8. Pat. 2647526 Rossijskaya Federaciya, MPK V 07 V 13/02, A 01 F 12/44. Pribor dlya vydeleniya primesej iz zernosmesej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve (FGBNU VNIITiN). – № 2017114302; zayavl. 24.04.2017; opubl. 16.03.2018, Byul. № 8.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Stend dlya vydeleniya dlinnyh primesej iz zernosmesej // Nauka v central'noj Rossii. − 2018. − № 4 (34). − S. 12-24.

10. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Issledovanie parametrov zernovogo segmenta v ovsyuzhnom triernom cilindre // Nauka v central'noj Rossii. − 2019. − № 2 (38). − S. 23-28.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail:vniitinlab5@mail.ru.

Анашкин Александр Витальевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail:vniitinlab5@mail.ru.

Anashkin Alexander – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 27.06.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.07.2019

УДК-537.811; 621.3.087.44
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-26-33

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

[1]Гордеев Александр Сергеевич
[1]Мишин Борис Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственныйаграрный университет»

Реферат. *Срез и выкопка плодовых растений всегда связаны с определенным процентом их повреждения из-за неточности позиционирования рабочего органа машин для промышленного садоводства. Разрабатывали систему позиционирования рабочих органов и растений. Использовали инструмент имитационного моделирования AnyLogic, который поддерживает все подходы к созданию моделей: дискретно-событийный, системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Изучали электромагнитное позиционирование. В качестве базовой метки использовали металлический проводник, установленный в корневой системе растения. Величина электромагнитного сигнала, излучаемого базовой меткой пропорциональна расстоянию от метки до приемных датчиков. Предложено использовать три приемных датчика на заданном расстоянии друг от друга. Разработана имитационная модель, которая позволяет на основании данных с приемных датчиков ориентировать рабочий орган относительно растения в автоматическом режиме. Для этого устанавливаются координаты базовой метки и рабочего органа. Предложены алгоритм и математическая модель ориентации рабочего органа относительно базовой метки, которые предполагают наличие трех приемных датчиков, блока генератора случайных величин для входных параметров. Представлена программа реализации алгоритма ориентации рабочего органа относительно корневой системы плодовых растений* в системе AnyLogic.

Ключевые слова*: позиционирование, сельское хозяйство, моделирование, системы управления, растения, рабочие органы.*

IMITATION MODEL OF ORIENTATION OF THE WORKING BODY ON THE ROOT SYSTEM OF FRUIT PLANTS

[1]*Gordeev Alexander*
[1]*Mishin Boris*

[1]*FSBEI HE "Michurinsky State University of Agriculture"*

Abstract. *The cutting and digging of fruit plants is always associated with a certain percentage of their damage due to inaccurate positioning of the working body of machines for industrial gardening. A system for positioning working organs and plants was developed. AnyLogic simulation tool was used, which supports all approaches to creating models: discrete-event, system-dynamic and agent, as well as any combination of them. Electromagnetic positioning was used. A metal conductor installed in the root system of the plant was used as a base label. The magnitude of the electromagnetic signal emitted by the base mark is proportional to the distance from the mark to the receiving sensors. It is proposed to use three receiving sensors at a given distance from each other. A simulation model that allows, based on data from the receiving sensors, to orient the working body relative to the plant in automatic mode, was developed. The coordinates of the base mark and the working body are set for this. An algorithm and a mathematical model of the orientation of the working body relative to the base label were proposed, which suggest the presence of three receiving sensors, a random generator unit for input parameters. A program for implementing the working body orientation algorithm relative to the root system of fruit plants in the AnyLogic system is presented.*

Keywords: *positioning, agriculture, modeling, control systems, plants, working organs.*

Введение. Для ориентации рабочих органов можно использовать различные технические решения: копирующие устройства [1], ультразвуковые устройства [2], ориентирование оператором [3]. Однако в подавляющем большинстве случаев ориентация происходит по косвенным признакам, которые к объекту имеют не самое прямое отношение. Например, рассмотрим ориентацию рабочего органа относительно корневой системы растения. Обычно при выкопке и срезе растений рабочий орган меняет свое местоположение в зависимости от рельефа почвы, но нельзя сказать, что корни находятся от поверхности почвы на каком-то определенном расстоянии. Поэтому срез и выкопка всегда связаны с определенным процентом повреждаемости растений. Этот процент связан с точностью позиционирования рабочего органа относительно растения.

Повышение точности позиционирования возможно благодаря смещению базы, от которой отсчитывается местоположение (поверхность почвы), как можно ближе к растению. Исходя из вышесказанного, дается вывод, что необходим источник сигнала, связанный с растением, который может генерировать сигнал о своем местоположении. Используем электромагнитное позиционирование, суть которого в следующем. Имеется генератор электромагнитного поля. В корневую систему растения помещен металлический проводник, который назовем базовой меткой. Генератор излучает в пространство электромагнитное поле заданной частоты. В базовой метке по закону электромагнитной индукции возникают токи той же частоты, какую излучает генератор. Метка становиться источником электромагнитного сигнала. Он фиксируется приемными датчиками. Величина сигнала пропорциональна расстоянию от метки до приемных датчиков.

Материалы и методы. Одним из этапов исследований по разработке системы позиционирования рабочих органов и растений является построение имитационной модели, позволяющей исследовать ее поведение во времени и ряд факторов, которые не были включены в математическую модель. Для этих целей выбран инструмент имитационного моделирования AnyLogic, который поддерживает все подходы к созданию моделей: дискретно-событийный, системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию [4].

Для определения координаты базовой метки предлагаем использовать три приемных датчика [5] расположенных на заданном расстоянии друг от друга. Каждый приемный датчик выдаёт в пространство сигнал соответствующий расстоянию от него до базовой метки. Таким образом, расстояние до базовой метки можно считать радиусами окружностей с центрами O_1, O_2, O_3. На основе алгоритма определения местоположения базовой метки имеем координаты растения $M(M_x,M_y)$ относительно приемных датчиков, которые соединены с рабочим органом. Для управления мало иметь только значения координаты растения, необходим также алгоритм смещения рабочего органа в плоскости до того момента, как будет достигнуто нужное местоположение относительно растения. В процессе работы система управления должна постоянно стремиться к тому, чтобы выполнялось равенство:

$$N\ (N_x,\ N_y) = M\ (M_x,\ M_y) \qquad (1)$$

N – точка с координатами (N_x, N_y), которая определяет ту позицию рабочего органа относительно растения, которая позволит качественно выполнять ту или иную технологическую операцию.

Рассмотрим блок-схему (рисунок 1), поясняющую задачу управления. На входе имеем значения сигналов с приемных датчиков O_1,O_2,O_3, которые определяют координаты базовой метки. Приемные датчики связаны с рабочим органом и перемещаются вместе с ним. На выходе алгоритма имеем координату базовой метки M(M_x, M_y), которая в свою очередь поступает на вход системы управления рабочим органом.

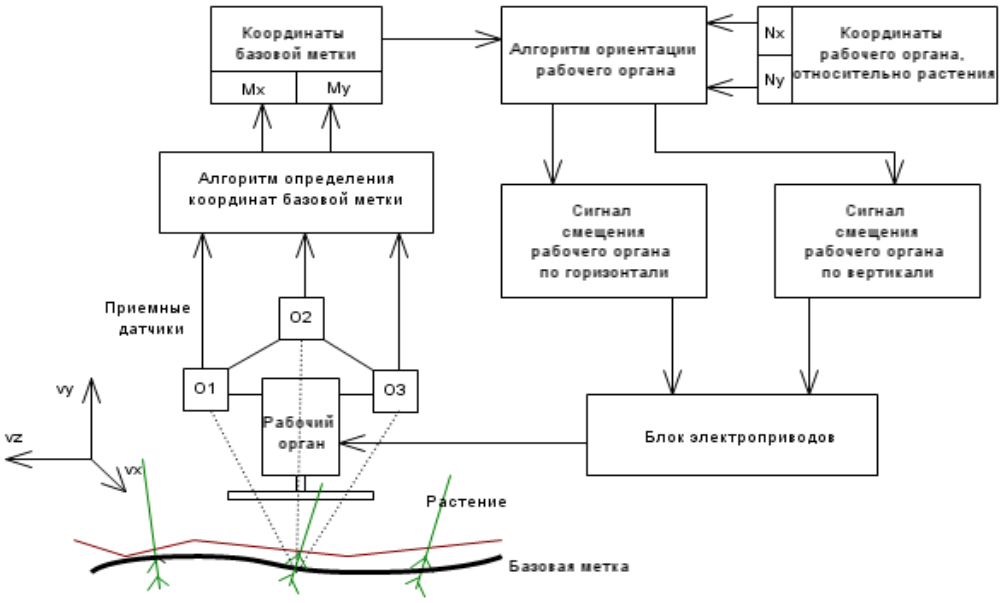

Рисунок 1 – Схема управление рабочим органом относительно базовой метки

Для управления, наряду с координатой метки, нужна координата позиции рабочего органа N(N_x, N_y) относительно растения, к которой он будет постоянно стремиться. После того, как система управления рассчитает траекторию следования рабочего органа, на блок электроприводов подаются соответствующие управляющие сигналы, для смещения рабочего органа по горизонтали и вертикали. В каждый момент времени после смещения Δx по оси X, Δy по оси Y, обратная связь через блок приемных датчиков возвращает данные о расположении рабочего органа относительно координаты N (N_x,N_y). Смещение происходит до тех пор, пока не выполнится равенство (1).

Алгоритм ориентации рабочего органа относительно базовой метки, представленный на рисунке 2. После начала выполнения модели (блок 1),устанавливаем время моделирования t_m (блок 2) и задаем координаты рабочего органа (блок 3). В блоке 4 осуществляется вход в бесконечный цикл, в котором последовательно выполняются два цикла: в первом выполняется алгоритм определения координат базовой метки (блок 5), во втором - алгоритм ориентации рабочего органа относительно базовой метки (блок 10). После того, как произошел вход в первый цикл (блок 5) по формулам (1)-(9), приведенным в [5], рассчитываются координаты базовой метки. Если координаты не рассчитаны (блок 9), то начинаем цикл заново (блок 5). Если координаты рассчитаны (блок7), то выводим эти значения (блок 8) и выводим из цикла. Далее следует второй цикл (блок 10), в котором проверяется равенство (17) (блок 11). Если оно выполняется, то выходим из цикла (блок 12) и начинаем расчет заново (блок 4), так как рабочий орган находиться в нужной позиции относительно базовой метки. Если (17) не выполняется, то проверяем, где находиться рабочий орган относительно базовой метки (блок 13). Если он находиться правее, то смещаем координату рабочего органа по оси X влево (блок 14). Иначе смещаем координату рабочего органа по оси X вправо (блок 16). Далее проверяем расположение рабочего органа по вертикали. Если он выше метки (блок 18), то смещаем вниз (блок 19), если ниже (блок 20) - смещаем вверх (блок 21). Изменение положения рабочего органа выводим в графическое окно (блок 23) и начинаем алгоритм сначала (блок 4), пока не закончится время моделирования (блок 24).

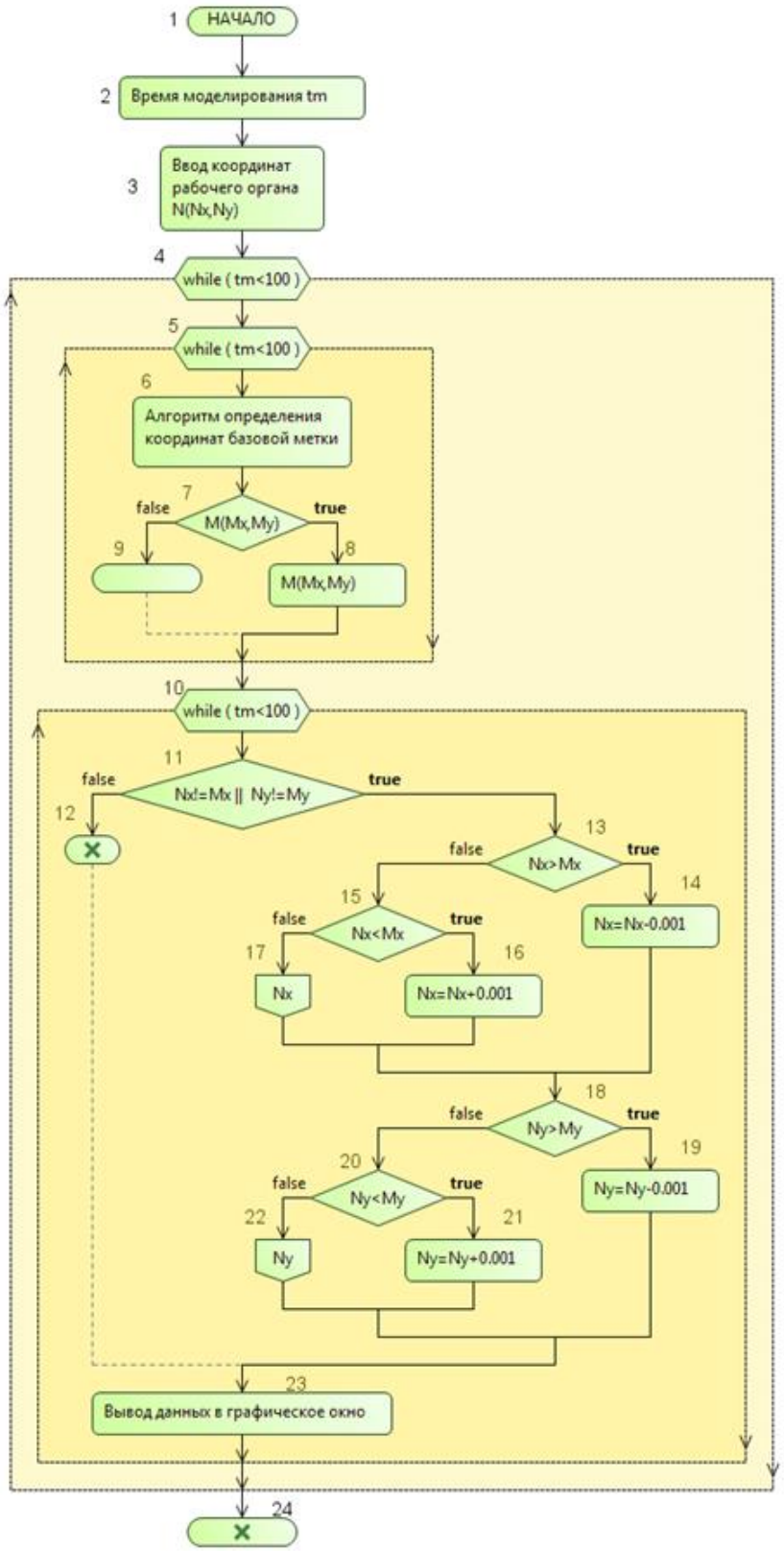

Рисунок 2 - Алгоритм ориентации рабочего органа относительно базовой метки

Имитационная модель системы управления рабочим органом относительно корневой системы плодовых растений (рисунок 3) состоит из двух основных блоков. Первый блок рассчитывает координаты базовой метки по приходу сигнала с элемента управления кнопка 1 «Расчет координат», который изменяет выход логической переменной «Расчет_точек_пересечения» на true. После этого выполняется алгоритм определения координат базовой метки. Как только они рассчитаны, происходит ожидание сигнала, который запускает выполнение алгоритма ориентации рабочего органа относительно базовой метки. Запуск происходит по приходу сигнала с элемента управления кнопка 2 «Ориентировать ИП», который изменяет выход логической переменной " Ориентация_ИП" на true, а логическую переменную «Расчет_точек_пересечения» на false. Все изменения можно наблюдать в графическом окне. Выведены параметры расстояний от приемных датчиков до базовой метки, а также координаты расположения приемных датчиков, которые связаны с рабочим органом. В процессе ориентации рабочий орган стремиться занять положение, которое характеризуется уравнением (1).

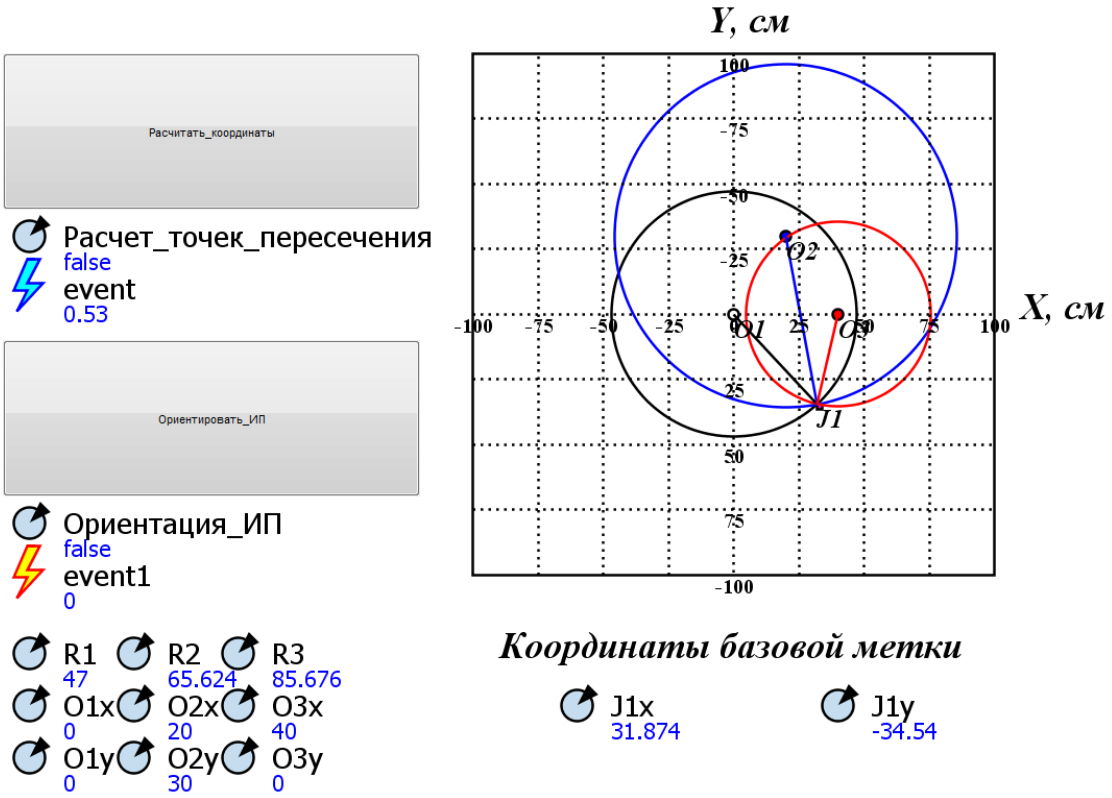

Рисунок 3 – Имитационная модель системы управления рабочим органом относительно корневой системы плодовых растений

Программная реализация алгоритма ориентации рабочего органа на языке Java в AnyLogic:

```
//если координаты базовой метки рассчитаны, то
if(Ориентация_ИП==true){
//проверка соотношений расположения приемных датчиков относительно базовой метки по оси X
if(O1x!=Mx-Nx){
    if(O1x<J1x-Nx){
        O1x=O1x+0.001;}
    else if(O1x>Mx-Nx){
        O1x=O1x-0.001;}
```

```
        O2x=O1x+20;     O3x=O1x+40;}
    //проверка соотношений расположения приемных датчиков относительно базовой метки по оси Y
    if(O1y!= My+Ny){
        if(O1y<My+Ny){
                O1y=O1y+0.001;}
        else if(O1y>My+Ny){
                O1y=O1y-0.001;}
        O2y=O1y+30;     O3y=O1y;}
    //рассчитываем расстояния до базовой метки после смещения рабочего органа
    R1=sqrt(pow(O1x-J1x,2)+pow(O1y-J1y,2));
    R2=sqrt(pow(O2x-J1x,2)+pow(O2y-J1y,2));
    R3=sqrt(pow(O3x-J1x,2)+pow(O3y-J1y,2));
    }
    //если Mx=Nx и My+Ny, то завершаем ориентацию
    if(abs(O1x-(Mx-Nx))<=0.001 && abs(O1y-(My+Ny))<=0.001){
    Ориентация_ИП=false;Расчет_точек_пересечения=true;}
```

Рабочий орган перемещается в пространстве. По оси Z перемещение осуществляется сельскохозяйственной машиной вдоль ряда растений со скоростью v_z. Перемещение по осям X и Y осуществляется со скоростями v_x и v_y. Немаловажной величиной является расстояние, пройденное по ряду растений s_z между началом и концом алгоритма расчета координат базовой метки, т.к. в это время система управления будет ожидать сигналы включения исполнительных приводов. Поэтому рабочий орган на s_z не меняет своего положения. Расстояние, пройденное по ряду растений между началом и концом алгоритма расчета координат базовой метки:

$$s_z = v_z * t_z,$$

где v_z – скорость сельскохозяйственной машины, t_z – время отработки.

Наряду с расстоянием, пройденным по ряду растений s_z между началом и концом алгоритма расчета координат базовой метки, важно знать расстояние s, на протяжении которого выполняется ориентации рабочего органа относительно базовой метки:

$$s = v_z * t_{xy},$$

где t_{xy}- время ориентации рабочего органа относительно базовой метки.

Время t_{xy} зависит от координаты базовой метки $M(M_x, M_y)$, координат рабочего органа относительно приемных датчиков $N(N_x, N_y)$, скорости перемещения рабочего органа в плоскости XY. Расстояние s_{xy} от $N(N_x, N_y)$ до $M(M_x, M_y)$ найдем по формуле:

$$s_{xy} = \sqrt{(\mathrm{N_x} - \mathrm{M_x})^2 + (\mathrm{N_y} - \mathrm{M_y})^2}.$$

Соответственно t_{xy} будет равно:

$$t_{xy} = \frac{s_{xy}}{v_{xy}}.$$

Поэтому общее время, за которое рабочий орган перемесится в нужную позицию относительно базовой метки равно:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{абм}} + t_{\text{ор}}.$$

Расстояние, пройденное за время выполнения алгоритма определения базовой метки и алгоритма ориентации рабочего органа относительно базовой метки равно:

$$s_{\text{общ}} = s_z + s = v_z * (t_z + t_{xy}).$$

Чем меньше $s_{\text{общ}}$, тем выше точность ориентации, т.к. именно на нем может резко меняться расположение корневой системы.

Результаты и обсуждение. На рисунке 4 представлены результаты моделирования процесса позиционирования рабочего органа сельскохозяйственной машины относительно токонесущего проводника. На первой диаграмме представлены временные характеристики ориентации рабочего органа относительно корневой системы растения. Можно сделать вывод, что с повышением

скорости движения транспортного средства и сохранения остальных параметров моделирования учитываются не все изменения расположения корневой системы. На втором графике представлена зависимость времени позиции рабочим органом ко времени моделирования. Можно сделать вывод, что при заданных параметрах моделирования половину всего времени занимает ориентация рабочего органа. На третьем графике представлены две зависимости. Первая это зависимость отклонения координаты базовой метки от времени моделирования. Вторая это зависимость координаты рабочего органа от модельного времени. Судя по графику можно сделать вывод, что траектория рабочего органа представляет собой сглаженную кривую, которая учитывает расположение корневой системы растения.

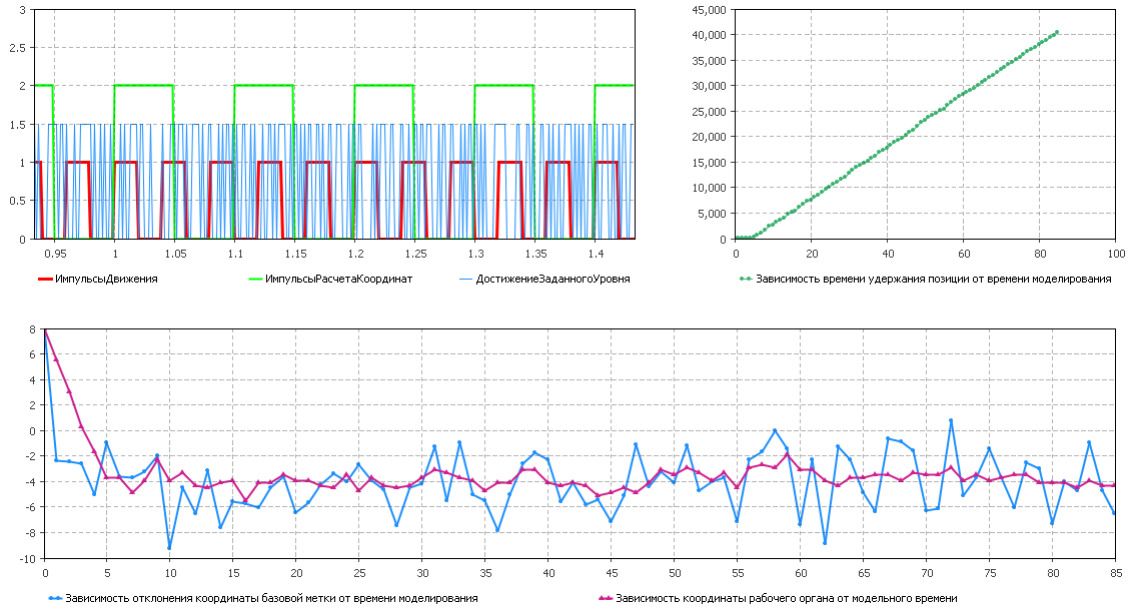

Рисунок 4 – Результаты моделирования процесса позиционирования рабочего органа сельскохозяйственной машины относительно токонесущего проводника

Заключение. Предложена имитационная модель ориентации рабочего органа относительно корневой системы плодовых растений, для которой разработаны алгоритм и программное обеспечение в системе AnyLogic, позволяющие исследовать процесс движения последнего к базовой метке, сочлененной с растением. Данная модель планируется к использованию в системе управления рабочим органом для выкопки и среза растений.

Список литературы

1. Завражнов А.А., Завражнов А.И., Манаенков К.А., Ланцев В.Ю. Машинные технологии для интенсивного садоводства // Информационный бюллетень Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. 2011 – № 8 – С. 33.

2. Решения для точного земледелия от «АГРИ 2.0» [Офиц. сайт]. URL: www.agri2.com

3. Гордеев А.С., Мишин Б.С. Система автоматического позиционирования рабочего органа для отделения отводков // Материалы научно-практической конференции в рамках 11-ой Всероссийской выставки «День садовода-2016», 7 сентября 2017 г.

4. Гордеев А.С. Моделирование в агроинженерии.: СПб.: Лань, 2014. 384с.

5. Мишин Б.С. Математическая модель // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – №4 –С.121-126.

References

1. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Manaenkov K.A., Lancev V.YU. Mashinnye tekhnologii dlya intensivnogo sadovodstva // Informacionnyj byulleten' Ministerstva sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii. 2011 – № 8 – S. 33.

2. Resheniya dlya tochnogo zemledeliya ot "AGRI 2.0" [Ofic. sajt]. URL: www.agri2.com
3. Gordeev A.S., Mishin B.S. Sistema avtomaticheskogo pozicionirovaniya rabochego organa dlya otdeleniya otvodkov // Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah 11-oj Vserossijskoj vystavki "Den' sadovoda-2016", 7 sentyabrya 2017 g.
4. Gordeev A.S. Modelirovanie v agroinzhenerii.: SPb.: Lan', 2014. 384s.
5. Mishin B.S. Matematicheskaya model' // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – №4 – С.121-126.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Гордеев Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: gorde2020@gmail.com.

Мишин Борис Сергеевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: boris.sergeewitch@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Gordeev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State University of Agriculture”, Russia, Michurinsk, e-mail: gorde2020@gmail.com;

Mishin Boris Sergeevich – Postgraduate Student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State University of Agriculture”, Russia, Michurinsk, e-mail: boris.sergeewitch@yandex.ru

Поступила в редакцию (Received): 08.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 12.08.2019

УДК 631.316.022
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-33-43

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА L-ОБРАЗНОГО НАРУЖУ ОТОГНУТОГО НОЖА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО КУЛЬТИВАТОРА

[1]Ожерельев Виктор Николаевич
[2]ОжерельеваМарина Викторовна
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Реферат. *Специфические особенности процесса изнашивания рабочих органов пропашных вертикальных фрез практически не исследованы. Авторы провели измерение основных параметров изношенного L-образного наружу отогнутого ножа и сопоставили их с соответствующими параметрами нового рабочего органа. Обработка результатов измерений осуществлялась в программах Excel и Компас 3D. Путем взвешивания рабочих органов установлено, что масса предельно изношенного ножа на 7% его исходной массы. Заметно изнашивается только подрезающее лезвие, а поперечное сечение стойки остается практически неизменным. Установлено, что интенсивность изнашивания подрезающего лезвия увеличивается по мере удаления от стойки ножа, а режущая кромка подрезающего лезвия принимает по мере износа форму экспоненты. Для степени износа его поперечных сечений по мере удаления от стойки характерна полиномиальная зависимость второго порядка. При измерениях выявлено, что на наружном конце режущей кромки возникает и развивается по мере износа лезвия нижняя площадка затупления. Для нее характерен отрицательный угол заточки и уменьшение ширины по мере приближения к стойке ножа. Вследствие этого процесс взаимодействия режущей кромки с почвой вырождается в ее смятие и вдавливание значительных объемов в нижний слой, с образованием аналога «плужной подошвы». Это существенно увеличивает энергоемкость*