

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 631.532.2+631.331.072.3

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-4-9

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ПРУТКОВОГО ЭЛЕВАТОРА С РЕГУЛИРУЕМЫМ УГЛОМ НАКЛОНА ПОЛОТНА МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И ЛУКА

ДОРОХОВ АЛЕКСЕЙ СЕМЁНОВИЧ, член-кор. РАН, докт. техн.х наук, главный научный сотрудник
СИБИРЁВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
E-mail: sibirev2011@yandex.ru

АКСЁНОВ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
МОСЯКОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
E-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ); 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

Качественные показатели товарной продукции зависят от типа и технологических параметров сепарирующих рабочих органов. В статье представлены теоретические и экспериментальные исследования интенсификации процесса уборки корнеплодов и лука. Разработан алгоритм и программное обеспечение системы управления приводом рабочих органов машины для уборки корнеплодов и лука, представлена машина, оснащённая сепарирующим прутковым элеватором с регулируемым углом наклона полотна. Автоматическое регулирование угла наклона пруткового элеватора осуществляется с помощью электронно-управляемых электроцилиндров (линейных актуаторов), закреплённых на раме. В соответствии с разработанным алгоритмом представлены выражения, определяющие относительное изменение управляемого перемещения рабочего исполнительного механизма, базовый номинальный ресурс, величину нагрузки и коэффициент использования. Разработанная машина позволит повысить качество уборки корнеплодов и лука.

Ключевые слова: уборка, корнеплод, лук, уборочная машина, прутковый элеватор, коэффициент сепарации, конструктивно-технологическая схема, управление по возмущению.

Формат цитирования: Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксёнов А.Г., Мосяков М.А. Обоснование конструктивной схемы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна машины для уборки корнеплодов и лука // Агроинженерия. 2020. № 4(98). С. 4-9. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-4-9.

RATIONALE FOR THE DESIGN OF A BAR ELEVATOR WITH ADJUSTABLE TILTING ANGLE USED IN ROOT CROP AND ONION HARVESTERS

ALEKSEI S. DOROKHOV, DSc (Eng), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Research Engineer

ALEKSEI V. SIBIRIEV, PhD (Eng), Senior Research Engineer
E-mail: sibirev2011@yandex.ru

ALEKSANDR G. AKSENOV, PhD (Eng), Key Research Engineer

MAKSIM A. MOSYAKOV, PhD (Eng), Senior Researcher

E-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, 1st Institutskiy Proyezd Str., Bld. 5, Moscow, Russian Federation

The quality indicators of commercial products depend on the type and technological parameters of the separating working units. The paper presents theoretical and experimental studies aimed at the intensification of harvesting root crops and onions. The authors have developed an algorithm and software for the control system of the drive for working units of a machine for harvesting root crops and onions. They also present a design of a machine equipped with a separating bar elevator with an adjustable tilting angle. The tilting angle of the bar elevator is automatically adjusted by means of electronically controlled

electric cylinders (linear actuators) fixed to the frame. Based on the developed algorithm, expressions are presented to determine the relative change in the controlled movement of the working actuator, the nominal base resource, the load and the utilization factor. The developed machine will improve the harvesting quality of root crops and onions.

Key words: harvesting, root crop, onion, harvester, bar elevator, separation coefficient, structural and technological design scheme, disturbance control.

For citation: Dorokhov A.S., Sibiriev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Rationale for the design of a bar elevator with adjustable tilting angle used in root crop and onion harvesters // *Agricultural Engineering*, 2020; 4 (98): 4-9. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-4-9.

Введение. Неизменные режимно-технологические параметры уборочной машины не приемлемы для второй фазы уборки, поскольку приводят к повреждению товарной продукции. Данное обстоятельство обусловлено тем, что, с одной стороны, уменьшение заглубления лемеха в почву на этапе подбора корнеплодов и лука из валков приводит к снижению подъёма совместно с товарной продукцией соизмеримых с ними почвенных комков, что способствует повышению качества сепарации [1, 2].

С другой стороны, за счёт снижения поступления количества почвы на подкапывающие и сепарирующие органы, возникает повреждение корнеплодов в результате уменьшения почвенной прослойки между рабочей поверхностью элеватора и очищаемой продукцией, кроме того, прутковые элеваторы не всегда обеспечивают качественное отделение почвенных примесей [3, 4].

С целью повышения сепарации вороха корнеплодов и лука в конструкции прутковых элеваторов применяют различные типы пассивных или активных встряхивателей.

Кинематический режим колебания рабочей ветви пруткового элеватора принимается таким, что луковичи подбрасываются на полотно элеватора и падают на прутки за счёт вертикальной составляющей силы тяжести луковичи [5, 6]. Но соударение с прутками приводит к повреждению продукции.

Цель исследования – разработать машину для уборки корнеплодов и лука с алгоритмом и программным обеспечением системы управления приводом рабочих органов, обеспечивающую высокое качество уборки корнеплодов и лука.

Материал и методы. Проведён анализ конструкции сепарирующего устройства интенсифицирующего процесс очистки и снижающего до минимума воздействие вертикальной составляющей силы тяжести луковичи.

Сепарирующая способность пруткового элеватора зависит от угла наклона (α) и скорости движения элеватора ($V_{эл}$) (рис. 1).

Коэффициент сепарации при любом угле наклона возрастает с увеличением скорости движения пруткового элеватора до некоторого максимального значения, после которого она начинает уменьшаться [3, 4].

Оптимальная скорость движения пруткового элеватора $v_{эл} = 2 \dots 2,5$ м/с.

С целью исключения сгуживания вороха корнеплодов и лука на поверхности пруткового элеватора необходимо соблюдать условие [7, 8]:

$$v_{эл} = v_k \cdot A, \quad (1)$$

где v_k – поступательная скорость движения уборочной машины, м/с; A – коэффициент ($A = 1,3$).

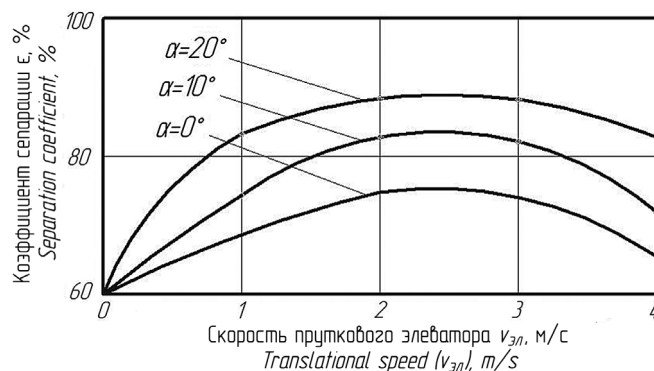


Рис. 1. Зависимость коэффициента сепарации пруткового элеватора (ϵ) от угла наклона пруткового элеватора (α) и поступательной скорости движения ($v_{эл}$)

Fig. 1. Relationship between the separation coefficient of the bar elevator (ϵ) and the inclination angle of the bar elevator (α) and translational speed ($v_{эл}$)

Таким образом, наиболее оптимальным решением является разработка технологии уборки, при которой исключается или значительно снижается поступление совместно с корнеплодами и луковичами почвенных комков. В случае повышенного поступления вороха корнеплодов и лука на сепарирующие рабочие органы необходимо регулирование режимно-технологических параметров функционирующих элементов уборочной машины в зависимости от изменяющихся почвенно-климатических условий уборки.

Повышение качества уборки корнеплодов и лука, с одной стороны, возможно при экстенсивном развитии и совершенствовании технических средств, приводящее к повышению их материалоемкости, за счёт механического наращивания массы сепарирующих устройств. С другой стороны, при повышении уровня интеллектуальности и быстродействия отзывчивости функционирующих элементов уборочной машины на изменяющиеся условия внешней среды и регулировании их технологических и режимных параметров [3].

Следовательно, для увеличения производительности с одновременным повышением качественных показателей уборки корнеплодов и лука необходимо создание системы функционирующих элементов уборочной машины с определением величины изменяющегося внешнего воздействия X почвенно-климатических условий с целью адаптации функций состояния Z и управляющего воздействия U (изменение режимных и технологических параметров рабочих органов машины для уборки корнеплодов и лука) к изменяющимся условиям внешней среды для обеспечения оптимального результирующего показателя (Y) работы машины для уборки корнеплодов и лука.

Известно, что под фактором, вызывающим отклонение управляемой величины (результатирующий показатель (Y) работы машины для уборки корнеплодов и лука, понимается какое-либо возмущающее воздействие (внешнее воздействие X почвенно-климатических условий), которому соответствует принцип управления по возмущению.

При управлении по возмущению ставится задача компенсации влияния возмущающего воздействия на управляемую величину.

Функциональная схема системы с принципом управления по возмущению (принцип Понселе-Чиколева) представлена на рисунке 2.

Возмущающее воздействие $F(t)$ через канал возмущения $KВ$ управляемого объекта $УО$ влияет на управляемую величину $\beta(t)$, вызывая ее отклонение $\theta_L(t)$ от требуемого значения.

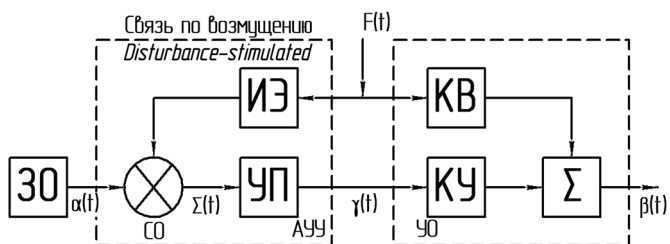


Рис. 2. Схема управления по возмущению:

- ЗО – задающий орган; ИЭ – измерительный элемент;
- СО – согласующее устройство;
- УП – усилитель-преобразователь;
- $F(t)$ – возмущающее воздействие;
- КВ – канал возмущения; КУ – канал управления;
- АУУ – автоматическое управляющее устройство;
- УО – управляемый объект; Σ – сумматор;
- $\alpha(t)$ – задающее воздействие;
- $\Sigma(t)$ – суммарное воздействие усилителя;
- $\gamma(t)$ – управляющее воздействие с выхода УП;
- $\beta(t)$ – управляемая величина

Fig. 2. Disturbance control scheme:

- ЗО – an adjustor; ИЭ – a measuring element;
- СО – a matching unit; УП – an amplifier-converter;
- $F(t)$ – disturbing effect; КВ – a disturbance channel;
- КУ – a control channel; АУУ – an automatic control unit;
- УО – a controlled object; Σ – adder; $\alpha(t)$ – setting action;
- $\Sigma(t)$ – adding effect of the amplifier;
- $\alpha(t)$ – total effect of the amplifier;
- $\gamma(t)$ – control action from the amplifier-converter output;
- $\beta(t)$ – a controlled value

Принцип управления по возмущению состоит в том, что для уменьшения или устранения отклонения $\theta_L(t)$ управляемой величины от требуемого значения, вызываемого возмущающим воздействием $F(t)$, измеряется это воздействие, и в результате его преобразования вырабатывается управляющее воздействие $\gamma(t)$, которое приложено к входу объекта $УО$, вызывает компенсирующее отклонение $\theta_L(t)$ управляемой величины противоположного знака по сравнению с отклонением $\theta_L(t)$.

Для полной компенсации влияния возмущающего воздействия отклонение $\theta_L(t)$ в каждый момент времени должно быть равно по знаку отклонения $\theta_L(t)$, вызываемому возмущающим воздействием $F(t)$.

Измерение и преобразование возмущающего воздействия $F(t)$ осуществляется с помощью измерительного элемента (ИЭ).

Измерительный элемент образует связь по возмущению. Выходное воздействие связи по возмущению (компенсирующее воздействие) в согласующем устройстве $СО$ складывается с задающим воздействием $\alpha(t)$, определяющим требуемое значение управляемой величины. Задающее воздействие вырабатывается в задающем органе $ЗО$. Суммарное воздействие $\Sigma(t)$ с помощью усилителя-преобразователя $УП$ усиливается по мощности до величины, необходимой для получения требуемого режима работы объекта.

В общем случае наряду с усилением $\Sigma(t)$ производится дополнительное его преобразование. Сформированное таким образом управляющее воздействие $\gamma(t)$ с выхода $УП$ поступает на вход объекта и через его канал управления $КУ$ компенсирует влияние возмущающего воздействия, вызывая противоположную реакцию объекта по сравнению с реакцией, вызываемой возмущающим воздействием через канал возмущения объекта. Связь по возмущению и усилитель-преобразователь образуют автоматическое управляющее устройство $АУУ$, которое измеряет и преобразует возмущающее воздействие $F(t)$ в соответствии с заложенным алгоритмом управления, вырабатывает управляющее воздействие $\gamma(t)$. Для системы автоматического управления с принципом управления по возмущению алгоритм управления имеет общий вид $\gamma(t) = f[F(t)]$, т.е. управляющее воздействие является функцией возмущающего воздействия.

В системе управления с принципом управления по возмущению имеется два канала влияния возмущающего воздействия $F(t)$ на управляемую величину $\gamma(t)$: канал возмущения объекта $КВ$, являющийся естественным каналом влияния возмущающего воздействия, и канал управления объекта $КУ$ – искусственно созданный компенсационный канал, образованный обратной связью по возмущению усилителем-преобразователем (рис. 2).

На основании функциональной схемы системы управления с принципом управления по возмущению разработана интеллектуальная технология уборки корнеплодов и лука с разработкой сепарирующего пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна [2].

Общий вид машины для интеллектуальной технологии уборки корнеплодов и лука представлен на рисунках 3 и 4.

Для регулировки угла наклона полотна пруткового элеватора 1 используются датчики веса 2 , закреплённые на подкапывающем лемехе 3 (рис. 4).

Линейный привод, представленный электроцилиндром 5 в зависимости от показаний датчиков веса 2 , получая сигнал от микроконтроллера 4 , перемещает шток линейного привода на требуемое расстояние S_1 или S_2 , изменяя угол α_1 наклона полотна пруткового элеватора 1 .

При прохождении вороха корнеплодов по поверхности пруткового элеватора 1 , происходит просеивание почвы через щелевые отверстия, образованные смежными прутками полотна.

Регистрация просеянной почвы осуществляется посредством инерционных датчиков 6 , установленных по длине пруткового элеватора 1 .

При оценке эффективности сепарации инерционным датчиком 6 частота колебаний будет характеризоваться и скоростью движения пруткового элеватора 1 (сменой просветов и прутков над датчиком). Однако количество

просеявшейся почвы будет характеризоваться пиковыми амплитудными значениями. Поэтому оценка эффективности сепарации элеватора проводится по амплитудным значениям. Если просеивание почвы на прутковом элеваторе

осуществляется ниже требуемого значения, установленного микроконтроллером 4, происходит корректировка угла α_1 наклона полотна пруткового элеватора 1 в установленном интервале значений.



Рис. 3. Общий вид машины для уборки корнеплодов и лука, оснащённой сепарирующим прутковым элеватором с регулируемым углом наклона полотна:
 1 – рама; 2 – лемех подкапывающий; 3 – колеса опорные; 4 – основной сепарирующий прутковый элеватор; 5 – дополнительный прутковый элеватор; 6 – каток-ложеобразователь; 7 – плита регулировочная встряхивателя; 8 – лоток сужающий; 9 – электроцилиндры; 10 – датчик веса лемеха подкапывающего; 11 – микроконтроллер

Fig. 3. General view of the machine for harvesting root crops and onions equipped with a separating bar elevator with an adjustable blade angle:

- 1 – a frame; 2 – a digging coulter; 3 – supporting wheels; 4 – a main separating bar elevator; 5 – an additional bar elevator; 6 – a bed-forming roller; 7 – a plate adjusting shaker; 8 – a narrowing tray; 9 – electric cylinders; 10 – a weight sensor of the digging coulter; 11 – a microcontroller

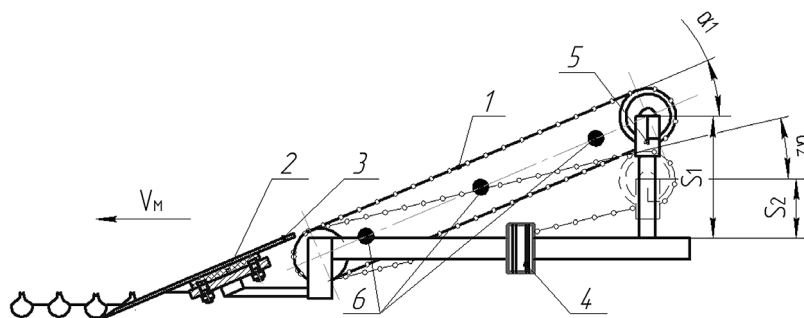


Рис. 4. Схема изменения угла наклона полотна пруткового элеватора:
 1 – элеватор прутковый; 2 – датчик веса подкапывающего лемеха; 3 – лемех подкапывающий; 4 – микроконтроллер; 5 – электроцилиндр; 6 – датчик инерционный

Fig. 4. Scheme for changing the inclination angle of the bar elevator:
 1 – a bar elevator; 2 – a weight sensor digging share; 3 – a digging coulter; 4 – a microcontroller; 5 – an electric cylinder; 6 – an inertial sensor

Определив массу вороха корнеплодов и лука на подкапывающем лемехе, контроллер с задержкой времени T , с движением пруткового элеватора, передаёт управляющий сигнал на перемещение штока актуаторов. Задание и контроль регулируемого угла α_1 наклона пруткового элеватора осуществляется автоматически посредством бортового компьютера.

Относительное изменение $\left(\frac{\Delta y}{y}\right)$ управляемого перемещения рабочего исполнительного механизма, регулирующего угол α наклона пруткового элеватора,

производится в соответствии с разработанным алгоритмом:

$$\frac{\Delta y}{y} = \delta Q_{\text{Вн}} + K_m \frac{1}{f_m}, \quad (2)$$

где δ – погрешность датчика веса, %; $Q_{\text{Вн}}$ – подача вороха корнеплодов и лука на подкапывающий лемех, кг/с; K_m – коэффициент преобразования значения тензодатчика веса в частоту электрического сигнала; f_m – частота электрического сигнала на выходе из тензодатчика, Гц.

$$Q_{\text{вн}} = \frac{m \cdot v_{\text{л}}}{L_{\text{л}}}, \quad (3)$$

где m – масса вороха корнеплодов и лука, кг; $v_{\text{л}}$ – поступательная скорость движения уборочной машины, м/с; $L_{\text{л}}$ – длина подкапывающего лемеха, м.

Известно, что для автоматизированного выполнения технологической операции регулирования угла наклона пруткового элеватора наиболее подходящим является использование электронно-управляемых электроцилиндров (линейных актуаторов), закреплённых на раме.

На эксплуатационные показатели линейного актуатора влияет усилие втягивания и толкания, статическая и динамическая грузоподъёмность, скорость, длина хода, продолжительность включения и ресурс.

Мощность привода определяется создаваемым усилием (полезной нагрузкой) и скоростью перемещения выходного звена (штоком актуатора), зависящей от прилагаемой нагрузки и типа используемого двигателя. При этом величина силы тока зависит от мощности привода.

Линейные актуаторы рассчитаны на прерывистую работу. Максимальный период времени работы привода без остановки определяется продолжительностью включения и коэффициентом использования. Коэффициент использования $K_{\text{исп}}$ определяется как количество времени работы под нагрузкой против общей продолжительности включения:

$$K_{\text{исп}} = \frac{T_N}{(T_N + T_O)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где T_N – время работы под нагрузкой, с; T_O – период остановки, с; $(T_N + T_O)$ – общая продолжительность рабочего цикла, с.

Если коэффициент использования превышен, то линейный актуатор может перегреться и выйти из строя.

Допустимая для актуаторов постоянного тока нагрузка при конкретном коэффициенте использования выражается в процентах от максимальной динамической

грузоподъёмности. Если актуатор поддержания заданного расстояния между индукторами и растениями работает по циклу: 5 секунд работы – 5 секунд пауза – 5 секунд работы – 5 секунд пауза и т.д., то коэффициент использования для этого рабочего цикла составит:

$$K_{\text{исп}} = \frac{5+5}{(5+10)+(5+10)} \cdot 100\% = 33,3\%.$$

Ресурс работы актуатора зависит от нагрузки, длины хода и частоты срабатывания предохранительной муфты.

Для расчета базового номинального ресурса $L_{\text{н}}$ актуатора достаточно знать динамическую нагрузку и фактический ход штока:

$$L_{\text{н}} = \frac{500000 \cdot p}{S} \cdot \left(\frac{C^3}{F} \right), \quad (5)$$

где p – шаг винта, мм; C – базовая динамическая грузоподъёмность, Н; S – ход штока электроцилиндра, мм; F – средняя кубическая нагрузка, мм.

В большинстве случаев величина нагрузки на актуатор непостоянная. Для подсчёта эквивалентной нагрузки необходимо определить среднюю постоянно действующую нагрузку F :

$$F = \sqrt[3]{\frac{F_1^3 \cdot S_1 + F_2^3 \cdot S_2 + F_3^3 \cdot S_3 + F_n^3 \cdot S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + S_n}}, \quad (6)$$

где F_1, F_2, F_3 – кубическая нагрузка, Н; S_1, S_2, S_3 – ход штока электроцилиндра, м.

Выводы

С помощью разработанной машины, оснащённой сепарирующим прутковым элеватором с регулируемым углом наклона полотна, и разработанного программного обеспечения для системы управления приводом рабочих органов машины можно повысить качество уборки корнеплодов и лука.

This research was carried out with the State support of young Russian PhD researchers – МК – 206.2020.8.

Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских учёных – кандидатов наук МК – 206.2020.8.

Библиографический список

1. Sibiriev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heapson Rod Elevator apparatus // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. № 23. P. 10086-10091.
2. Сибирёв А.В., Аксёнов А.Г., Мосяков М.А. Результаты экспериментальных исследований сепарации вороха лука-севка на прутковом элеваторе с асимметрично установленными встряхивателями // *Инженерные технологии и системы*. 2019. Т. 29. № 1. С. 91-108. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201901.091-107.
3. Хвостов В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчёт) // В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. М., 1995. 391 с.
4. Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука: Монография / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.

References

1. Sibiriev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heapson Rod Elevator apparatus. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018; 23: 10086-10091. (In English)
2. Sibiriev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy po separatsii vorokha luka-sevka na prutkovom elevator s asimmetrichno ustanovlennym vstryakhivatelyam [Results of experimental studies on onion separation on a bar elevator with asymmetric shakers]. *Inzhenerniye tekhnologii i sistemy*, 2019; 29(1): 91-108. (In Rus.) DOI: 10.15507/2658-4123.029.201901.091-107.
3. Khvostov V.A., Reingart E.S. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka (teoriya, konstruktsiya, raschet) [Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, analysis)]. Moscow, 1995: 391. (In Rus.)
4. Lobachevskiy Ya.P., Yemel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibiriev A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka:

5. Сорокин А.А. Теория и расчёт картофелеуборочных машин: Монография. М.: ВИМ. 2006. 159 с.
6. Алдошин Н.В. Инженерно-техническое обеспечение качества механизированных работ: Монография / Н.В. Алдошин, О.Н. Дидманидзе. М.: РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 188 с.
7. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // В сб.: Горячкинские чтения / Сборник докладов 1-й Международной научно-практической конференции, 2013. С. 6-13.
8. Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука: Монография / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.

Критерии авторства

Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксёнов А.Г., Мосяков М.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксёнов А.Г., Мосяков М.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 02.09.2019

Опубликована 31.08.2020

Monografiya [Machine technology for onion production: Monograph]. Moscow, FGBNU FNATS VIM, 2016: 168. (In Rus.)

5. Sorokin A.A. Teoriya i raschet kartofeleuborochnykh mashin (monografiya) [Theory and design analysis of potato harvesters (monograph)]. Moscow, VIM, 2006: 159. (In Rus.)

6. Aldoshin N.V., Didmanidze O.N. Inzhenerno-tekhnicheskoye obespecheniye kachestva mekhanizirovannykh rabot: Monografiya [Engineering and technical quality assurance of mechanized operations: Monograph]. Moscow, RGAU MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2015: 188. (In Rus.)

7. Aldoshin N.V. Modelirovaniye kachestva vypolneniya mekhanizirovannykh rabot [Modeling the performance quality of mechanized operations]. In: *Goryachkinskiye chteniya Sbornik dokladov 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2013: 6-13. (In Rus.)

8. Lobachevskiy Ya.P., Yemel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibiriev A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka: Monografiya [Machine technology for onion production: Monograph]. Moscow, FGBNU FNATS VIM, 2016: 168. (In Rus.)

Contribution

A.S. Dorokhov, A.V. Sibiriev, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.S. Dorokhov, A.V. Sibiriev, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on September 2, 2019

Published 31.08.2020