Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 128–135.
Agrarian Scientific Journal. 2023;(1):128–135.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья
УДК 631.532.2+631.331.072.3
doi: 10.28983/asj.y2023i1pp128-135

Модель искусственной нейронной сети при повышении эффективности уборки картофеля качественной заделкой посадочного материала

Алексей Семенович Дорохов, Алексей Викторович Сибирёв, Александр Геннадьевич Аксенов, Максим Александрович Мосяков, Николай Викторович Сазонов
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия
e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аннотация. Технологический процесс работы уборочной машины независимо технологии уборки достигается в том числе и качественной подготовкой поля к уборке овощных культур и картофеля. Установлено, что исключение содержания почвенных и растительных примесей в убираемой продукции способствует повышению ее хранения, что невозможно обеспечить при наличии в ворохе свободной ботвы и сорняков до 2–4 %. При этом для исключения поступления почвенных примесей на устройства очистки уборочной машины необходимо обеспечить качественную работу подкапывающего рабочего органа корнеклубнеплодов с подземным плодоношением. Кроме того, на показатели качества работы корнеизвлекающих и сепарирующих устройств уборочной машины оказывает влияние работа бороздозакрывающих рабочих органов посадочной машины, так как несовершенный процесс заделки клубней в борозде почвой приводит к неравномерности созревания клубней, а также повышенному подъему почвенного слоя при уборке. Представлены результаты исследований по разработке функциональной схемы машины для посадки клубней картофеля в виде искусственной нейронной сети, зависимости по определению прогностических показателей качества работы машины для посадки картофеля, оптимальных технологических параметров дискового заделывающего органа для определения количества почвы, необходимого для качественной заделки клубней картофеля.

Ключевые слова: заделывающие органы; дисковый заделывающий орган; картофель; почва; уборка; многофакторный эксперимент.

Для цитирования: Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. Модель искусственной нейронной сети при повышении эффективности уборки картофеля качественной заделкой посадочного материала // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 128–135. http://10.28983/asj.y2023i1pp128-135.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Model of artificial neural network in increasing the efficiency of harvesting potatoes by quality embedding of the planting material

Aleksey S. Dorokhov, Aleksey V. Sibirev, Alexander G. Aksenov, Maxim A. Mosyakov, Nikolai V. Sazonov
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Abstract. The technological process of the harvester operation, regardless of the harvesting technology, is achieved, among other things, by the high-quality preparation of the field for harvesting vegetables and potatoes. It has been established that the exclusion of the content of soil and plant impurities in the harvested products contributes to an increase in its storage, which cannot be ensured if there are free tops and weeds in the heap up to 2–4 %. At the same time, in order to exclude the ingress of soil impurities to the cleaning devices of the harvesting machine, it is necessary to ensure the high-quality work of the digging working body of root and tuber crops with underground fruiting. In addition, due to the fact that the performance of the root-extracting and separating devices of the harvesting machine is affected by the work of the furrow-closing working bodies of the planting machine, since the imperfect process of planting tubers in the furrow with soil leads to uneven maturation of tubers, as well as an increased rise of the soil layer during cleaning. The results of studies on the development of a functional diagram of a machine for planting potato tubers in the form of an artificial neural network, dependencies for determining the predictive indicators of the quality of the machine for planting potatoes, optimal technological parameters of a disk incorporating body for determining the amount of soil required for high-quality incorporation of potato tubers are presented.

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

Keywords: closing organs; disk closing organ; potatoes; soil; harvesting; multifactorial experiment.

For citation: Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A., Sazonov N. V. Model of artificial neural network in increasing the efficiency of harvesting potatoes by quality embedding of the planting material // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(1):128–135. (In Russ.). http://10.28983/asj.y2023i1pp128-135.

Введение. Повышение эффективности производства картофеля обеспечивается при выполнении и соблюдении основных технологических процессов возделывания в соответствии с заданными показателями агротехнических требований. Известно, что в технологической цепочке производства картофеля последним этапом его возделывания в поле является уборка, от показателей качества выполнения которой зависит урожайность картофеля и себестоимость его производства [1–3].

Однако, не менее ответственной операцией, предшествующей уборке картофеля является посадка клубней, так как увеличение количества почвы над клубнем при посадке, а также их неравномерная заделка по глубине приводит неравномерности созревания растения картофеля, повышенному подъему почвенного слоя при уборке, что ухудшает качественные показатели работы уборочных машин [4–6].

Цель исследований – разработка модели искусственной нейронной сети при повышении эффективности уборки картофеля качественной заделкой посадочного материала.

Методика исследований. При посадке необходимо обеспечить не только равномерное распределение клубней вдоль рядка, но также и ориентированную подачу их в почву ростком вверх с последующим сохранением их первоначального положения при заделке почвой [7, 8].

При машинной посадке перевод клубней из произвольного положения в заданное, обеспечивается конструкцией высаживающего аппарата (В), а окончательное влияние на положение клубней в борозде оказывает заделывающий орган (ЗО) [9].

Анализ функциональной схемы машины для посадки картофеля (рис. 1) позволил установить значительное влияние бункеров (Б), высаживающих аппаратов (ВП) и семяпроводов (СС) на качество выполнения технологического процесса посадки клубней и луковиц.

Поэтому при исследованиях особое внимание уделяли процессу работы бороздораскрывающих (сошников) и бороздозакрывающих (заделывающих) рабочих органов посадочных машин,

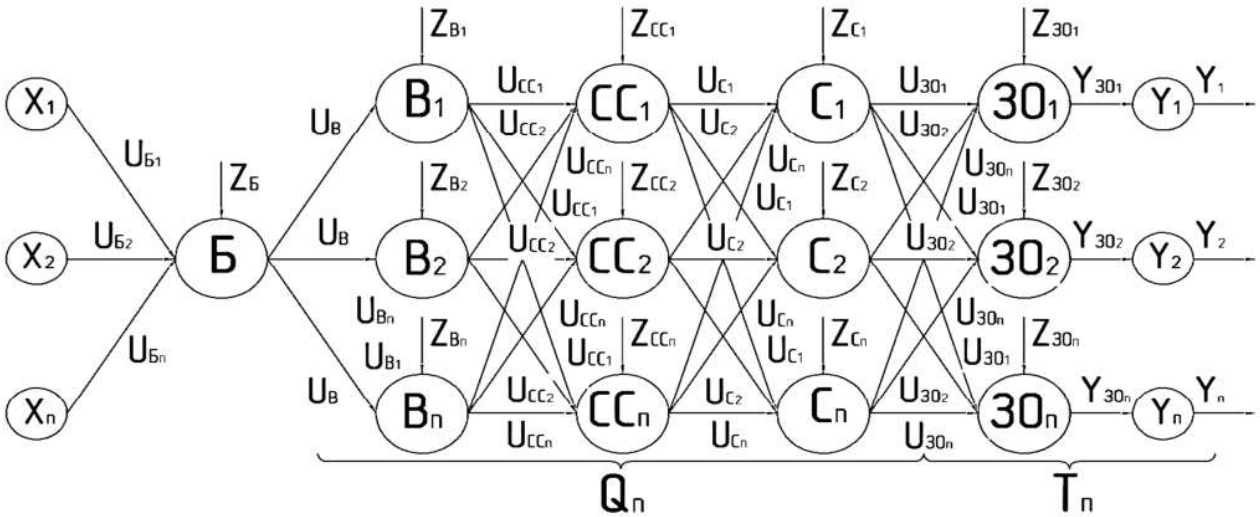

Рис. 1. Функциональная схема машины для посадки клубней картофеля: Б – бункер; В1, В2, Вп – разновидность исполнения высаживающего аппарата; СС1, СС2, ССп – разновидность исполнения семяпроводов; С1, С2, Сп – разновидность исполнения сошников (бороздораскрывающих рабочих органов); ЗО1, ЗО2, ЗОп – разновидность исполнения заделывающих органов (бороздозакрывающих рабочих органов); Х1, Х2, Хп – вход искусственного нейрона; UБ, UВ, UCC, UC и UЗО – функции управляющего воздействия бункера, высаживающего аппарата, семяпровода, сошника и заделывающих органов; ZБ, ZВ, ZCC, ZC,и ZЗО – функции состояния функционирующих элементов бункера, высаживающего аппарата, семяпровода, сошника и заделывающих органов; YБ, YВ, YCC, YC и YЗО – результирующие параметры бункера, высаживающего аппарата, семяпровода, сошника и заделывающих органов

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

являющиеся последним и основным фактором, влияющим на конечное положение клубней картофеля в борозде при их заделке почвой.

Следовательно, для обеспечения качественного технологического процесса посадки клубней необходимо изучить влияние как внешних, так и внутренних факторов, оказывающих влияние на процесс работы заделывающих органов.

При этом независимо от качественного выполнения технологической операции предшествующего перед заделывающими органами функционирующего элемента лукопосадочной машины неудовлетворительная работа бороздозакрывающих рабочих органов не обеспечит выполнение технологического процесса посадки луковиц в соответствии с агротехническими требованиями: глубина посадки сот 6 до15 см; глубина заделки от 2 до 4 см.

Применительно к методологии искусственных нейронных сетей установлено, что заделывающие органы машины для посадки картофеля являются ее выходным слоем, что подтверждает функциональная схема машины, представленная на рис. 1.

Результаты исследований. На технологический процесс посадки клубней картофеля оказывают влияние факторы внешней среды, которые являются входными векторами искусственной нейронной сети, к числу которых следует отнести: X_1 – размерно-массовая характеристика клубней; X_2 – физико-механические свойства почвы (влажность и твердость почвы); X_3 – коэффициент трения клубней по различным поверхностям; X_4 – прочность клубней.

Входные параметры, поступающие для преобразования в искусственную нейронную сеть, которая в нашем случае интерпретирует технологический процесс работы картофелепосадочной машины [10]:

$$\mathrm{X}^{(i)} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \end{bmatrix}. \tag{1}$$

Показатели весов связей, оказывающие влияние на качественные параметры рабочих органов посадочной машины, определяются матрицей-столбцом, составляющим членами которой являются внутренние регулируемые параметры (U) рабочих органов картофелепосадочной машины:

$$W^{(i)} = \begin{bmatrix} U_{(\text{Б}_1,\text{В}_1,\text{СС}_1,\text{С}_1)} \\ U_{(\text{Б}_2,\text{В}_2,\text{СС}_2,\text{С}_2)} \\ U_{(\text{Б}_n,\text{В}_n,\text{СС}_n,\text{С}_n)} \end{bmatrix}, \tag{2}$$

где $U_{(\text{Б}_n,\text{В}_n,\text{СС}_n,\text{С}_n)}$ – функции управляющего воздействия бункера, высаживающего аппарата, семяпровода, сошника и заделывающих органов; n – разновидность исполнения функционирующего элемента картофелепосадочной машины.

Функции состояния бункера, высаживающего аппарата, семяпровода, сошника и заделывающих органов представляют совокупность значений скрытого слоя искусственной нейронной сети (Z) функционирующих элементов картофелепосадочной машины в виде вектора-столбца $Q^{(i)}$:

$$Q^{(i)} = \begin{bmatrix} Z_{(\text{Б}_1,\text{В}_1,\text{СС}_1,\text{С}_1)} \\ Z_{(\text{Б}_2,\text{В}_2,\text{СС}_2,\text{С}_2)} \\ Z_{(\text{Б}_n,\text{В}_n,\text{СС}_n,\text{С}_n)} \end{bmatrix}, \tag{3}$$

где $Z_{(\text{Б}_n,\text{В}_n,\text{СС}_n,\text{С}_n)}$ – функции состояния бункера, высаживающего аппарата, семяпровода, сошника и заделывающих органов; n – разновидность исполнения функционирующего элемента картофеле-посадочной машины.

Математическое описание функционирования рабочих органов картофелепосадочной машины согласно теории искусственных нейронных сетей:

$$g_i = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_{ij}x_i + Q_n\right) = f\left(\sum_{i=1}^{n} W^{(i)}\mathrm{X}^{(i)} + Q^{(i)}\right), \tag{4}$$

где w_{ij} – вес связи i-го нейрона к j-му; x_i – входной сигнал; Q_n – массив порога скрытого слоя (функционирующих элементов картофелепосадочной машины).

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

Учитывая выражение (4) функционирование картофелепосадочной машины с учетом работы заделывающих элементов запишется в виде:

$$y_k = f\left(\sum_{j=1}^{h} W^{(j)} f\left(\sum_{i=1}^{n} W^{(i)} X^{(i)} + Q^{(i)}\right) + T^{j}\right). \quad (5)$$

При этом коэффициенты, определяющие показатели качества работы посадочной машины с учетом влияния заделывающих органов определяются:

$$W^{(i)} = \begin{bmatrix} U_{(,30_1)} \\ U_{(,30_2)} \\ U_{(,30_n)} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $U_{(30_n)}$ – функция управляющего воздействия заделывающего органа; n – разновидность исполнения заделывающего органа картофелепосадочной машины.

Изменение нерегулируемых показателей (Z) выходного слоя $T^{(i)}$ искусственной нейронной сети, интерпретирующих конструктивные параметры заделывающего органа машины для посадки картофеля определим:

$$T^{(j)} = \begin{bmatrix} Z_{(30_1)} \\ Z_{(30_2)} \\ Z_{(30_n)} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где $Z_{(30_n)}$ – функции состояния заделывающего органа; n – разновидность исполнения заделывающего органа картофелепосадочной машины.

Прогноз искусственной нейронной сети картофелепосадочной машины представлен в таблице.

Согласно выражениям (4), (5), (6) и (7) функционирование картофелепосадочной машины на основании теории искусственных нейронных сетей для скрытого слоя:

Функционирующий элемент машины для посадки картофеля	Результирующие параметры функционирующего элемента машины для посадки картофеля *(Y)*			
	Повреждение клубней, %	Клубни, ориентированные/высаженные/заделанные в борозде ростком вверх, %	Потери клубней, %	Равномерность распределения клубней, %
Бункер (Б)	$П_{Л(Б)} = \left(\frac{Л_2 - Л_1}{Л - Л_1}\right) \cdot 100\%$	–	–	–
Высаживающий аппарат (ВП)	$П_{Л(ВП)} = П_{Л(Б)} \left(\frac{Л_2 - Л_1}{Л - Л_1}\right) \cdot 100$	$К_{Л(ВП)} = \frac{N_{90\pm45}}{Л} \cdot 100$	$Р_{Л(ВП)} = \frac{У_1}{Л} \cdot 100$	$L_{Л(ВП)} = \frac{L_Н}{L_{УМ} + L_{УВ} + L_Н} \cdot 100$
Семяпровод (СС)	$П_{Л(СС)} = П_{Л(ВП)} \left(\frac{Л_2 - Л_1}{Л - Л_1}\right) \cdot 100$	$К_{Л(СС)} = К_{Л(ВП)} \frac{N_{90\pm45}}{Л} \cdot 100$	$Р_{Л(СС)} = Р_{Л(Б)} \frac{У_1}{Л} \cdot 100$	$L_{Л(СС)} = L_{Л(Б)} \frac{L_Н}{L_{УМ} + L_{УВ} + L_Н} \cdot 100$
Сошник (С)	$П_{Л(С)} = П_{Л(СС)} \left(\frac{Л_2 - Л_1}{Л - Л_1}\right) \cdot 100$	$К_{Л(С)} = К_{Л(СС)} \frac{N_{90\pm45}}{Л} \cdot 100$	$Р_{Л(С)} = Р_{Л(СС)} \frac{У_1}{Л} \cdot 100$	$L_{Л(С)} = L_{Л(СС)} \frac{L_Н}{L_{УМ} + L_{УВ} + L_Н} \cdot 100$
Заделывающий орган (ЗО)	$П_{Л(ЗО)} = П_{Л(С)} \left(\frac{Л_2 - Л_1}{Л - Л_1}\right) \cdot 100$	$К_{Л(ЗО)} = К_{Л(С)} \frac{N_{90\pm45}}{Л} \cdot 100$	$Р_{Л(ЗО)} = Р_{Л(С)} \frac{У_1}{Л} \cdot 100$	$L_{Л(ЗО)} = L_{Л(С)} \frac{L_Н}{L_{УМ} + L_{УВ} + L_Н} \cdot 100$

Примечание. $П_{Л(Б,ВП,СС,С,ЗО)}$ – повреждения клубней в бункере, высаживающем аппарате, семяпроводе, сошнике, заделывающем органе, %; Л – число высаженных клубней на учетной делянке, шт; $Л_1$ – число поврежденных клубней в посадочном материале, кг; $Л_2$ – число поврежденных клубней после прохода машины, шт.; $К_{Л(ВП,СС,С,ЗО)}$ – положение клубней в борозде после взаимодействия с высаживающим аппаратом, семяпроводом, сошником, заделывающим органом, %; $Р_{Л(Б)}$ – потери клубней после взаимодействия с высаживающим аппаратом, семяпроводом, сошником, заделывающим органом, %; $L_{Л(ВП)}$ – равномерность распределения клубней после взаимодействия с высаживающим аппаратом, семяпроводом, сошником, заделывающим органом, %; $N_{90\pm45}$ – число клубней ориентированных/посаженных/заделанных донцем вниз, %; $У_1$ – число потерянных клубней, шт.; $L_{(Н)}$ – нормальный интервал, см; $L_{(УМ)}$ – уменьшенный интервал, см; $L_{(УВ)}$ – увеличенный интервал, см

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

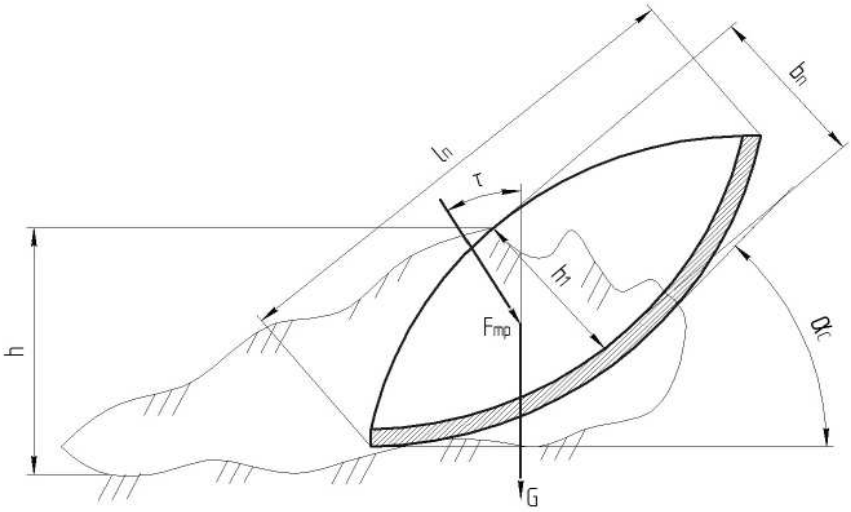

Рис. 2. Схема к определению длины заделывающего элемента машины для посадки картофеля

$$g_i = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_{ij}x_i + Q_n\right) = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}}\left(\sum_{i=1}^{n} W^{(i)}\mathrm{X}^{(i)} + Q^{(i)}\right), \quad (8)$$

где w_{ij} – вес связи i-го нейрона к j-му; x_i – входной сигнал; Q_n – массив порога скрытого слоя (функционирующих элементов машины для посадки картофеля).

Принимая во внимание выражение (8) аналитическое описание работы машины для посадки картофеля, учитывая выходной слой искусственной нейронной сети:

$$y_k = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}}\left(\sum_{j=1}^{h} W^{(j)} f\left(\sum_{i=1}^{n} W^{(i)}\mathrm{X}^{(i)} + Q^{(i)}\right) + T^{j}\right). \quad (9)$$

Прогнозируемые показатели качества работы функционирующих элементов картофелепосадочной машины, а именно заделывающих органов, представляющих выходной слой искусственно нейронной сети и оказывающих окончательное влияние на качество выполнения технологического процесса посадки определяются исходя из агротехнических рекомендаций на посадку клубней [11].

В связи с тем, что завершающим технологический процесс посадки клубней картофеля функционирующим элементом является заделывающий рабочий орган посадочной машины, от качества выполнения работы которой зависят технологические режимы работы уборочной машины

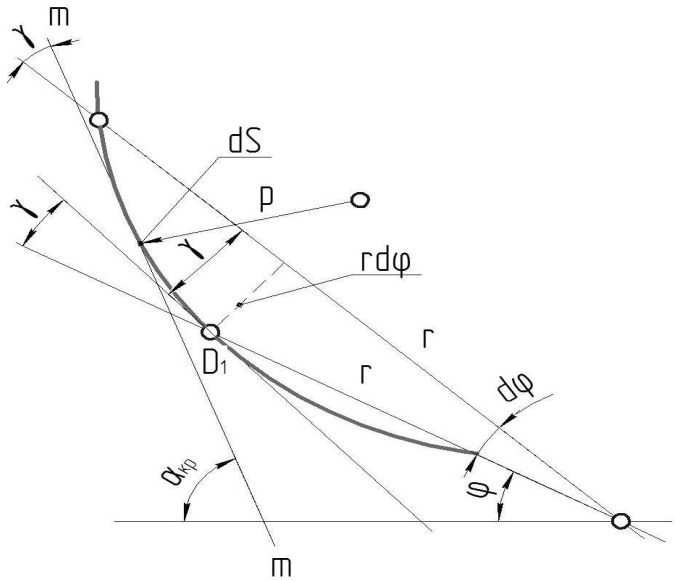

Рис. 3. Схема для определения угла α_C заделывающего органа

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
01
2023

(глубина подкапывания клубневого гнезда, угол установки подкапывающего лемеха, поступательная скорость движения машины и пруткового полотна) рассмотрим конструктивные параметры заделывающего элемента.

Определяющее значение длины $l_п$ рабочей поверхности устройства для заделки клубней картофеля заключается в том, что при варьировании в сторону увеличения длины заделывающего устройства, выполненного в форме лемеха скорость движения частиц почвы по рабочей поверхности уменьшается, что обеспечивает сгруживание почвы (рис. 2).

Транспортирование почвы по рабочей поверхности заделывающего устройства выполняется при соблюдении условия:

$$\alpha_C < (90 - \varphi_П), \tag{10}$$

где $\varphi_П$ – угол трения частицы почвы о поверхность заделывающего элемента, град.

Длину рабочей поверхности заделывающего элемента определим по известной формуле [77]:

$$l_п \leq \mathrm{ctg}(\alpha_C + \varphi_П)\left\{\frac{\sigma_в}{\rho_{об} \cdot g} - \frac{2v_м^2}{g} \cdot \sin\tau[\cos\tau \mathrm{tg}(\alpha_C + \varphi_П) - \sin\tau]\right\}, \tag{11}$$

где $\sigma_в$ – временное сопротивление почвы сжатию, МПа; $\rho_{об}$ – объемная насыпная плотность почвы, кг/м³; $v_м$ – скорость движения машины, м/с; τ – угол скалывания почвы, град.

$$\tau = \mathrm{arctg}\frac{K - \cos\alpha_C}{\sin\alpha_C}, \tag{12}$$

где K – коэффициент усадки пласта.

$$K = \frac{h_1}{h}, \tag{13}$$

где h_1 – толщина пласта почвы на заделывающем рабочем органе, м; h – глубина погружения заделывающего рабочего органа, м.

Допустимая длина заделывающего элемента тем меньше, чем меньше глубина заделки посадочного материала.

Кривая поверхности, демонстрирующая форму рабочей поверхности заделывающего элемента при определении ее радиуса кривизны:

$$\rho = \frac{[f^2(\varphi) + f'^2(\varphi)]^{3/2}}{[f^2(\varphi) + 2f'^2(\varphi) - f(\varphi)f''(\varphi)]}. \tag{14}$$

Уравнение, описывающее траекторию движения почвенных частиц по рабочей поверхности заделывающего элемента:

$$m\frac{\mathrm{dv}}{\mathrm{dt}} = P\cos\alpha_C - G\sin\alpha_C - f_C\left(G\cos\alpha_C + P\sin\alpha_C + \frac{mv^2}{\rho}\right). \tag{15}$$

Согласно рис. 3 имеем:

$$\alpha_C = \varphi + \gamma. \tag{16}$$

Так как

$$\sin\gamma = \frac{r\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{ds}}, \tag{17}$$

$$\cos\gamma = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}s}, \tag{18}$$

Имеем:

$$\sin\alpha_C = \sin(\varphi + \gamma) = \sin\varphi\cos\gamma + \cos\varphi\sin\gamma = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}s} \cdot \sin\varphi + \frac{r\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{ds}} \cdot \cos\varphi, \tag{19}$$

$$\cos\alpha_C = \cos(\varphi + \gamma) = \cos\varphi\cos\gamma + \sin\varphi\sin\gamma = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}s} \cdot \cos\varphi - \frac{r\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{ds}} \cdot \sin\varphi. \tag{20}$$

Уравнение (15) представим в виде:

$$m \cdot \frac{\mathrm{dv}}{\mathrm{dt}} = (P - f_C G) \cdot \cos\alpha_C - (G + f_C P) \cdot \sin\alpha_C. \tag{21}$$

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

Для решения уравнения (21) воспользуемся подстановкой:

$$A = (P - f_C G). \tag{22}$$

$$B = (G + f_C P). \tag{23}$$

С учетом выражений (22) и (23) выражение (21) примет вид

$$mv\mathrm{d}v = (A\cos\varphi - B\sin\varphi)\cdot \mathrm{d}r - (A\sin\varphi + B\cos\varphi)\cdot r\mathrm{d}\varphi. \tag{24}$$

Тогда

$$\frac{mv^2}{2} = \int (A\cos\varphi - B\sin\varphi)\cdot a\mathrm{d}\varphi \; - \int (A\sin\varphi + B\cos\varphi)\cdot a\varphi\mathrm{d}\varphi. \tag{25}$$

Результаты проведенных теоретических исследований свидетельствуют о том, что при обосновании формы поверхности заделывающего рабочего органа при посадке клубней картофеля определение скорости движения частиц почвы различных форм поверхностей исследуемых рабочих органов целесообразно выполнять по определенной аналитической зависимости выражения (25).

Заключение. Разработана функциональная схема машины для посадки клубней картофеля, представленная архитектурой нейронной сети и включающая в себя функции управляющего воздействия функционирующих элементов их состояния, а также результирующие показатели их работы.

Получено выражение, определяющее показатели качества работы посадочной машины, а также технологический процесс ее работы и функционирующих элементов в виде искусственной нейронной сети.

Представлены теоретические исследования по определению параметров заделывающих рабочих органов посадочной машины: длины и кривизны рабочей поверхности, а также скорости движения частиц почвы по рабочей поверхности заделывающего элемента.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам – СП-1004.2021.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // Горячкинские чтения: Сб. докладов 1-й Междунар. науч.-практ. конф. 2013. С. 6–13.

2. Башкирцев В.И., Алдошин Н.В. Обеспечение качества механизированных работ при эксплуатации сельскохозяйственной техники. М., 2017. 96 с.

3. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства. М., 2012. 284 с.

4. Пономарев А.Г., Колчин Н.Н., Зернов В.Н., Петухов С.Н. Селекции и семеноводству картофеля необходима механизация // Картофель и овощи. 2017. № 3. С. 22–24.

5. Зернов В.Н., Пономарев А.Г., Колчин Н.Н., Петухов С.Н. Развитие механизированной посадки картофеля в селекционных и семеноводческих питомниках // Картофель и овощи. 2017. № 12. С. 23–25.

6. Зернов В.Н., Колчин Н.Н., Петухов С.Н., Сибирев А.В., Еремченко В.И., Шогенова М.М. Технико-экономические изыскания технических средств, определяющих критические машинные технологии на разных этапах селекции и семеноводства картофеля //: Картофелеводство: материалы науч.-практ. конф. 2017. С. 98–106.

7. Azizi P., Dehkordi N.S., Farhadi R. Design, construction and evaluation of potato digger with rotary blade // Cercet. Agron. Mold. 2014. No. 47. P. 5–13, DOI:10.2478/cerce-2014-0022. URL: http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-02-2018-04.pdf/info.

8. El-Rahman Abd., Magda M. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets // Soil. Sci. and Agric. Eng. Mansoura Univ. 2014. No. 2. P. 213–226. Available online: https://www.researchgate.net/publication/339175331_Performance_Evaluation_of_Onion _Grader. DOI:10.29322/IJSRP.10.01.2020. p 9768(accessed on 01 June 2021).

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023

9. Akdemir B., Ulger P., Arin S. Mechanized panting and harvesting of onion // Agric. Mech. Asia. 1993. No. 24. P. 23–26.

10. Shanmugam C.J., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine // ARPN J. Eng. Appl. Sci. 2017. No. 12. P. 4489–4490. Available online: https://www.researchgate.net/publication/319313238_Indigenous_development_of_low_cost_harvesting_machine .htm. ISSN 1819-6608(accessed on 01 June 2021).

11. Pasaman B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger // Econtechmod. Int. Q. J. 2012. No. 1. P. 43–47. Available online: https://www.semanticscholar.org/paper/The-Determination-of-the-Parameters-of-a-Potato-Pasamanakharchuk/794ce17b18271036b572f10b309522bb1f8be335 /content. ISSN 2084–5715(accessed on 01 June 2021).

REFERENCES

1. Aldoshin N.V. Modeling the quality of performance of mechanized work. *Goryachkin readings*. 2013: 6–13. (In Russ.)

2. Bashkirtsev V.I., Aldoshin N.V. Ensuring the quality of mechanized work in the operation of agricultural machinery. Moscow, 2017. 96 p. (In Russ.)

3. Chernoivanov V.I., Ezhevsky A.A., Fedorenko V.F. World trends in machine and technological support of intelligent agriculture. Moscow, 2012. 284 p. (In Russ.)

4. Ponomarev A.G., Kolchin N.N., Zernov V.N., Petukhov S.N. Potato breeding and seed production needs mechanization. *Potatoes and vegetables.* 2017; 3: 22–24. (In Russ.)

5. Zernov V.N., Ponomarev A.G., Kolchin N.N., Petukhov S.N. Development of mechanized planting of potatoes in breeding and seed nurseries. *Potatoes and vegetables.* 2017; 12: 23–25. (In Russ.)

6. Zernov V.N., Kolchin N.N., Petukhov S.N., Sibirev A.V., Eremchenko V.I., Shogenova M.M. Feasibility studies of technical means that determine critical machine technologies at different stages of potato breeding and seed production. *Potato growing*. 2017: 98–106. (In Russ.)

7. Azizi P., Dehkordi N.S., Farhadi R. Design, construction and evaluation of potato digger with rotary blade. *Cercet. Agron. mold.* 2014; 47: 5–13, DOI:10.2478/cerce-2014-0022. URL: http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-02-2018-04.pdf/info.

8. El-Rahman Abd., Magda M. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets. *Soil. sci. and Agric. Eng. Mansoura Univ*. 2014; 2: 213-226. Available online: https://www.researchgate.net/publication/339175331_Performance_Evaluation_of_Onion_Grader. DOI:10.29322/IJSRP.10.01.2020. p 9768(accessed on 01 June 2021).

9. Akdemir B., Ulger P., Arin S. Mechanized panting and harvesting of onion. *Agric. Mech. Asia.* 1993; 24: 23–26.

10. Shanmugam C.J., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine. *ARPN J. Eng. Appl. sci.* 2017; 12: 4489-4490. Available online: https://www.researchgate.net/publication/319313238_Indigenous_development_of_low_cost_harvesting_machine.htm. ISSN 1819-6608(accessed on 01 June 2021).

11. Pasaman B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger. *Econtechmod. Int. Q. J.* 2012; 1: 43-47. Available online: https://www.semanticscholar.org/paper/The-Determination-of-the-Parameters-of-a-Potato-Pasamanakharchuk/794ce17b18271036b572f10b309522bb1f8be335 /content. ISSN 2084–5715(accessed on 01 June 2021).

Статья поступила в редакцию 11.07.2022; одобрена после рецензирования 15.08.2022; принята к публикации 25.08.2022.

The article was submitted 11.07.2022; approved after reviewing 15.08.2022; accepted for publi-cation 25.08.2022.

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2023