроллер; 16 – пульт управления; 17 – датчик скорости; 18 – видеосистема; 19 – дисплей

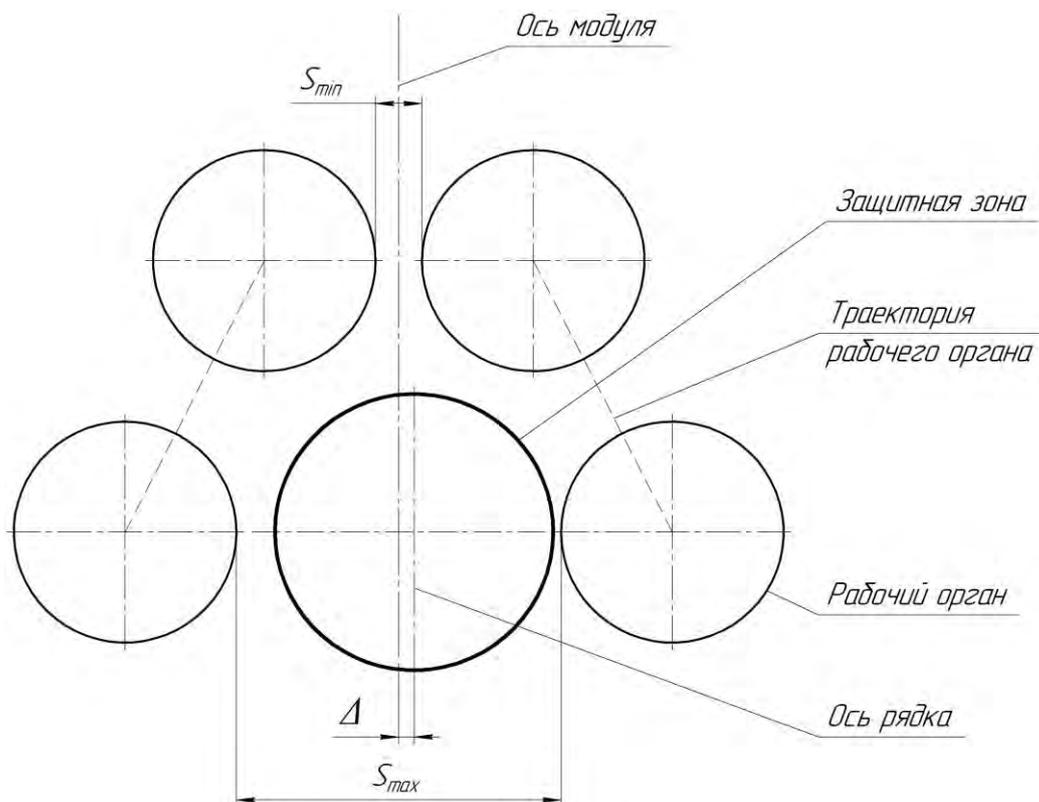


Рис. 2. Схема расположения рабочих органов относительно рядка при его обработке

Экспериментальная часть

Задачи лабораторных исследований состояли в определении:

- интервала варьирования ($0; S_{0max}$), достаточного для проведения последующих опытов;
- условий, при которых точность позиционирования S_0 , предотвращающая прохождение рабочих органов по защитной зоне, минимальна.

Проверка работоспособности предлагаемой системы, определение параметров и режимов её работы с участием оператора проведены на лабораторном стенде (рис. 3), выполненном в виде ленточного транспортера 1, на транспортной ленте 2 которого закреплены планки 3 с имитаторами саженца в виде пластмассовых трубочек, и рабочей части 4, представляющей собой раму с поперечной балкой 5 и имитатором 6 модуля, имеющим одну степень свободы – движение вдоль поперечной балки 5.

На поперечной балке 5 закреплены шаговый двигатель 7, соединённый с винтом 8 ШВП, и полиамидные пластины. Гайка 9 ШВП жестко соединена с имитатором 6 модуля, на котором закреплены полиамидные пластины, контактирующие с полиамидными пластинами, закреплёнными на поперечной балке 5, роликовая опора (на рисунке не показана) и имитаторы 10 рабочего органа, выполненные в виде пластин 11, зазор $S_{\text{лаб}}$ между которыми регулируется. Длина пластин 11 равна радиусу рабочего органа $R = 0,12$ м, определенному в работе [9]. Также стенд содержит стендовую версию АСУ, содержащую видеокамеру 12, установленную на имитаторе 6 модуля, компьютер 13, управляющее устройство 14, представленное геймпадом, и контроллер, содержащий плату Arduino и индуктивные датчики. Исполнительный механизм представлен драйвером шагового двигателя и шаговым двигателем 7.

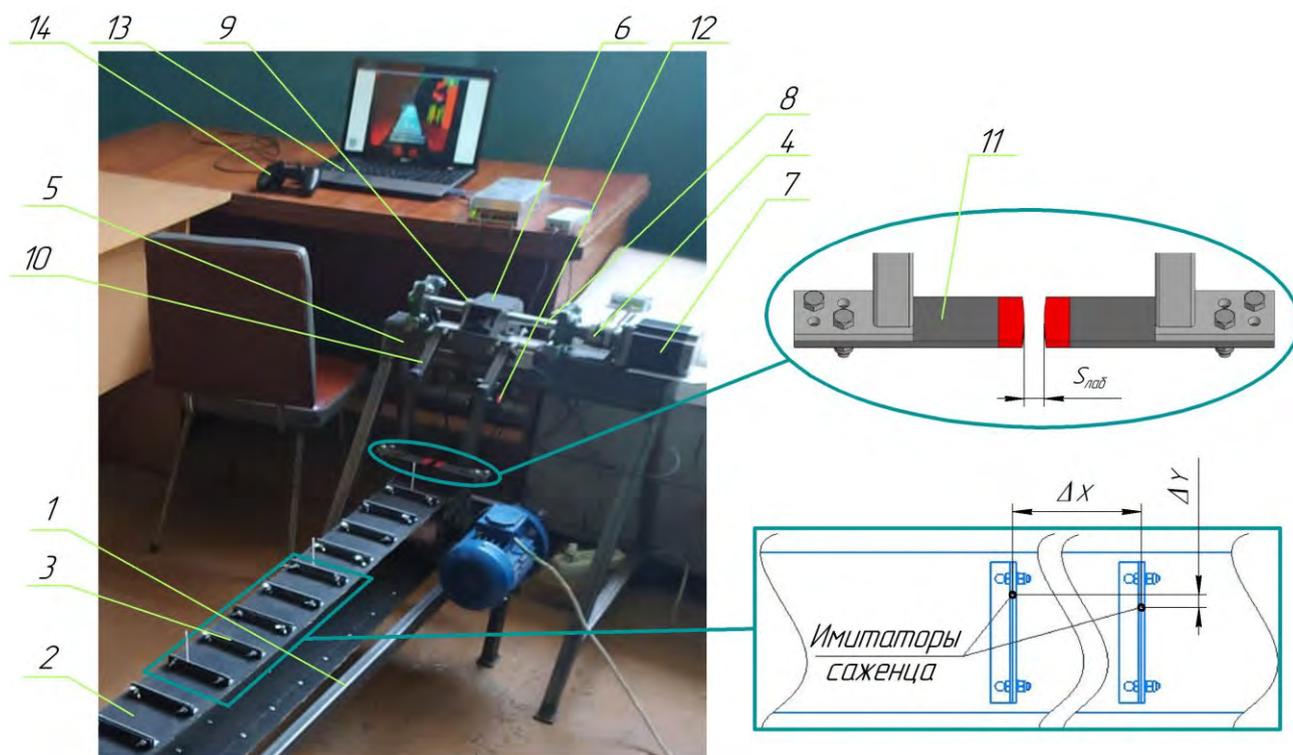


Рис. 3. Стенд для проведения лабораторных исследований (расшифровка позиций в тексте)

Опишем работу стенда. Оператор с помощью видеокамеры 12 посредством компьютера 13 отслеживает положение имитаторов 10 рабочего органа относительно имитаторов саженца, движущихся вместе с транспортёрной лентой 2. При необходимости при помощи управляющего устройства 14 он подаёт сигнал на компьютер 13, с которого через плату Arduino передаётся

воздействие на драйвер шагового двигателя 7, выходной вал которого, вращаясь, приводит во вращение винт 8 ШВП, что приводит к движению имитатора 6 модуля в поперечном направлении и, таким образом, к перемещению имитаторов 10 рабочего органа. Управляя положением имитатора 6 модуля, оператор старается обеспечить прохождение имитаторов саженца в зазор

$S_{\text{лаб}}$. Индуктивные датчики ограничивают движение имитатора 6 модуля. Изменение частоты вращения выходного вала мотор-редуктора, приводящего в движение транспортёрную ленту, и, таким образом, изменение скорости транспортёрной ленты 2 производится при помощи преобразователя частоты тока.

Для минимизации субъективной составляющей проведения опытов количество операторов выбрано равным трём. Повторность опытов принята равной трём для каждого из операторов. Опыты проведены рандомизированно. Имитаторы саженца устанавливали вертикально. При проведении лабораторных исследований под точностью позиционирования S_0 понималась величина зазора $S_{\text{лаб}}$ между пластинами имитаторов рабочего органа.

Факторы эксперимента и их диапазон:

- 1) зазор $S_{\text{лаб}}$ – от 10 до 70 мм с шагом 10 мм;
- 2) скорость ленты V_x – до 1,39 м/с (5 км/ч);
- 3) расстояние между соседними имитаторами саженца по длине ленты ΔX – от 100 мм с шагом 100 мм;
- 4) расстояние между соседними имитаторами саженца по ширине ленты ΔY – от 0 до 50 мм.

Отклик эксперимента – относительный параметр, который характеризует количество пересечений рабочими органами защитных зон во время работы машины. Во время лабораторных исследований отклик оценивался средней ошибкой управления, определяемой по формуле:

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{p=1}^q \psi_p}{q}, \quad (2)$$

где p – порядковый номер опыта серии;

q – общее количество опытов серии;

ψ_p – ошибка управления в p -том опыте серии, определяемая по формуле:

$$\psi_p = \frac{N_{3p}}{N_p}, \quad (3)$$

где N_{3p} – количество задеваний имитаторов саженца пластинами имитаторов рабочего органа в p -том опыте серии;

N_p – общее количество проходов имитаторов саженца в p -том опыте серии.

Так как опыты проводились при двух полных проходах ленты, то значение параметра N_p

было равно удвоенному значению количества имитаторов саженца, закреплённых на планках, которое задавалось предварительно.

Скорость ленты при её известной длине определяли с помощью секундомера. Расстояние между имитаторами саженца по ширине ленты измеряли линейкой с погрешностью 0,5 мм по рискам, нанесённым на планки с погрешностью 0,5 мм. Расстояние между имитаторами саженца по длине ленты задавали выбором соответствующих планок для их закрепления.

Результаты исследований и их обсуждение

Задевание имитаторов саженца при $\Delta Y = 10$ мм, $\Delta X = 400$ мм и $S_{\text{лаб}} = 20$ мм начало наблюдаться при достижении параметра $V_x = 1,25 \frac{\text{м}}{\text{с}} (4,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}})$, что говорит об ограничении рабочей скорости агрегата значением $V_x = 4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Проведение опытов при $S_{\text{лаб}} = 40$ мм и $S_{\text{лаб}} = 50$ мм оказалось нецелесообразным, поскольку значения отклика не изменялись для двух последовательно расположенных значений фактора $S_{\text{лаб}} = 20$ мм и $S_{\text{лаб}} = 30$ мм при всех повторностях. Таким образом, интервал варьирования параметра $S_0 \in (0 \text{ мм}; 20 \text{ мм})$ достаточен для проведения последующих опытов.

График зависимости $\psi_{\text{ср}}(V_x)$ при $\Delta X = 400$ мм и $\Delta Y = 10$ мм представлен на рисунке 4.

Аппроксимацией полученной зависимости определили, что при $S_0 = 10$ мм допустимое значение параметра V_x – не более 1,82 км/ч при указанных значениях параметров ΔX и ΔY .

График зависимости $\psi_{\text{ср}}(\Delta Y)$ при $\Delta X = 400$ мм и $V_x = 0,833 \frac{\text{м}}{\text{с}} (3 \frac{\text{км}}{\text{ч}})$ представлен на рисунке 5.

Аппроксимацией полученной зависимости определили, что при $S_0 = 10$ мм допустимое значение ΔY – не более 7 мм при указанных значениях параметров ΔX и V_x .

Графики зависимости $\psi_{\text{ср}}(\Delta X)$ при $V_x = 0,833 \frac{\text{м}}{\text{с}} (3 \frac{\text{км}}{\text{ч}})$ и значениях параметра $\Delta Y = 10$ мм и $\Delta Y = 30$ мм представлены на рисунке 6.

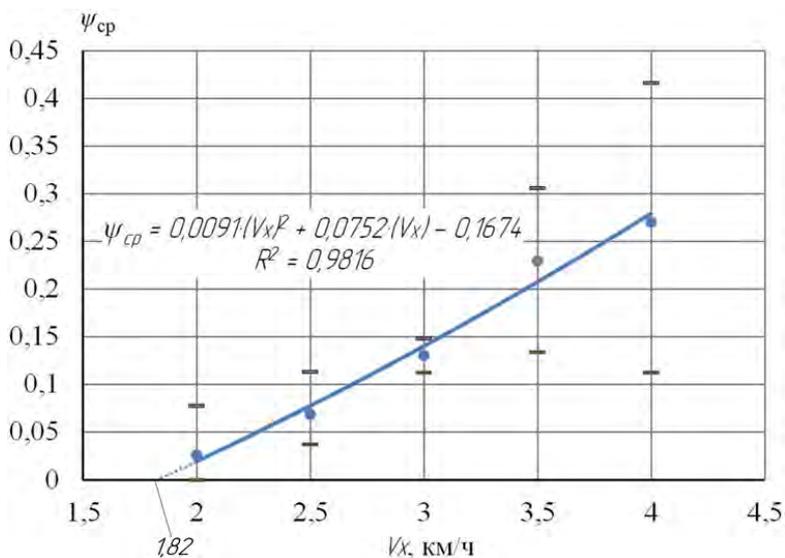


Рис. 4. График зависимости средней ошибки управления от скорости ленты

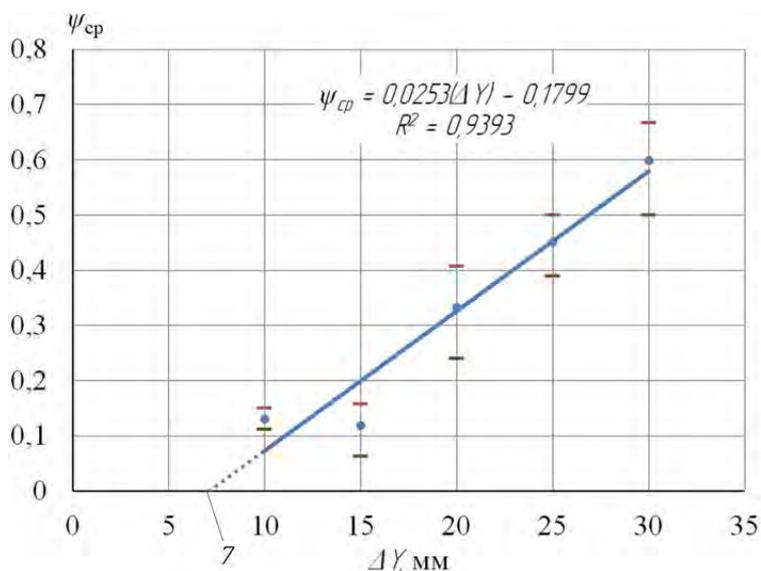


Рис. 5. График зависимости средней ошибки управления от расстояния между соседними имитаторами саженца по ширине ленты

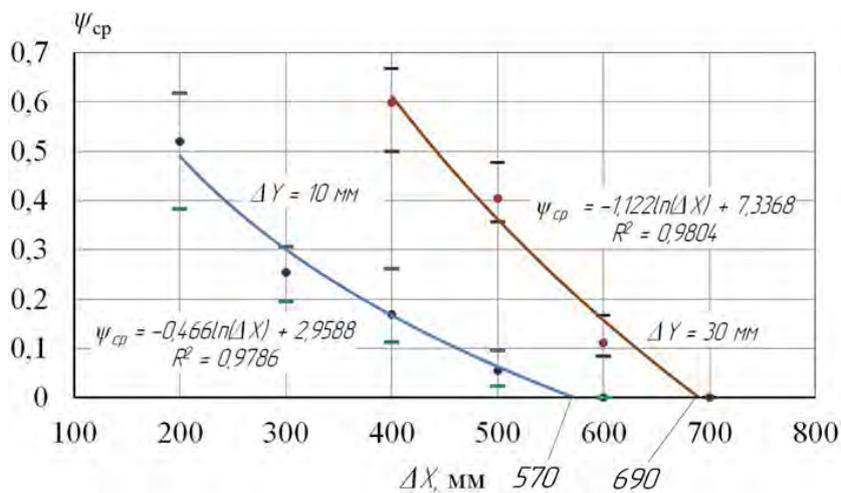


Рис. 6. Графики зависимости средней ошибки управления от расстояния между соседними имитаторами саженца по длине ленты

Аппроксимацией полученных зависимостей определили, что при $S_0 = 10$ мм допустимое значение ΔX при указанном значении параметра V_x :

- не менее 570 мм при $\Delta Y = 10$ мм;
- не менее 690 мм при $\Delta Y = 30$ мм.

Данные, полученные при проведении лабораторных экспериментов, можно использовать при проектировании машины для приствольной обработки почвы в плодopитомниках и молодых садах. Для повышения производительности агрегата и снижения повреждаемости культурных растений рабочими органами система управления должна иметь более высокую степень автоматизации, при которой оператор лишь наблюдает за процессом, вмешиваясь в него только в экстренных случаях.

Заключение

1. Предложена принципиальная схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для приствольной обработки почвы. Машина состоит из модулей с двумя ротационными рабочими органами, поворотных рамок, гидромоторов, ШВП с приводом, гидроцилиндров, электрогидрораспределителей, контроллера, пульта управления, датчика скорости, видеосистемы и дисплея.

2. Проведены лабораторные исследования предлагаемой системы, в которой управление рабочими органами производится оператором. Определен достаточный интервал варьирования точности позиционирования: $S_0 \in (0 \text{ мм}; 20 \text{ мм})$. При точности позиционирования рабочих органов, равной $S_0 = 10$ мм:

– при расстоянии между соседними саженцами по ряду $\Delta X = 400$ мм и расстоянии между соседними саженцами поперек ряда $\Delta Y = 10$ мм рабочая скорость агрегата V_x должна быть не более 1,82 км/ч;

– при рабочей скорости агрегата $V_x = 3 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и расстоянии между соседними саженцами по ряду $\Delta X = 400$ мм расстояние между соседними саженцами поперек ряда ΔY должно быть не более 7 мм;

– при расстоянии между соседними саженцами поперек ряда $\Delta Y = 10$ мм и рабочей скорости агрегата $V_x = 3$ км/ч расстояние между соседними саженцами по ряду ΔX должно быть не менее 570 мм, а при расстоянии между соседними саженцами поперек ряда $\Delta Y = 30$ мм и рабочей скорости $V_x = 3$ км/ч – не менее 690 мм;

– движение с рабочей скоростью $V_x > 4$ км/ч не рекомендуется.

3. Полученные результаты предлагается использовать при проектировании машины для приствольной обработки почвы в плодopитомниках и молодых садах.

Библиографический список

1. Растениеводство. – Текст: электронный // Минсельхоз Алтайского края: [офиц. сайт] / Министерство сельского хозяйства Алтайского края. – 2007-2023. – URL: <https://www.altagro22.ru/apk/rastenievodstvo/> (дата обращения: 02.02.2023).

2. Weeder Eco II. – Текст: электронный // UNIVERCO: [website] / Univerco. – 2019. – URL: <https://univerco.com/en/product/weeder-eco-ii/> (дата обращения: 03.02.2023).

3. Прополочный культиватор для внутрирядной обработки Robocrop InRow Weeder. – Текст: электронный // garford: [офиц. сайт] / Garford Farm Machinery Ltd. – Peterborough, 2023. – URL: <https://garford.com/ru/robocrop-inrow-weeder/> (дата обращения: 04.03.2022).

4. Патент № 163245 Российская Федерация, МПК А01В35/02 (2006.01). Культиватор междурядный навесной: № 2016105719/13: заявл. 18.02.2016: опубл. 10.07.2016 / Головин А. А.; заявитель Головин А. А. – 2 с. – Текст: непосредственный.

5. Патент № 2412569 Российская Федерация, МПК А01В13/36 (2006.01). Машина для обработки приствольных полос в саду: № 2009132273/21: заявл. 26.08.2009: опубл. 27.02.2011 / Бросалин В. Г., Манаенков К. А.; заявители Мичуринский государственный аграрный университет, ООО «Научно-производственный центр «ТехноСад». – 7 с. – Текст: непосредственный.

6. Машина для приствольной обработки почвы МПП-2. – Текст: электронный // Ваш трактор: [сайт] / Торгово-производственная компания «Ваш трактор». – Барнаул, 2011. – URL: <https://ваштрактор.рф/mashina-dlya-pristvolnoj-obrabotki-pochvyi-mpp-2> (дата обращения: 27.01.2023).

7. Orchard-floor management for fruit trees / T. R. Roper. – RP-05-2005 (SR7/95) // Cooperative Extension Publications, University of Wisconsin-Extension. – 2005. – URL: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0145/8808/4272/files/A3562.pdf> (дата обращения: 29.01.2023).

8. Патент № 2767791 Российская Федерация, МПК А01В39/16 (2006.01), А01В33/06 (2006.01); СПК А01В39/166 (2021.08), А01В33/06 (2021.08). Машина для междурядной и приствольной обработки почвы: № 2021114807 / заявл. 24.05.2021: опублик. 21.03.2022 / Сороченко С. Ф., Раззамазов Н. И., Чулкин Н. М., Метальников Р. В.; заявитель Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – 11 с. – Текст: непосредственный.

9. Раззамазов, Н. И. Параметры роторного рабочего органа машины для приствольной обработки почвы в плодopитомниках / Н. И. Раззамазов, А. Ю. Супрунов, С. Ф. Сороченко. – Текст: непосредственный // Научное творчество студентов и сотрудников факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта: сборник докладов 77-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического ун-та (21-24 мая 2019 г.). – Барнаул, 2019. – С. 68-73.

References

1. Rasteniievodstvo // Minselkhoz Altaiskogo kraia: [ofits. sait] / Ministerstvo selskogo khoziaistva Altaiskogo kraia. – 2007-2023. – URL: <https://www.altagro22.ru/apk/rasteniievodstvo/> (дата обращения: 02.02.2023).

2. Weeder Eco II // UNIVERCO: [website] / Univerco. – 2019. – URL: <https://univerco.com/en/product/weeder-eco-ii/> (дата обращения: 03.02.2023).

3. Propolochnyi kultivator dlia vnutririadnoi obrabotki Robocrop InRow Weeder // garford: [ofits.

sait] / Garford Farm Machinery Ltd. – Peterborough, 2023. – URL: <https://garford.com/ru/robocrop-inrow-weeder/> (дата обращения: 04.03.2022).

4. Patent No. 163245 Rossiiskaia Federatsiia, MPK A01V35/02 (2006.01). Kultivator mezhstrochnyi navesnoi: No. 2016105719/13: zaiavl. 18.02.2016: opubl. 10.07.2016 / Golovin A.A.; zaiavitel Golovin A.A. – 2 s.

5. Patent No. 2412569 Rossiiskaia Federatsiia, MPK A01B13/36 (2006.01). Mashina dlia obrabotki pristvolnykh polos v sadu: No. 2009132273/21: zaiavl. 26.08.2009: opubl. 27.02.2011 / Brosalin V.G., Manaenkov K.A.; zaiaviteli Michurinskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, OOO "Nauchno-proizvodstvennyi tsentr "TekhnoSad". – 7 s.

6. Mashina dlia pristvolnoi obrabotki pochvy MPP-2 // Vash traktor: [sait] / torgovo-proizvodstvennaia kompaniia «Vash traktor». – Barnaul, 2011. – URL: <https://vashtraktor.rf/mashina-dlya-pristvolnoj-obrabotki-pochvyi-mpp-2> (дата обращения: 27.01.2023).

7. Orchard-floor management for fruit trees / T.R. Roper. – RP-05-2005 (SR7/95) // Cooperative Extension Publications, University of Wisconsin-Extension. – 2005. – URL: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0145/8808/4272/files/A3562.pdf> (дата обращения: 29.01.2023).

8. Patent No. 2767791 Rossiiskaia Federatsiia, MPK A01B39/16 (2006.01), A01B33/06 (2006.01); SPK A01B39/166 (2021.08), A01B33/06 (2021.08). Mashina dlia mezhduriadnoi i pristvolnoi obrabotki pochvy: No. 2021114807 / zaiavl. 24.05.2021: opubl. 21.03.2022 / Sorochenko S.F., Razzamazov N.I., Chuklin N.M., Metalnikov R.V.; zaiavitel Altaiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova. – 11 s.

9. Razzamazov, N.I. Parametry rotnogo rabocheho organa mashiny dlia pristvolnoi obrabotki pochvy v plodopitomnikakh / N.I. Razzamazov, A.Iu. Suprunov, S.F. Sorochenko // Nauchnoe tvorchestvo studentov i sotrudnikov fakulteta energomashinostroeniia i avtomobilnogo transporta: sb. dokladov 77-i nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i prof.-prepodavat. sostava tekhn. un-ta (21-24 maia 2019 g.). – Barnaul, 2019. – S. 68-73.

