ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Научная статья

УДК 633.4:631.34

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-329-342

Исследование основных закономерностей резания ботвы корнеплодов

Андрей Юрьевич Несмиян¹, Андрей Андреевич Ашитко¹,
Руслан Юрьевич Колесник¹, Владимир Андреевич Максименко²

¹Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Зерноград, Российская Федерация

²Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Андрей Юрьевич Несмиян,
nesmian.andrei@yandex.ru

Аннотация. **Цель:** изучение основных закономерностей резания некоторых растительных материалов, знание которых позволит обосновать рациональные параметры малой установки для механизации удаления ботвы корнеплодов. **Материалы и методы.** Исследование проводилось экспериментально на компьютеризированной динамометрической установке, по некомпозиционному плану второго порядка, с использованием двух наиболее распространенных при возделывании в подсобных хозяйствах видов корнеплодов: столовой моркови и редиса. В качестве параметра оптимизации принималось значение удельного сопротивления резанию ботвы. **Результаты.** Исследование показало, что такие факторы, как угол ориентации кромки ножа к направлению резания, толщина режущей кромки и скорость ножа в момент начала резания, значимы и существенно влияют на энергоемкость процесса удаления ботвы. Наиболее значимым параметром является толщина лезвия ножа, степень влияния которой в 2,2–18,2 раза больше степени влияния двух остальных факторов. В среднем уменьшение толщины лезвия ножа с 0,5 до 0,1 мм ведет к снижению величины удельного усилия резания ботвы в 3–5 раз, что подтверждает перспективность использования в конструкции ботвоудаляющей машины ультратонких сменных лезвий вместо долговечного широкогранного ножа. Также было установлено, что при скорости движения ножа около 0,2 м/с и его затупленном лезвии ($b \approx 0,5$ мм) ботва не перерезается, а сминается или (в отдельных случаях) отклоняется ножом. **Выводы.** В целом исследование позволяет рекомендовать следующие рациональные параметры и режимы работы малой установки для механизации удаления ботвы корнеплодов: угол ориентации режущей кромки ножа к направлению резания – от 30 до 45°; толщина его режущей кромки – около 0,1 мм; скорость резания – около 0,33 м/с.

Ключевые слова: овощеводство, корнеплоды, удаление ботвы, малая механизация, факторный эксперимент, удельное усилие резания, угол установки лезвия, толщина режущей кромки, скорость резания

TECHNOLOGY AND MECHANIZATION OF AGRICULTURE

Original article

Investigation of the basic laws of cutting root crop tops

Andrey Yu. Nesmian¹, Andrey A. Ashitko¹, Ruslan Yu. Kolesnik¹,
Vladimir A. Maksimenko²

¹Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Zernograd, Russian Federation

²Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russian Federation

Corresponding author: Andrey Yu. Nesmiyan, nesmiyan.andrei@yandex.ru

Abstract. Purpose: to study the basic laws of cutting some plant materials, the knowledge of which will justify the rational parameters of a small unit for mechanization of removing the root crop tops. **Materials and methods.** The study was carried out experimentally on a computerized dynamometric unit, according to a non-compositional plan of the second order, using two most common types of root crops in cultivation in small holdings: table carrots and radishes. The value of the specific resistance of cutting tops was taken as an optimization parameter. **Results.** The study has shown that such factors as the blade incidence angle to the cutting direction, the blade width and the blade speed at the beginning of cutting are crucial and significantly affect the energy consumption of the top removal process. The most significant parameter is the blade width, the degree of influence of which is 2.2–18.2 times greater than the degree of influence of the other two factors. On average, a decrease in the blade width from 0.5 to 0.1 mm leads to a 3–5-fold decrease in the specific cutting force of the top, which confirms the prospects of using ultra-thin replaceable blades instead of a durable wide-faceted blade in the design of the plant-top removing machines. It was also found that at a blade speed of about 0.2 m/s and its blunted blade ($b \approx 0.5$ mm), the tops are not cut, but crumpled or (in some cases) deflected by the knife. **Conclusions.** In general, the study allows to recommend the following rational parameters and operating modes of a small unit for mechanizing the root crops tops removal: the blade incidence angle to the cutting direction is from 30 to 45°; the blade width is about 0.1 mm; cutting speed is about 0.33 m/s.

Keywords: vegetable growing, root crops, top removal, small-scale mechanization, factorial experiment, specific cutting force, blade incidence angle, blade width, cutting speed

Введение. Овощные культуры занимают особое место в структуре сельскохозяйственной продукции, это связано не столько с высокой рентабельностью их производства, сколько с тем фактом, что это значимая часть здорового рациона людей, существенно определяющая его качество. Тем не менее объемы производства овощей в нашей стране пока не достигли уровня, необходимого для удовлетворения потребностей хотя бы внутреннего рынка. Так, по данным Росстата, в нашей стране уровень потребления овощей населением удовлетворен всего на 62–70 % от норматива, предусмотренного Федеральным исследовательским центром питания, биотехнологии и безопасности пищи, что говорит о необходимости увеличения площадей посевов овощей [1–7].

В структуре овощеводческой продукции значимую роль играют корнеплоды, такие как морковь, редис, хрен, сельдерей, пастернак, свекла, редька и другие культуры, мясистые корни которых богаты не только уг-

леводами и клетчаткой, но и аминокислотами, пектином, комплексом витаминов, омега-3-ненасыщенными жирными кислотами, минеральными солями и другими элементами, жизненно необходимыми людям. От других овощных культур корнеплоды выгодно отличаются относительно невысоким уровнем затрат на реализацию технологий, высокими показателями транспортабельности и сохранностью питательных веществ в зимне-весенний период [8–10].

Специфичность технологий возделывания овощных культур привела к тому, что в Российской Федерации более половины всей овощной продукции, в т. ч. и корнеплодов, производится в хозяйствах населения. Например, в среднем за 1998–2018 гг. доля площадей, занятых под посевами столовой моркови (одна из наиболее популярных овощных культур), приходящихся на сельскохозяйственные предприятия и КФХ, составила всего около 36 %, все остальное ее производство было сосредоточено в хозяйствах населения [7].

Практически все операции в таких хозяйствах выполняются вручную, чем обусловлены как значительные затраты труда, так и ограничение объема производимой продукции. Это говорит о необходимости разработки простых и максимально дешевых в изготовлении технических средств, позволяющих механизировать хотя бы основные этапы возделывания овощных культур, в т. ч. корнеплодов, в хозяйствах населения [10–17].

Целью представленного исследования является изучение основных закономерностей резания некоторых растительных материалов, знание которых позволит обосновать рациональные параметры малой установки для механизации удаления ботвы корнеплодов.

Материалы и методы. Исследование закономерностей резания ботвы корнеплодов проводилось экспериментально с использованием компьютеризированной динамометрической установки рычажного типа (далее ДУРТ), включающей две основные части: рычажно-режущее приспособ-

ление (рисунок 1) и комплект контрольно-измерительного оборудования (рисунок 2).

1 – плита; 2 – опора; 3 – упор-ограничитель; 4 – держатель корнеплодов;
5 – узел подшипниковый; 6 – рычаг; 7 – фиксатор; 8 – держатель ножа;
9 – упругое звено; 10 – нож

Рисунок 1 – Рычажно-режущее приспособление

1 – рычажно-режущее приспособление; 2 – плоский тензометрический датчик;
3 – источник электроэнергии; 4 – фильтр помех; 5 – плата сопряжения;
6 – усилитель сигнала; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – ЭВМ

Рисунок 2 – Комплект контрольно-измерительного оборудования

Рычажно-режущее приспособление включает плиту 1, на которой установлены вертикальная опора 2, упор – ограничитель хода рычага 3 и держатель корнеплодов 4. В верхней части вертикальной опоры 2 размещен подшипниковый узел 5, связывающий опору 2 с высокоинерционным рычагом 6, на периферийном конце которого располагаются фиксатор 7 и

держатель ножа 8. При этом образующие поверхности держателя ножа 8 концентричны дуговым поверхностям фиксатора 7, благодаря чему достигается возможность углового перемещения держателя ножа 8 относительно фиксатора 7 с последующей его фиксацией. В держателе 8 консольно, через упругое звено 9 установлен нож 10.

С элементами рычажно-режущего приспособления связаны элементы комплекта контрольно-измерительного оборудования (рисунок 2), включающего тензометрический датчик 2, закрепленный на упругом звене (позиция 9 на рисунке 1), систему преобразования сигнала (фильтр помех, плату сопряжения, усилитель сигнала, аналого-цифровой преобразователь) и ЭВМ с установленным программным обеспечением ADCLabSE [18].

Эксперименты проводились с использованием двух наиболее распространенных при возделывании в подсобных хозяйствах видов корнеплодов: столовой моркови (сорт Каротель) и редиса (сорт Селеста). ДУРТ при этом функционировала следующим образом (рисунок 1): рычаг 6 проворачивали на шарнире 3, располагая его под необходимым углом к горизонтали (предварительно на вертикальной стойке была нанесена соответствующая разметка) и фиксируя в таком положении. Корнеплод располагали в держателе корнеплодов 4 таким образом, чтобы визуальную условную плоскость «присоединения» стеблей ботвы к головке корнеплода совпадала с вертикальной плоскостью перемещения ножа 10. После удаления фиксатора рычаг 4 с ножом 10 под действием силы тяжести двигался вниз. При перерезании ботвы примерно центральной частью ножа 10 за счет сопротивления ботвы резанию упругое звено 9 изгибалось, что приводило к выработке тензометрическим датчиком 2 (рисунок 2) электрического сигнала, величина которого была пропорциональна величине деформации упругого звена. Контрольно-измерительное оборудование (позиции 4–6 на рисунке 2) обеспечивало преобразование вырабатываемого аналогового импульса в цифровой (дискретный) вид, после чего он ре-

гистрировался ЭВМ. При этом программа ADCLabSE [18] позволяла проводить фиксацию изменения сигнала в графическом виде (рисунок 3).

Рисунок 3 – Элемент рабочего окна программы ADCLabSE при определении силы резания ботвы корнеплодов

На представленном графике (рисунок 3) на оси абсцисс расположена шкала времени в миллисекундах, на оси ординат – шкала значений, полученных от тензодатчика значений импульсов, в микровольтах. Пересчет значений шкалы ординат в ньютоны проводился перед каждым опытом путем тарирования тензодатчика с использованием эталонного груза.

На самом графике отображались три характерных участка (рисунок 3): участок А – период резания ботвы ножом, участок В – период перемещений ножа под действием сил инерции и упругости соединительного звена после перерезания ботвы, участок С – период затухающих колебаний ножа после удара рычага 6 об упор-ограничитель 3 (рисунок 1). Наибольший интерес для анализа представлял участок А, его длительность характеризует время резания ботвы, а максимальная ордината – максимальное усилие, необходимое для перерезания ботвы корнеплодов.

Перед каждым опытом определялось среднее значение диаметра пучка ботвы в предполагаемом месте резания как среднее геометрическое

замеров этого параметра в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметры определялись электронным штангенциркулем с точностью измерений до 0,01 мм. Полученные данные позволили установить удельные значения сил, необходимых для перерезания ботвы в месте ее примыкания к головке корнеплода. Этот показатель, как наиболее обобщенный и универсальный, был выбран в качестве критерия оптимизации при проведении экспериментов.

Исследование выполнялось по некомпозиционному плану второго порядка для трех переменных факторов [19], каждый из которых варьировался на трех уровнях (включая «нулевой»). Ряд предварительных поисковых экспериментов и анализ приведенных в открытой печати данных позволили провести обоснованный выбор переменных факторов и уровней их варьирования (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни варьирования значений переменных факторов

Фактор	Натуральное обозначение	Кодированное обозначение	Уровень		
			нижний –1	основной (нулевой) 0	верхний +1
Угол установки ножа к его «нулевому» (радиальному) положению, °	α	x_1	0	30	60
Толщина режущей кромки ножа, мм	b	x_2	0,1	0,3	0,5
Скорость движения ножа относительно ботвы, м/с	V	x_3	0,2	0,33	0,46

При этом на основе предварительных экспериментов была установлена зависимость, отображающая влияние угла β подъема рычага (рисунок 1) на скорость движения ножа в момент начала резания ботвы.

Результаты и обсуждение. Полученные результаты многофакторных экспериментов позволили вывести уравнения регрессии для определения удельных усилий резания (Н/мм^2) для редиса y_p и моркови y_m . При этом значимость входящих в них коэффициентов, их адекватность и однородность устанавливались по типовым методикам [19].

$$y_p = 0,337 - 0,045x_1 + 0,223x_2 + 0,05x_3 + 0,043x_1x_2 + 0,023x_2x_3 - 0,021x_1^2 + 0,041x_2^2 - 0,034x_3^2,$$

$$y_M = 0,272 - 0,093x_1 + 0,207x_2 + 0,011x_3 + 0,011x_2x_3 - 0,021x_1^2 + 0,015x_2^2 + 0,011x_3^2.$$

Двумерные сечения полученных поверхностей отклика представлены в натуральном виде на рисунках 4–6.

a – для редиса; *б* – для моркови

Рисунок 4 – Удельное усилие резания (Н/мм²) ботвы корнеплодов при скорости резания $V = 0,33$ м/с (при $x_3 = 0$)

a – для редиса; *б* – для моркови

Рисунок 5 – Удельное усилие резания (Н/мм²) ботвы корнеплодов при ориентации режущей кромки ножа под углом $\alpha = 30^\circ$ к его «нулевому» положению (при $x_1 = 0$)

a – для редиса; *б* – для моркови

Рисунок 6 – Удельное усилие резания (Н/мм^2) ботвы корнеплодов при толщине режущей кромки ножа $b = 0,3$ мм (при $x_2 = 0$)

Анализ полученных результатов позволил сделать ряд локальных выводов о характере влияния исследуемых факторов на удельное усилие резания ботвы корнеплодов, справедливых в рассматриваемых диапазонах их изменения.

1 Качественно закономерности влияния рассматриваемых факторов на величину удельного усилия резания ботвы редиса и моркови идентичны (хотя количественно несколько отличаются), что позволяет говорить об их обобщающем характере. При этом для обоих рассматриваемых видов корнеплодов параметр оптимизации варьировался в примерно близких по значению диапазонах: от 0,1 до 0,6 Н/мм^2 для редиса и от 0,1 до 0,5 Н/мм^2 для моркови.

2 Как для редиса, так и для моркови все три анализируемых фактора (угол ориентации кромки ножа, толщина режущей кромки и скорость ножа в момент начала резания) значимы.

3 Наиболее значимым фактором является толщина режущей кромки ножа. Степень влияния этого фактора в 2,2–18,2 раза превосходит по значимости влияние остальных факторов. В среднем уменьшение толщины

режущей кромки ножа с 0,5 до 0,1 мм позволило снизить величину удельного усилия резания ботвы в 3–5 раз, что позволяет предположить перспективность использования в конструкции ботвоудаляющей машины ультратонких сменных лезвий вместо более долговечного широкогранного ножа.

4 При увеличении угла ориентации режущей кромки ножа к его радиальному («нулевому») положению удельное усилие резания ботвы сокращается, причем чем острее режущая кромка ножа, тем заметнее влияние этого фактора. Так, на примере редиса видно, что при толщине лезвия ножа 0,5 мм угол его ориентации практически перестает влиять на усилие резания ботвы, это подтверждает рациональность применения ультратонких лезвий.

5 При возрастании рабочей скорости ножа удельное сопротивление резанию ботвы увеличивается, поэтому с целью снижения энергозатрат рационально проводить ее удаление при незначительных скоростях сближения ножа и корнеплода. Однако и при удалении ботвы редиса, и при удалении ботвы моркови было установлено, что при скорости движения ножа около 0,2 м/с и его затупленном лезвии ($b \approx 0,5$ мм) ботва не перерезается, а сминается или (в отдельных случаях) отклоняется ножом. Полученные результаты позволяют рекомендовать рабочую скорость резания $V \approx 0,33$ м/с.

Выводы. Представленное исследование направлено на выявление основных закономерностей резания ботвы корнеплодов, знание которых позволит обосновать рациональные параметры малой установки для механизации данного процесса. Факторные эксперименты, проведенные при удалении ботвы редиса и моркови, показали, что такие параметры и режимы данного процесса, как угол ориентации кромки ножа к направлению резания, толщина режущей кромки и скорость ножа в момент начала резания, значимы и существенно влияют на энергоемкость процесса удаления ботвы. Наиболее значимым параметром является толщина лезвия ножа, степень влияния которой в 2,2–18,2 раза больше степени влияния двух остальных факторов. В среднем уменьшение толщины лезвия ножа с 0,5 до 0,1 мм поз-

воляет снизить величину удельного усилия резания ботвы в 3–5 раз, что подтверждает перспективность использования в конструкции ботвоудаляющей машины ультратонких сменных лезвий вместо долговечного широкогранного ножа. В целом исследование позволяет рекомендовать следующие рациональные параметры и режимы работы малой установки для механизации удаления ботвы корнеплодов: угол ориентации режущей кромки ножа к направлению резания – от 30 до 45°, толщина его режущей кромки – около 0,1 мм, скорость резания – около 0,33 м/с.

Список источников

1. UMass: Extension Agriculture and Landscape Program 4/12 // United States Department of Agriculture cooperating [Electronic resource]. URL: www.extension.umass.edu/civilrights (date of access: 02.03.2020).
2. Gibba A. Revealed comparative advantage and trade competitiveness in global vegetable products // International Journal of Scientific & Technology Research [Electronic resource]. 2017, May. Vol. 6, iss. 05. P. 8–15. URL: <https://www.ijstr.org/final-print/may2017/Revealed-Comparative-Advantage-And-Trade-Competitiveness-In-Global-Vegetable-Products.pdf> (date of access: 03.03.2020).
3. К 2020 году производство овощей в России должно вырасти до 17 млн. тонн [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ryazagro.ru/news/1813/> (дата обращения: 02.03.2020).
4. Состояние овощеводства в России и за рубежом [Электронный ресурс]. URL: <https://ours-nature.ru/lib/b/book/360683215/3> (дата обращения: 04.03.2020).
5. Diop N., Jaffee S. M. Fruits and vegetables: global trade and competition in fresh and processed product markets // Global Agricultural Trade and Developing Countries [Electronic resource]. P. 237–257. URL: <http://www.rrojasdatabank.info/glbagrtrade05/ch13.pdf> (date of access: 04.03.2020).
6. Бондаренко А. М., Качанова Л. С. Повышение эффективности технологических процессов производства овощей открытого грунта в аграрном секторе экономики // Московский экономический журнал. 2020. № 8. С. 27.
7. Росстат [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 03.03.2020).
8. Relf D., McDaniel A. Root Crops [Electronic resource] / College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University. URL: https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/426/426-422/SPES-249.pdf (date of access: 05.03.2020).
9. Корнеплоды [Электронный ресурс]. URL: <http://dom-eda.com/ingredient/item/korneplody.html> (дата обращения: 05.03.2020).
10. Колесник Р. Ю., Ашитко А. А., Несмиян А. Ю. К вопросу механизации удаления ботвы корнеплодов в хозяйствах малых форм // Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы междунар. студен. науч. конф. «Горинские чтения». В 4 т. Т. 4. п. Майский: Белгородский ГАУ, 2019. С. 25–26.
11. Научно-техническая продукция научных организаций агроинженерного профиля в условиях цифровизации агропромышленного комплекса / Ю. Ф. Лачуга, Ю. Х. Шогенов, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский // Техника и оборудование для села. 2020. № 5(275). С. 2–9.

12. Николаев А. В., Сезонова Н. П., Жукова О. Н. Эффективность различных способов удаления ботвы картофеля // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2009. № 3(14). С. 23–26.

13. Колесников Ю. А., Абидулин А. Н. Методика выбора параметров копира для битерного отделителя ботвы моркови // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2010. № 3(19). С. 193–199.

14. Технологические свойства растений редиса / А. А. Ашитко, Е. А. Гавриш, А. Ю. Несмиян, Р. Ю. Колесник // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 2. С. 265–278.

15. Обоснование конструкции и параметров устройства для отделения ботвы корнеплодов / А. А. Ашитко, А. Ю. Несмиян, Р. Ю. Колесник, А. В. Асатурян // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 2(50). С. 4–12.

16. Конструктивно-технологическая схема машины для обрезки редиса / Е. А. Гавриш, А. А. Ашитко, А. Ю. Несмиян, Р. Ю. Колесник // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы междунар. науч.-практ. конф. п. Майский: Белгородский ГАУ, 2018. С. 44–48.

17. Устройство для обрезки корнеплодов: пат. 2671108 Рос. Федерация: МПК⁶ А 23 N 15/04 / Несмиян А. Ю., Гавриш Е. А., Ашитко А. А., Колесник Р. Ю., Хижняк В. И., Асатурян С. В.; заявитель и патентообладатель Дон. гос. аграр. ун-т. № 201100547; заявл. 09.01.18; опубл. 29.10.18, Бюл. № 31. 9 с.

18. Программное обеспечение – ADClab [Электронный ресурс]. URL: <https://www.adclab.ru/software/> (дата обращения: 01.10.2019).

19. Факторный эксперимент [Электронный ресурс]. URL: https://ru.qwe.wiki/wiki/Factorial_experiment (дата обращения: 01.10.2019).

References

1. UMass: Extension Agriculture and Landscape Program 4/12. United States Department of Agriculture cooperating, available: www.extension.umass.edu/civilrights [accessed 02.03.2020].

2. Gibba A., 2017. Revealed comparative advantage and trade competitiveness in global vegetable products. International Journal of Scientific & Technology Research, May, vol. 6, iss. 05, pp. 8-15, available: <https://www.ijstr.org/final-print/may2017/Revealed-Comparative-Advantage-And-Trade-Competitiveness-In-Global-Vegetable-Products.pdf> [accessed 03.03.2020].

3. К 2020 году производство овощей в России должно вырасти до 17 млн. тонн [By 2020 the production of vegetables in Russia should grow to 17 million tons], available: <http://www.ryazagro.ru/news/1813/> [accessed 02.03.2020]. (In Russian).

4. Состояние овощеводства в России и за рубежом [The state of vegetable growing in Russia and abroad], available: <https://ours-nature.ru/lib/b/book/360683215/3> [accessed 04.03.2020]. (In Russian).

5. Diop N., Jaffee S.M. Fruits and vegetables: global trade and competition in fresh and processed product markets. Global Agricultural Trade and Developing Countries, pp. 237-257, available: <http://www.rrojasdatabank.info/glbagrtrade05/ch13.pdf> [accessed 04.03.2020].

6. Bondarenko A.M., Kachanova L.S., 2020. *Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva ovoshchey otkrytogo grunta v agrarnom sektore ekonomiki* [Improving the efficiency of technological processes for the production of vegetables in open ground in the agricultural sector of the economy]. *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Moscow Economic Journal], no. 8, p. 27. (In Russian).

7. Rosstat [Rosstat], available: <https://rosstat.gov.ru/> [accessed 03.03.2020]. (In Russian).

8. Relf D., McDaniel A. Root Crops. College of Agriculture and Life Sciences, Vir-

ginia Polytechnic Institute and State University, available: https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/426/426-422/SPES-249.pdf [accessed 05.03.2020].

9. *Korneplody* [Root crops], available: <http://dom-eda.com/ingradient/item/korneplody.html> [accessed 05.03.2020]. (In Russian).

10. Kolesnik R.Yu., Ashitko A.A., Nesmiyan A.Yu., 2019. *K voprosu mekhanizatsii udaleniya botvy korneplodov v khozyaystvakh malykh form* [On the issue of mechanization of removing the root crop tops in small farms]. *Nauka molodykh – innovatsionnomu razvitiyu APK: materialy mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii “Gorinskie chteniya”* [Science of the Young - Innovative Development of the Agro-Industrial Complex: Proc. of the International Student Scientific Conference “Gorinsky Readings”]. In 4 volumes, vol. 4, set. Maisky, Belgorod State Agrarian University, pp. 25-26. (In Russian).

11. Lachuga Yu.F., Shogenov Yu.Kh., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., 2020. *Nauchno-tekhnicheskaya produktsiya nauchnykh organizatsiy agroinzhenernogo profilya v usloviyakh tsifrovizatsii agropromyshlennogo kompleksa* [Scientific and technical products of scientific organizations of agroengineering profile in the conditions of digitalization of the agro-industrial complex]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and Equipment for the Village], no. 5(275), pp. 2-9. (In Russian).

12. Nikolaev A.V., Sezonova N.P., Zhukova O.N., 2009. *Effektivnost' razlichnykh sposobov udaleniya botvy kartofelya* [The efficiency of various methods of removing the tops of potatoes]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agrarian Science of the Euro-North-East], no. 3(14), pp. 23-26. (In Russian).

13. Kolesnikov Yu.A., Abidulin A.N., 2010. *Metodika vybora parametrov kopira dlya biternogo otdelatelya botvy morkovi* [Methodology for selecting copier parameters for beater carrot tops extractor]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(19), pp. 193-199. (In Russian).

14. Ashitko A.A., Gavrish E.A., Nesmiyan A.Yu., Kolesnik R.Yu., 2019. *Tekhnologicheskie svoystva rasteniy redisa* [Technological properties of radish plants]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy* [Engineering Technologies and Systems], vol. 29, no. 2, pp. 265-278. (In Russian).

15. Ashitko A.A., Nesmiyan A.Yu., Kolesnik R.Yu., Asaturyan A.V., 2020. *Obosnovanie konstruksii i parametrov ustroystva dlya otdeleniya botvy korneplodov* [Justification of the design and parameters of the device for separating the root crop tops]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona* [Bulletin of Agrarian Science of the Don], no. 2(50), pp. 4-12. (In Russian).

16. Gavrish E.A., Ashitko A.A., Nesmiyan A.Yu., Kolesnik R.Yu., 2018. *Konstruktivno-tekhnologicheskaya skhema mashiny dlya obrezki redisa* [Structural and technological scheme of a machine for trimming radish]. *Aktual'nye problemy agroinzhenerii v XXI veke: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual Problems of Agroengineering in the XXI Century: Proc. of the International Scientific Practical Conference]. Maysky settlement, Belgorod State Agrarian University, pp. 44-48. (In Russian).

17. Nesmiyan A.Yu., Gavrish E.A., Ashitko A.A., Kolesnik R.Yu., Khizhnyak V.I., Asaturyan S.V., 2018. *Ustroystvo dlya obrezki korneplodov* [Device for trimming root crops]. Patent RF, no. 2671108. (In Russian).

18. *Programmnoe obespechenie – ADClab* [Software – ADClab], available: <https://www.adclab.ru/software/> [accessed 01.10.2019]. (In Russian).

19. *Faktornyy eksperiment* [Factor experiment], available: https://ru.qwe.wiki/wiki/Factorial_experiment [accessed 01.10.2019]. (In Russian).

Информация об авторах

А. Ю. Несмиян – профессор кафедры технологий и средств механизации агропромышленного комплекса, доктор технических наук, доцент, nesmiyan.andrei@yandex.ru

А. А. Ашитко – аспирант, ashitko2010@yandex.ru

Р. Ю. Колесник – аспирант, microlis05-05@mail.ru

В. А. Максименко – ведущий научный сотрудник, marsimecko.volodia@yandex

Information about the authors

A. Yu. Nesmiyan – Professor of the Department of Technologies and Means of Mechanization of Agro-industrial Complex, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, nesmiyan.andrei@yandex.ru

A. A. Ashitko – Postgraduate Student, ashitko2010@yandex.ru

R. Yu. Kolesnik – Postgraduate Student, microlis05-05@mail.ru

V. A. Maksimenko – Leading Researcher, marsimecko.volodia@yandex

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.03.2021; одобрена после рецензирования 28.05.2021; принята к публикации 04.06.2021.

The article was submitted 15.03.2021; approved after reviewing 28.05.2021; accepted for publication 04.06.2021.