ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-40

JUSTIFICATION OF THE BASIC PARAMETERS OF THE MILL OF THE COMBINED SEED UNIT

M.N. Shaprov, I.S. Martynov

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

Received 26.10.2020

Submitted 02.12.2020

Abstract

Introduction. One of the main factors affecting the quality of sowing is the quality of pre-sowing preparation of the soil with the provision of a humidity-temperature parameter. This effect is especially characteristic when sowing small-seeded vegetable crops. Due to the fact that the seeds are small and embedded at a shallow depth, when sowing, it is necessary to minimize the deviation of seed placement in depth and to ensure good contact with the soil. This is ensured primarily by preliminary high-quality soil preparation. Existing seeders do not allow to fully comply with the agrotechnical requirements for sowing such crops, and additional operations for high-quality soil preparation lead to additional economic costs. **Object.** The object of research is a combined sowing unit (milling cutter), which performs both the preparation of the soil for sowing and the sowing of small-seeded vegetables with maximum compliance with agricultural requirements. **Materials and methods.** The planter mill consists of a frame, a milling unit, disk-type fertilizer sowing machines with distributors, a seed metering section consisting of a seed box with sowing machines, combined coulters and rollers. During the working process of the combined sowing unit, the milling cutter, set at the depth of seed placement, rotates in the direction of movement of the unit and loosens the soil, mixing fertilizers with it. The loosened soil layer is leveled and partially compacted by the opener section ski. The degree of compaction of the soil is regulated by the movement of the ski relative to the openers. Anchor coulters form sowing furrows into which seeds are fed. To create a good contact of seeds with soil, the rollers installed at the back of the roller compact the soil in the furrow to the depth of their incorporation, which is sprinkled with a loose layer by means of shorting. **Results and conclusions.** When analyzing the technological process of the combined sowing unit, it was revealed that one of the key points is the quality of grinding the soil with a mill, which primarily depends on the kinematic parameters of its operation. During the technological process, the knives of soil mills perform rotational and translational movements. Therefore, the path of each point of the cutter knife depends on the peripheral and translational speeds. For milling machines with a horizontal axis of rotation, the knife path is an extended cycloid (trochoid). Therefore, the size and shape of the cut soil chips are determined by the trajectory of two successively working knives and the direction of rotation of the cutter. When cutting chips from top to bottom, its cross section decreases from a maximum to zero. To determine the main parameters of the trajectory, the equation of motion of any point of the knife of the working body is determined. The theoretical calculations and justifications made it possible to determine the main parameters of the combined unit. The use of this sowing device allows fertilizer to be fertilized in one pass, to prepare the soil qualitatively and to sow small-seeded vegetable crops in compliance with the necessary agrotechnical requirements.

Key words: seeding units, seeding units, combined seeding units, quality of sowing seeds.

Citation. Shaprov M.N., Martynov I.S. Justification of the basic parameters of the mill of the combined seed unit. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 4 (60). 425-433 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-40.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.331.93

**ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЫ
КОМБИНИРОВАННОГО ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА****М. Н. Шапров**, доктор технических наук, профессор**И. С. Мартынов**, кандидат технических наук, доцент*ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград*

Дата поступления в редакцию 26.10.2020

Дата принятия к печати 02.12.2020

Актуальность. Одним из основных факторов, влияющих на качество посева, является качество предпосевной подготовки почвы с обеспечением влажностно-температурного параметра. Особенно это влияние характерно при посеве овощных мелкосемянных культур. В связи с тем, что семена имеют небольшие размеры и заделываются на небольшую глубину, необходимо при посеве до минимума снизить отклонение заделки семян по глубине и обеспечить хороший их контакт с почвой. Это обеспечивается в первую очередь предварительной качественной подготовкой почвы. Существующие сеялки не позволяют полностью выполнять агротехнические требования к посеву таких культур, а проведение дополнительных операций по качественной подготовке почвы ведет к дополнительным экономическим затратам. **Объект.** Объектом исследований является комбинированный посевной агрегат (фреза-сеялка), выполняющий как подготовку почвы к посеву, так и посев овощных мелкосемянных культур с максимальным соблюдением агротехнических требований. **Материалы и методы.** Фреза-сеялка состоит из рамы, фрезерного агрегата, туковысевающих аппаратов тарельчатого типа с распределителями, семявысевающей секции, состоящей из семенного ящика с высевающими аппаратами, комбинированных сошников и катков. В ходе рабочего процесса комбинированного посевного агрегата фреза, установленная на глубину заделки семян, вращается по направлению движения агрегата и рыхлит почву, перемешивая с ней удобрения. Взрыхленный слой почвы выравнивается и частично уплотняется лыжей сошниковой секции. Степень уплотнения почвы регулируется перемещением лыжи относительно сошников. Анкерные сошники формируют посевные борозды, в которые подаются семена. Для создания хорошего контакта семян с почвой, установленные сзади катки уплотняют почву в борозде на глубину их заделки, которая присыпается рыхлым слоем при помощи загортачей. **Результаты и выводы.** При анализе технологического процесса комбинированного посевного агрегата было выявлено, что одним из ключевых моментов является качество измельчения почвы фрезой, которое в первую очередь зависит от кинематических параметров ее работы. В ходе работы ножи фрез совершают вращательное движение и перемещаются поступательно. Следовательно, любая точка ножа, т.е. её траектория, зависит от скоростей. Для определения основных параметров траектории определено уравнение движения любой точки ножа рабочего органа. Проведенные теоретические расчеты и обоснования позволили определить основные параметры комбинированного агрегата. Применение данного посевного устройства позволяет за один проход внести удобрения, качественно подготовить почву и произвести посев овощных мелкосемянных культур с соблюдением необходимых агротехнических требований.

Ключевые слова: посевные агрегаты, высевающие аппараты, комбинированные посевные агрегаты, качество посева семян.

Цитирование. Шапров М. Н., Мартынов И. С. Обоснование основных параметров фрезы комбинированного посевного агрегата. *Известия НВ АУК*. 2020. 4(60). 425-433. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-40.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из основных факторов, влияющих на качество посева, является качество предпосевной подготовки почвы с обеспечением влажностно-температурного параметра [11]. Особенно это влияние характерно при посеве овощных мелкосемянных культур

тур, которые заделываются на небольшую глубину и согласно агротехническим требованиям допустимые отклонения по глубине имеют малые значения. Поэтому в этих случаях и предъявляются особые требования к подготовке почвы по гранулометрическому составу. Это касается степени измельчения почвенного слоя и его выровненности. Данная проблема решается разными способами [1-10, 12]. Например, у сеялки СО-4,2 впереди сошника установлен риджер, который смещает в сторону крупные комки почвы, а на дисках сошника установлены реборды с целью соблюдения точности заделки семян по глубине. Повышение качества подготовки семян можно достичь также за счет проведения дополнительной культивации и выравнивания почвенного слоя. Существует также технология возделывания овощных культур на грядах, заключающаяся в том, что на поливных участках семена заделываются в почву на выровненный рельеф с одновременной нарезкой поливных борозд, либо используется грядообразователь для образования необходимых гряд как с мульчирующей пленкой, так и без нее. Такая технология способствует лучшему прогреванию почвы и исключает перенасыщение ее влагой. Особенно это важно для возделывания овощных культур на глинистых почвах.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи нами был разработан комбинированный посевной агрегат (фреза-сеялка), выполняющий как подготовку почвы к посеву, так и посев овощных мелкосемянных культур с максимальным соблюдением агротехнических требований.

За основу сеявсеевающей секции взята овощная сеялка СО-4,2, у которой вместо дисковых сошников установлены комбинированные, каждый из которых состоит из лыжи, рамки, на которой жестко закреплено 6 сошников и загортачей. Сошник прикреплен к раме шарнирно с помощью четырехзвенного параллелограммного механизма.

Фреза-сеялка (рисунок 1) состоит из рамы, фрезерного агрегата, туковсеевающих аппаратов тарельчатого типа с распределителями, сеявсеевающей секции, состоящей из семенного ящика с всеевающими аппаратами, комбинированных сошников и катков.

Фрезерный агрегат состоит из горизонтально расположенного вала на котором жестко крепятся фрезы, представляющие собой диски с установленными на них L-образными ножами, причем фрезы установлены на валу напротив сошников. Привод фрезерного агрегата осуществляется от вала отбора мощности трактора.

Глубина заделки семян сошником (рисунок 2) варьируется в пределах 3-6 см и регулируется путем передвижения рамки с сошниками относительно лыжи вверх или вниз. Сошники имеют специальные стаканы, к которым присоединяются сеяпроводы.

Рисунок 1 – Фреза-сеялка:

- 1 – рама; 2 – опорно-приводное колесо; 3 – семявысевающий ящик; 4 – ворошитель;
5 – семявысевающий аппарат; 6 – семяпровод; 7 – сошник; 8 – каток; 9 – фреза;
10 – редуктор фрезы; 11 – туковывающий аппарат; 12 – привод туковывающего аппарата;
13 – тукопровод

Figure 1 – Combined seeder mill:

- 1 – frame; 2 – wheel drive wheel; 3 – seed box; 4 – agitator; 5 – sowing apparatus;
6 – vas deferens; 7 – opener; 8 – roller 9 – milling cutter; 10 – gear cutters;
11 – tukovy device; 12 – drive fertilizer sowing device; 13 – pipelines

Рисунок 2 – Сошник комбинированный:

- 1-лыжа; 2-сошник; 3-рамка

Figure 2 – Combine opener:

- 1 – ski; 2 – opener; 3 – frame

Для уплотнения почвы в зоне засеянной полосы с целью обеспечения хорошего контакта семян с почвой используют прикатывающие катки. Секция состоит из двух катков, установленных на одной оси, и шарнирно соединена с рамой сеялки. Катки оснащены чистиками для удаления налипшей почвы.

Работа агрегата осуществляется следующим образом. Удобрения из туковывсевающего аппарата по тукопроводам подаются на распределяющий щиток, а с него – на поверхность почвы. Фреза, установленная на глубину заделки семян, вращается по направле-

нию движения агрегата и рыхлит почву, перемешивая с ней удобрения. Взрыхленный слой почвы выравнивается и частично уплотняется лыжей сошниковой секции. Степень уплотнения почвы регулируется перемещением лыжи относительно сошников (рисунок 2). Анкерные сошники формируют посевные борозды, в которые подаются семена. Для создания хорошего контакта семян с почвой установленные сзади катки уплотняют почву на глубину заделки семян. Затем загортачами борозды закрываются рыхлой почвой.

Результаты и обсуждение. Для определения основных параметров рабочих органов фрезы-сеялки использовались основные положения теоретической механики.

При анализе технологического процесса комбинированного посевного агрегата было выявлено, что одним из ключевых моментов является качество измельчения почвы фрезой, которое в первую очередь зависит от кинематических параметров ее работы. В ходе работы ножи фрез совершают вращательное движение и перемещаются поступательно. Следовательно, любая точка ножа, т.е. её траектория, зависит от скоростей. При срезании почвенной стружки по направлению сверху вниз её сечение уменьшается с максимального значения до нуля.

Для того чтобы определить параметры траектории движения точки ножа фрез, составим уравнение. Скорость – геометрическая сумма окружной $v_{окр}$ и поступательной v_n скоростей точки ножа (рисунок 3а). Их проекции описываются уравнениями:

$$\begin{aligned} dx/dt &= v_{окр} \cos \alpha + v_n ; \\ dy/dt &= v_{окр} \sin \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\alpha = \omega t$ - угол поворота точки (ω - угловая скорость ножа; t - время поворота точки).

Если $v_{окр} = \omega R$, то при подстановке α и $v_{окр}$ в уравнения (1) получим:

$$\begin{aligned} dx &= (\omega R \cos \omega t + v_n) dt; \\ dy &= \omega R \sin \omega t dt. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения траектории движения точки ножа после интегрирования выражения (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= \omega R \int \cos \omega t dt + v_n \int dt = \pm R \sin \omega t + v_n t + C; \\ y &= \omega R \int \sin \omega t dt = -R \cos \omega t + C_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Постоянные интегрирования C и C_1 можно определить, учитывая значения начальных условий, т.е. при $t=0$ $x=0$ и $y=0$.

При этом получим $C=0$ и $C_1=R$, а уравнения (3) примут вид:

$$\begin{aligned} x &= R \sin \omega t + v_n t; \\ y &= R (1 - \cos \omega t). \end{aligned} \quad (4)$$

Сечение почвенной стружки F при работе одного ножа (рисунок 3б) в определенный момент равно произведению ширины захвата одного ножа b на толщину стружки в исследуемом положении ножа l . Кстати, параметр b может отображать расстояние между соседними ножами вдоль вала фрезы. Т.е. получим $F = bl$.

Рисунок 3 (а, б) – Схема фрезы при снятии почвенной стружки
Figure 3 (a, b) – The scheme of the cutter when removing soil chips

Рисунок 4 – Схема траектории движения ножей

Figure 4 – Scheme knife trajectory

Толщину стружки определим из треугольника ABC :

$$l = s \sin \alpha, \quad (5)$$

где s – подача.

Тогда:

$$F = bs \sin \alpha. \quad (6)$$

Так как на почву в одно время может воздействовать несколько ножей, суммарная площадь:

$$F_{\text{сум}} = ibs \sin \alpha, \quad (7)$$

где i – количество одновременно работающих ножей.

Рассчитаем количество ножей:

$$i = \alpha_k z / 360, \quad (8)$$

где α_k – угол контакта фрезы с почвой (рисунок 4); z – число ножей на диске.

А угол воздействия фрезы на почву:

$$\alpha_k = \arccos(1 - a/R), \quad (9)$$

где α – глубина фрезерования.

Фреза с горизонтальной осью вращения имеет существенный недостаток, а именно, образуется волнообразная поверхность дна борозды. В связи с этим при определении параметров фрезы необходимо снизить высоту гребней до минимума (рисунок 4).

Ее можно вычислить следующим образом:

$$y = c = R(1 - \cos \alpha_c). \quad (10)$$

Другая координата имеет вид $x = s/2$. Подставив это значение в уравнение (4) и заменив $\omega t = \alpha_c$ и $t = \alpha_c / \omega$, получим выражение:

$$s/2 = \pm R \sin \alpha_c + v_n \alpha_c / \omega. \quad (11)$$

Если углы малы, то можно принять $\sin \alpha_c \approx \alpha_c$. Тогда:

$$s/2 = \pm R \alpha_c + v_n \alpha_c / \omega. \quad (12)$$

Откуда:

$$\alpha_c = s/2(\pm R + v_n / \omega). \quad (13)$$

Подставив $\omega = v_{окр}/R$ в формулу (13), получим $\alpha_c = s/2R(v_n/v_{окр} \pm 1)$. Подставив α_c в выражение (10), определим высоту гребней:

$$c = R \{ 1 - \cos[s/2R(v_n/v_{окр} \pm 1)] \}. \quad (14)$$

Глубина хода фрезы должна быть такой, чтобы вершины гребней были ниже уровня h , на который заделываются семена, т.е. $a \geq h + c$.

Задаваясь значением подачи на один нож фрезы $S = 0,05$ м, и приняв высоту гребней $C = 0,02$ м, а также учитывая, что на фрезе установлено $Z = 8$ ножей, радиус фрезы $R = 0,25$ м, а скорость посевного агрегата $v_n = 2$ м, найдем значение окружной скорости из уравнения 14:

$$v_{окр} = 1 / [(0,05 / \arccos 0,92) - 0,5] = 0,62 \text{ м/с.}$$

Отсюда, при принятых конструктивных параметрах фрезы и профиля дна борозды, определяем угловую скорость фрезы:

$$\omega = v_{окр}/R = 0,62 / 0,25 = 2,5 \text{ с}^{-1}.$$

Выводы. Проведенные теоретические расчеты и обоснования позволили определить основные параметры комбинированного агрегата. Применение данного посевного устройства позволяет за один проход внести удобрения, качественно подготовить почву и произвести посев овощных мелкосемянных культур с соблюдением необходимых агротехнических требований.

Библиографический список

1. Алдошин Н. В., Панов А. И., Мехедов М. А. Совершенствование конструкции фрезерной машины для нарезки гряд // Вестник Московского ГАУ им. Горячкина. 2019. № 1(89). С. 15-19.

2. Блохин В. Н., Никитин В.В., Синяя Н. В. Рабочий орган фрезы // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4(56). С. 39-42.
3. Иванов А. С., Бай Р. Ф. Разработка и обоснование комбинированной почвообрабатывающей машины // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (73). С. 146-148.
4. Калинин А. Б., Устроев А. А. Теоретические предпосылки и практические приемы рациональной системы обработки почвы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 70-78.
5. Калинин А. Б., Теплинский И. З. Выбор оптимальных режимов работы активного катка // Сельский механизатор. 2015. № 5. С. 8-9.
6. К вопросу об оптимизации конструкции активных рабочих органов почвофрез с вертикальной осью вращения / В. Н. Блохин [и др.] // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 6(64). С. 39-42.
7. Милюткин В. А., Долгоруков Н. В. Почвозащитные сельскохозяйственные технологии и техника для возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №3. С. 37-44.
8. Нестяк В. С., Езепчук А. Л., Ивакин О. В. Особенности механизации овощеводства в условиях Забайкалья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 8(118). С. 116-120.
9. Обоснование закономерностей изменения количества ножей активного ротационного рабочего органа для обработки почвы удобрений / М. М. Константинов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67) . С. 109-112.
10. Ториков В. Е., Сычев С. М., Бондаренко А. А. Состояние и пути развития овощеводства открытого грунта в Брянской области // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 3(61). С. 29-32.
11. Шапоров М. Н., Цепляев А. Н., Мартынов И. С. Почвосберегающая механизированная технология посева пропашных культур // Аграрный научный журнал. Саратовский ГАУ им. Вавилова. 2016. Вып. 3. С. 69-72.
12. Meinel, Till: Sätechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.) // Jahrbuch Agrartechnik 2014. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2015. P. 1-9.

Conclusions. The theoretical calculations and justifications made it possible to determine the main parameters of the combined unit. The use of this sowing device allows fertilizer to be fertilized in one pass, to prepare the soil qualitatively and to sow small-seeded vegetable crops in compliance with the necessary agrotechnical requirements.

Reference

1. Aldoshin N. V., Panov A. I., Mekhedov M. A. Improving the design of a milling machine for cutting ridges // Bulletin of the Moscow GAU im. Goryachkina. 2019. No. 1 (89). P. 15-19.
2. Blokhin V. N., Nikitin V. V., Sinyaya N. V. The working body of the cutter // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2016. No. 4 (56). P. 39-42.
3. Ivanov A. S., Bai R. F. Development and justification of a combined tillage machine // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 5 (73). P. 146-148.
4. Kalinin A. B., Ustroeve A. A. Theoretical prerequisites and practical methods of a rational system of soil cultivation in technologies of cultivation of agricultural crops // Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 2016. No. 90. P. 70-78.
5. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z. The choice of optimal operating modes of the active roller // Rural mechanic. 2015. No. 5. P. 8-9.
6. To the question of optimizing the design of active working bodies of a rotary tillers with a vertical axis of rotation / V. N. Blokhin [and others] // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2017. No. 6 (64). P. 39-42.
7. Milyutkin V. A., Dolgorukov N. V. Soil-protective agricultural technologies and equipment for the cultivation of agricultural crops // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No. 3. Pp. 37-44.

8. Nestyak V. S., Ezepechuk A. L., Ivakin O. V. Features of mechanization of vegetable growing in the conditions of Transbaikalia // *Vesnik of the Altai State Agrarian University*. 2014. No. 8 (118). Pp. 116-120.

9. Substantiation of the patterns of change in the number of knives of an active rotary working body for soil cultivation with fertilizers / M. M. Konstantinov [and others] // *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2017. No. 5 (67). P. 109-112.

10. Torikov V. E., Sychev S. M., Bondarenko A. A. State and development paths of open ground vegetable growing in the Bryansk region // *Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2017. No. 3 (61). P. 29-32.

11. Shaprov M. N., Tseplyaev A. N., Martynov I. S. Soil-saving mechanized technology of sowing row crops // *Agrarian scientific journal. Saratov GAU im. Vavilov*. 2016. Issue 3. P. 69-72.

12. Meinel, Till: Sätechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.) // *Jahrbuch Agrartechnik 2014*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2015. P. 1-9.

Authors Information

Shaprov Mikhail Nikolaevich, Professor, Department of Life Safety, Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: m.shaprov@yandex.ru.

Martynov Ivan Sergeevich, Associate Professor, Department of Life Safety, Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ISMartynov@mail.ru.

Информация об авторах

Шапров Михаил Николаевич, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), доктор технических наук, профессор. e-mail: m.shaprov@yandex.ru.

Мартынов Иван Сергеевич, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), кандидат технических наук, доцент, e-mail: ISMartynov@mail.ru.