

DOI
УДК 631.332.7

**ОБОСНОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
БОРОЗДООБРАЗОВАТЕЛЯ КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ**
М.Н. Калимуллин, Д.Т. Халиуллин, И.Х. Гайфуллин, Р.Р. Хамитов

Реферат. Бороздообразование является одним из наиболее трудоемких операций в технологии возделывания картофеля. В статье рассматривается обоснование и определение параметров бороздообразователя картофелесажалки. Получены аналитические зависимости высоты точки стыка дисков и ширины дна борозды, с учетом технологических параметров, его конструктивных особенностей и физико-механических свойств почвы. Картофель сажают рядовым способом. Основное междурядье в нашей страны 70 см. Однако в районах повышенной влажности и на поливных участках применяют широкорядную посадку с междурядьем 90 см. В некоторых районах Европейской части на засушливых участках картофель сажают с междурядьем 60 см. К моменту уборки картофельное поле имеет гребнистый вид, полученный в результате окучевания, где высота гребней 11...20 см. Установлено что, для качественной предпосадочной обработки почвы значение углов α и β должны быть в пределах: $\alpha=16^\circ$ и $\beta=10...25^\circ$. Угол у сеялок рядового посева точка схода сошника возвышается над дном борозды на 6,3 см. При увеличении угла вхождения сошника в почву от 2° до 11° повышается глубина хода сошника. При значениях угла от 3° до 8° глубина хода приближается к оптимальной (12...18см).

Ключевые слова: картофелесажалка, бороздообразователь, почва, картофель, диск.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых-докторов наук МД-6281.2021.4.

Введение. Одним из неотложных задач АПК является повышение эффективности всех его отраслей, обеспечение страны продовольствием и сырьем на основе внедрения прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и эффективной техники [1, 2]. На сегодняшний день в овощеводстве существует ряд перспективных технологий и технических средств [3, 4], в частности для возделывания картофеля [5, 6]. Однако они являются достаточно энергоемкими и не в полной мере обеспечивают агротехнические требования [7] к ним и показатели качества выполнения технологического процесса. При этом следует отметить, что создание новых рабочих органов для посадки клубней картофеля, наиболее полно отвечающих требованиям агротехники, сдерживается недостаточной изученностью данного вопроса как в теоретическом, так и экспериментальном плане. В связи с этим актуальным является создание комбинированных картофелесажалок, одновременно совмещающих несколько операций, что способствует повышению их производительности при меньших энергетических и трудовых затратах с улучшением агротехнических показателей [8, 9].

В современном картофелеводстве известно множество технологий для возделывания картофеля. Каждая из технологий должна отвечать следующим основным требованиям [10]: начало посадки определяют по пахотной спелости почвы, т. е. когда при обработке она хорошо разделяется с образованием мелкокомковатой структуры во всем пахотном горизонте; норма высадки изменяется в зависимости от массы семенных клубней (таблица 1.1).

При этом выбор оптимальной площадки питания и крупности клубней для получения высокого урожая имеет важное значение; при посадке следует обеспечить равномерность распределения клубней в рядке не ниже 60%,

а клубни должны располагаться на заданной глубине; при рядовой посадке картофеля с междурядьями 70 см отклонение стыковых междурядий допускается не более +10 см, основных ± 2 см; при посадке клубни располагают выше минеральных удобрений, внесенных в гребень при нарезке и равномерно перемешанных с почвой в нижней их части.

В районах повышенной влажности (Дальний Восток, Сибирь) и на поливных участках применяют широкорядную посадку с междурядьем 90 см. В некоторых районах Европейской части на засушливых участках картофель сажают с междурядьем 60 см. К моменту уборки картофельное поле имеет гребнистый вид, полученный в результате окучевания с высотой гребней 11...20 см [11].

В указанных технологиях, после достижения определенного периода развития, клубни дополнительно укрываются сверху почвой путем сдвига или перемещения ранее образованных гребней. Эта операция совмещается с доведочной обработкой посевов против сорных растений. В дальнейшем, при появлении всходов на уровне поверхности борозд, проводится первая повсходовая обработка легкими или средними боронами с выравниванием поверхности и одновременным рыхлением с целью более полного уничтожения сорняков. При этом, для предотвращения повреждения посаженных клубней и обеспечения устойчивого хода орудия, обработка производится при движении бороновального агрегата под углом к направлению борозд. Далее, вторая повсходовая обработка проводится поперек направления движения при предыдущем бороновании [12].

Равномерность размещения клубней картофеля как по площади посадки, так и по глубине во многом зависит от характера бороздообразования и их заделки в почву.

На посевных и посадочных машинах

Таблица 1.1 - Норма высадки в зависимости от массы семенных клубней

Масса семенных клубней, г	Норма высадки	
	тыс. шт/га	т/га
25 ... 50	65 ... 70	2,4 ... 2,8
51 ... 80	55 ... 60	3,5 ... 4,0
81 ... 100	45 ... 50	4,0 ... 4,5

в качестве бороздообразователей применяют различные пассивные и ротационные сошники и наральники, а также используют окучники и другие приспособления. Несмотря на то, что назначение этих орудий разные, они выполняют некоторые общие операции: вырезают небольшие пласты почвы, частично крошат их и отбрасывают в сторону [13].

Применяемые бороздообразователи обладают существенными недостатками: значительной энергоемкостью процесса, большим тяговым сопротивлением и некачественное образование борозд. Известно, что ширина раскрытой плоским двухдисковым сошником борозды зависит от диаметра диска и расположения точки схода дисков. Обычно диаметр дисков для сошников общего назначения принимается равным 350 мм. Точку схода таких плоских дисков располагают на некоторой высоте от опорной плоскости, из условия исключения пересыпания почвы в борозду через верхние раскрытые края дисков. Данную высоту определяют путем обоснования, учитывая технологические параметры и конструктивные особенности бороздообразователя. При этом, ширина раскрытой борозды зависит от положения точки схода дисков и угла их взаимного наклона. Бороздообразователи с плоскими дисками в основном применяются в посевных машинах зерновых культур, где требуется минимальная ширина раскрытой борозды. А при возделывании картофеля требуется более широкие борозды с минимальным осыпанием почвы со стенок. По этой причине, для бороздообразования при возделывании картофеля рекомендуется использовать сферические диски, которые не в полной мере изучены и обоснованы [14].

Целью данной работы является обоснование и определение параметров бороздообразователя картофелесажалки. Задачами исследований являются: разработка конструктивно-технологической схемы для определения ширины борозды, образованной двухдисковым сошником; проведение теоретического анализа рабочего процесса и научное обоснование конструктивных параметров бороздообразователя.

Условия, материалы и методы исследований. Основными геометрическими параметрами сферических дисков, характеризующими действие дисков на почву, являются радиус кривизны, угол атаки, угол наклона плоскости вращения лезвия к вертикали, центральный угол дуги окружности, образуемой в результате сечения диска экваториальной плоскостью, задний угол, угол резания, угол

заострения режущей кромки и диаметр диска. Кроме того, важным параметром является расстояние между дисками по горизонтальной оси.

Рассмотрим сферические диски бороздообразователя расположенные выпуклостью друг к другу под некоторым углом β , под углом атаки α и соприкасаются кромками в точке m в зоне дневной поверхности почвы (рис. 1).

Особенности образования бороздок, влияющих на равномерность размещения клубней картофеля как по площади посадки, так и по глубине, во многом зависит от его угла вхождения в почву, а также от характера осыпания почвы при работе, связанного с типом щёк бороздообразователя, их размером и обрезом. У дисковых бороздообразователей (сошников) плоскости дисков выполняют роль щёк, а смыкающаяся передняя часть дисков заменяет наральник. Расположение точки стыка дисков определяет ширину и форму борозды. При условии, что угол (рис. 1), образованный между радиусом R , проходящим через точку m стыка дисков и вертикальным диаметром, b – ширина борозды, α – угол взаимного наклона дисков (угол раствора дисков), то связь между этими величинами выразится формулой [15]:

$$b = 2R(1 - \cos \alpha') \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) \quad (1)$$

где R – радиус диска, мм; b – ширина борозды, мм.

Если не учитывать отклонения плоскости диска от вертикального положения (на угол β) ввиду небольшого значения, то высота точки m над опорной плоскостью дисков определится выражением [16]:

$$h = R(1 - \cos \alpha') \quad (2)$$

где h – высота точки стыка дисков, мм.

В теоретических исследованиях параметров бороздообразователей учеными рассмотрены проблемы пересыпания почвы в борозду через верхнее раскрытие края (щёк) дисков, при этом высота точки стыка дисков обоснована не в полной мере и определена без учета технологического параметра – глубины обработки (глубина хода дисков) и физико-механических свойств почвы.

Даны только рекомендации по некоторой произвольной высоте от опорной плоскости.

По рисунку 1 видно, чем больше угол, тем больше b , что положительно влияет на выполнение агротехнических требований посадки

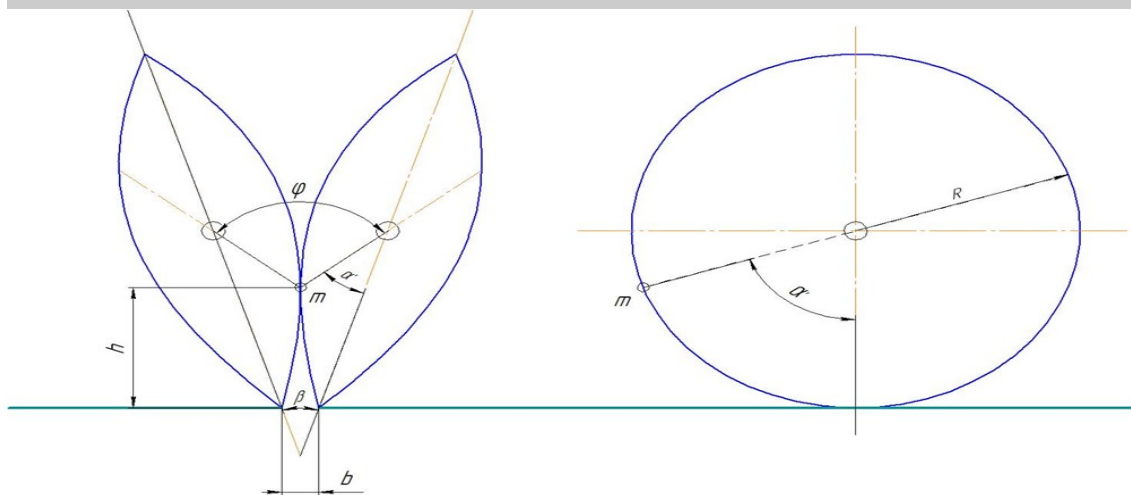


Рис. 1 – Схема к определению ширины борозды, образованной двухдисковым сошником клубней картофеля и отрицательно – для посева зерновых культур из-за образования гребня на дне борозды между дисками.

Также, при теоретическом исследовании бороздообразования необходимо учитывать свойство осыпания почвы в борозду (по конусу осыпи). Здесь сущность заключается в том, что осыпание почвы частично закрывает борозду (гребешки на дне борозды), раскрытую бороздообразователем, на некоторую величину, определяющую глубину заделку клубней и зависящая от расстояния между стенками дисков, от глубины их хода и от угла естественного откоса почвы. Эмпирическая зависимость для ее определения имеет такой вид:

$$h' = a - cx^n \quad (3)$$

где a – глубина хода сферических дисков, см; x – расстояние между стенками дисков, см; c и n – опытные коэффициенты ($c=7,245$; $n=0,367$).

Эта зависимость позволяет определить горизонтальную длину основания конуса осыпания почвы внутри стенок дисков.

Тогда, зная угол естественного откоса почвы (конуса), длину половины основания конуса осыпи можно определить из выражения:

$$L = \frac{a - cx^n}{\operatorname{tg} \varphi'} + \frac{x}{2} \quad (4)$$

где φ' – угол естественного откоса почвы, град.

Отсюда следует, что продольное расстояние от точки стыков сферических дисков до обреза щёк должно быть больше L . При увеличении угла вхождения сошника в почву от 2° до 11° повышается глубина хода сошника. При значениях угла от 3° до 8° глубина хода приближается к оптимальной (12...18см).

Анализ и обсуждение результатов. Принимая во внимание вышеуказанные предпосылки и зная, что диаметр диска D и глубина обработки почвы a связаны между собой зависимостью:

$$D = k \cdot a \quad (5)$$

где k – коэффициент ($k=3...6$), и подставив величину a из выражения (3) в формулу (5), получим:

$$D = k(h' - cx^n) \quad (6)$$

Далее подставив величину из выражения (6) в формулу (2), получим:

$$h = \frac{k(h' - cx^n)(1 - \cos \alpha')}{2} \quad (7)$$

В выражение (7) также необходимо учитывать вспушенность почвы, коэффициент которой равен $\zeta=1,2...1,25$.

Отсюда высота точки стыка дисков будет равна:

$$h = \frac{\zeta \cdot k(h' - cx^n)(1 - \cos \alpha')}{2} \quad (8)$$

Если величину из выражения (2) подставить в формулу (1), получим:

$$b = 2h \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \quad (9)$$

Тогда подставив величину h из выражения (8) в формулу (9), окончательно получим:

$$b = \zeta \cdot k \cdot \sin \frac{\varphi}{2} (h' - cx^n) (1 - \cos \alpha') \quad (10)$$

Таким образом, в выражениях (8) и (10) учтены технологические параметры, конструктивные особенности бороздообразователя и физико-механические свойства почвы.

За один проход картофелепосадочная машина должна раскрывать борозды и равномерно укладывать в них клубни. Плотность почвы на дне борозды под клубнями на тяжелых суглинистых дерново-подзолистых почвах должна быть не более $1,2 \text{ г/см}^3$, а на связных

песчаных дерново-суглинистых почвах - менее 1,4 г/см³.

Выводы. Проведенные расчеты показывают, что высота точки стыка дисков при посадке картофеля должна быть в зоне дневной поверхности, а ширина борозды (b) – больше

по сравнению с рядовым посевом для зерновых культур.

Установлено что, для качественной предпосадочной обработки почвы значение углов α и β должны быть в пределах: $\alpha' = 16^\circ$ и $\beta = 10...25^\circ$.

Литература

1. Анализ и тенденции развития сельского хозяйства в условиях цифровизации / А. К. Субаева, М. Н. Калимуллин, М. М. Низамутдинов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17. – № 1(65). – С. 135-141. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-135-141. – EDN AEOBKR.
2. Белова, М. В. Повышение эффективности функционирования многомодульного агрегата для агроинженерных технологий / М. В. Белова, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8. – № 3(29). – С. 49-52. – EDN REJNGZ.
3. Использование удобрений из куриного помета для выращивания органической продукции / А. С. Ганиев, Ф. С. Сибатуллин, Б. Г. Зиганшин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17. – № 1(65). – С. 9-14. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-9-14.
4. Использование программного комплекса при оптимизации проведения посевных работ по критериям эффективности / Н. И. Семушкин, Б. Г. Зиганшин, А. Р. Валиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8. – № 2(28). – С. 84-90. – EDN QIYQCD.
5. Проблемы утилизации и переработки органических отходов сельского хозяйства / И. Х. Гайфуллин, Б. Г. Зиганшин, А. И. Рудаков [и др.] // Agricultural machinery 2018: VI international scientific congress. – Burgas: Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering INDUSTRY 4.0, 2018. – С. 201-202.
6. Валиев, А. Р. Обоснование конструктивно-технологических параметров нового дискового культиватора / А. Р. Валиев, Ф. Ф. Мухамадьяров, Б. Г. Зиганшин // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 1. – С. 58-61. – EDN XTDNZB.
7. Разработка и обоснование конструктивных и режимных параметров картофелесажалки / М. Н. Калимуллин, Р. Р. Багаутдинов, Р. Р. Хамитов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17. – № 1(65). – С. 62-66. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-62-66. – EDN QCBCXV.
8. Влияние сроков удаления ботвы на урожай и качество клубней картофеля в условиях лесостепи среднего Поволжья / В. П. Владимиров, А. Р. Шаропова, А. А. Мостякова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета, – 2022. – Т. 17. – № 1(65). – С. 5-8.
9. К определению параметров, влияющих на гибкий рабочий элемент ботвоизмельчителя / М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов, Д. М. Исмагилов, И. И. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 4-2(56). – С. 54-58. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-54-58. – EDN SFYYEV.
10. Лысенко А. Ю. Травмирование клубней в зависимости от предуборочного удаления ботвы картофеля // Вестник Казанского государственного аграрного университета, – 2022. – Т. 17. – № 1(65). – С. 20-26. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-20-26. – EDN YWLRDK.
11. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов с.-х. машиностроения / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов и др. // 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 568с.
12. Теоретические исследования катка для малогабаритной почвообрабатывающей машины / Г. С. Юнусов, Н. Н. Андержанова, А. В. Алешкин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 2(62). – С. 80-85. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-80-85. – EDN QBBQDV.
13. Энергоресурсосберегающие технологии и техника для обработки почвы и посева в засушливых условиях / Н. К. Мазитов, Б. Г. Зиганшин, А. Р. Валиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8. – № 4(30). – С. 65-75. – DOI 10.12737/2912. – EDN RZAYYT.
14. Результаты лабораторных исследований сепарирующей системы с использованием теплоты отработавших газов машины для уборки картофеля / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, А. В. Сибирев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета, – 2022. – Т. 17. – № 1(65). – С. 45-49. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-45-49. – EDN JOYIFS.
15. Развитие методического инструментария внутреннего контроля для повышения эффективности использования основных средств / А. Р. Закирова, Г. С. Клычова, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 4(64). – С. 88-95. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-88-95. – EDN SMZTVJ.
16. Расчет теплового баланса и обоснование параметров малогабаритной биогазовой установки с мезофильным сбраживанием субстрата / Б. Г. Зиганшин, И. Х. Гайфуллин, А. И. Рудаков, И. И. Кашапов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 11. – № 3(41). – С. 63-67. – DOI 10.12737/22678. – EDN XQPYGZ.
17. Ситдииков, Ф. Ф. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса / Ф. Ф. Ситдииков, Ю. А. Цой, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 3(54). – С. 112-115. – DOI 10.12737/article_5db97473887137.67106533. – EDN EWHGNE.
18. Современные энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве / Б. Г. Зиганшин, Ю. Х. Шогенов, И. Х. Гайфуллин [и др.]. – Казань: КГАУ, 2018. – 276 с. – EDN VOVAP.
19. Экспериментальные исследования двухрядного измельчителя ботвы / Д. М. Исмагилов, М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов, И. И. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 2(53). – С. 100-105. – DOI 10.12737/article_5d3e174cf21866.69997219. – EDN OKFNSY.
20. Яхин, С. М. Теоретическое обоснование надежности пружин / С. М. Яхин, Б. Г. Зиганшин, Р. Р. Ширязданов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8. – № 2(28). – С. 102-109. – EDN QIYQDR.

21. Результаты испытаний ротационного ботвоизмельчителя БИР-2 / Д. М. Исмаилов, Р. К. Абдрахманов, М. Н. Калимуллин, Р. Р. Зиятдинов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 12. – С. 61-64. – EDN YMEMYJ.

Сведения об авторах:

Калимуллин Марат Назипович – доктор технических наук, профессор,
e-mail: marat-kmn@yandex.ru

Халиуллин Дамир Тагирович - кандидат технических наук, e-mail: damirtag@mail.ru

Гайфуллин Ильнур Хамзович - кандидат технических наук, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Хамитов Радик Рамилевич – инженер, e-mail: khamitov.apple@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

SUBSTANTIATION AND DETERMINATION OF FURROW PARAMETERS OF POTATO PLANTER

M.N. Kalimullin, D.T. Khaliullin, I.Kh. Gayfullin, R.R. Khamitov

Abstract. Furrow formation is one of the most labor-intensive operations in potato cultivation technology. The article discusses the justification and determination of furrow parameters of the potato planter. Analytical dependences of the height of the junction point of the disks and the width of the furrow bottom are obtained, taking into account the technological parameters, its design features and the physical and mechanical properties of the soil. Potatoes are planted in the usual way. The main row spacing in our country is 70 cm. However, in areas of high humidity and in irrigated areas, wide-row planting with a row spacing of 90 cm is used. In some areas of the European part, in arid areas, potatoes are planted with a row spacing of 60 cm. By the time of harvesting, the potato field has a ridged appearance, obtained as a result of hilling, where the height of the ridges is 11...20 cm. The angle of the row seed drills is that the vanishing point of the coulter rises above the bottom of the furrow by 6.3 cm. With an increase in the angle of entry of the coulter into the soil from 2° to 11°, the depth of the coulter travel increases. At angle values from 3° to 8°, the stroke depth approaches the optimum (12...18 cm).

Key words: potato planter, furrow former, soil, potato, disc.

The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists-doctors of science MD-6281.2021.4.

References

1. Subaeva AK, Kalimullin MN, Nizamutdinov MM. [Analysis and trends in the development of agriculture in the context of digitalization]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 135-141 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-135-141. – EDN AEOBKR.
2. Belova MV, Ziganshin BG. [Improving the efficiency of the functioning of a multi-module unit for agro-engineering technologies]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013; Vol.8. 3(29). 49-52 p. – EDN REJNGZ.
3. Ganiev AS, Sibagatullin FS, Ziganshin BG. [The use of fertilizers from chicken manure for growing organic products]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 9-14 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-9-14.
4. Semushkin NI, Ziganshin BG, Valiev AR. [Use of a software package in optimizing sowing operations according to efficiency criteria]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013; Vol.8. 2(28). 84-90 p. – EDN QIYQCD.
5. Gayfullin IKh, Ziganshin BG, Rudakov AI. [Problems of utilization and processing of agricultural organic waste]. Agricultural machinery 2018: VI international scientific congress. Burgas: scientific-technical union of mechanical engineering INDUSTRY 4.0. 2018; 201-202 p.
6. Valiev AR, Mukhamad'yarov FF, Ziganshin BG. [Substantiation of the design and technological parameters of a new disc cultivator]. Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2017; 1. 58-61 p. – EDN XTDNZB.
7. Kalimullin MN, Bagautdinov RR, Khamitov RR. [Development and justification of the design and operating parameters of the potato planter]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 62-66 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-62-66. – EDN QCBCXV.
8. Vladimirov VP, Sharapova AR, Mostyakova AA. [Effect of haulm removal time on the yield and quality of potato tubers in the conditions of the forest-steppe of the middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 5-8 p.
9. Kalimullin MN, Abdrakhmanov RK, Ismagilov DM, Valiev II. [To determine the parameters that affect the flexible working element of the top chopper]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 4-2 (56). 54-58 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-54-58. – EDN SFYYEB.
10. Lysenko AYu. [Injury to tubers depending on the pre-harvest removal of potato tops]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 20-26 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-20-26. – EDN YWLRDK.
11. Bosoy ES, Vernyaev OV, Smirnov II. Teoriya, konstruktsiya i raschet sel'skokhozyaistvennykh mashin: Uchebnik dlya vuzov s.-kh. mashinostroeniya. [Theory, design and calculation of agricultural machines: textbook for high schools of agricultural engineering]. Moscow: Mashinostroenie. 1977; 568 p.
12. Yunusov GS, Anderzhanova NN, Aleshkin AV. [Theoretical studies of a roller for a small-sized tillage machine]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 80-85 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-80-85. – EDN QBBQDV.
13. Mazitov NK, Ziganshin BG, Valiev AR. [Energy-saving technologies and equipment for tillage and sowing in arid conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013; Vol.8. 4(30). 65-75 p. – DOI 10.12737/2912. – EDN RZAYYT.
14. Dorokhov AS, Aksenov AG, Sibirev AV. [Results of laboratory studies of a separating system using the heat of exhaust gases of a potato harvester]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 45-49 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-45-49. – EDN JOYIFS.
15. Zakirova AR, Klychova GS, Ziganshin BG. [Development of methodological tools of internal control to improve the efficiency of fixed assets use]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 4(64). 88-95 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-88-95. – EDN SMZTBJ.
16. Ziganshin BG, Gayfullin IKh, Rudakov AI, Kashapov II. [Calculation of the heat balance and justification of the parameters of a small-sized biogas plant with mesophilic substrate fermentation]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; Vol.11. 3(41). 63-67 p. – DOI 10.12737/22678. – EDN XQPYGZ.

17. Sitdikov FF, Tsoy YuA, Ziganshin BG. [The main directions and problems of digitalization of the agro-industrial complex]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 3(54). 112-115 p. – DOI 10.12737/article_5db97473887137.67106533. – EDN EWHGNE.

18. Ziganshin BG, Shogenov YuKh, Gayfullin IKh. Sovremennye energosberegayushchie tekhnologii v sel'skom khozyaistve. [Modern energy-saving technologies in agriculture]. Kazan': KGAU. 2018; 276 p. – EDN VOVAIL.

19. Ismagilov DM, Kalimullin MN, Abdrakhmanov RK, Valiev II. [Experimental studies of a two-row haulm chopper]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 2(53). 100-105 p. – DOI 10.12737/article_5d3e174cf21866.69997219. – EDN OKFNSY.

20. Yakhin SM, Ziganshin BG, Shiryazdanov RR. [Theoretical justification of the reliability of springs]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013; Vol.8. 2(28). 102-109 p. – EDN QIYQDR.

21. Ismagilov D. M., Abdrakhmanov R. K., Kalimullin M. N., Ziatdinov R. R. Test results of the BIR-2 rotary tops chopper // Achievements of science and technology of the APK. - 2017. - T. 31. - No. 12. - S. 61-64. – EDN YMEMYJ.

Authors:

Kalimullin Marat Nazipovich - Doctor of Technical sciences, professor, e-mail: marat-kmn@yandex.ru

Khaliullin Damir Tagirovich – Ph.D. of Technical sciences, e-mail: damirtag@mail.ru

Gayfullin Ilnur Khamzovich – Ph.D. of Technical sciences, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Khamitov Radik Ramilevich – an engineer, e-mail: khamitov.apple@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.